

**INSTITUTO DE ENGENHARIA NUCLEAR**

**ANGELO CUNHA CNOP**

**SIMULAÇÃO VIRTUAL DE VISITA TÉCNICA NO REATOR ARGONAUTA  
PARA FINS DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA**

**Rio de Janeiro/RJ**

**2016**

ANGELO CUNHA CNOP

**SIMULAÇÃO VIRTUAL DE VISITA TÉCNICA NO REATOR ARGONAUTA  
PARA FINS DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós graduação em Ciência e Tecnologia Nucleares do Instituto de Engenharia Nuclear da Comissão Nacional de Energia Nuclear como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Grau de Mestre em Ciências em Engenharia Nuclear – Profissional em Engenharia de Reatores

**Orientador:** Prof. Dr. Antonio Carlos de Abreu Mol

Rio de Janeiro/RJ

2016

CNOP Cnop, Angelo Cunha

SIMULAÇÃO VIRTUAL DE VISITA TÉCNICA NO REATOR

ARGONAUTA PARA FINS DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA / Angelo Cunha

Cnop. – Rio de Janeiro: CNEN/IEN, 2016

56 f. ; 31 cm

Orientador: Antônio Carlos de Abreu Mól

Dissertação (mestrado) – Instituto de Engenharia Nuclear, PPGIEN, 2016

1: Realidade virtual. 2: Simulação 3: Educação

**SIMULAÇÃO VIRTUAL DE VISITA TÉCNICA NO REATOR ARGONAUTA  
PARA FINS DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA**

**Angelo Cunha Cnop**

**DISSERTACAO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE POS GRADUAÇÃO EM  
CIENCIA E TECNOLOGIA NUCLEARES DO INSTITUTO DE ENGENHARIA  
NUCLEAR DA COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR COMO  
PARTE DOS REQUISITOS NECESSARIOS PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE  
MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA NUCLEAR – PROFISSIONAL EM  
ENGENHARIA DE REATORES**

**Avaliada por:**

---

Prof. Dr. Antônio Carlos Mol

---

Prof. Dr. Ana Paula Legey

---

Prof. Dr. Márcio Henrique da Silva

---

Prof. Dr. Luis Antônio Rivera

RIO DE JANEIRO / RJ – BRASIL

2016

Este trabalho é dedicado única e exclusivamente aos meus pais, sem os quais não estaria aqui para apresentá-lo; Ao conhecimento extra adquirido exclusivamente para a confecção do mesmo e, é claro, à mim por ter conseguido terminar o curso, mesmo com os problemas e desafios, que agora estão parcialmente superados.

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer a todos que tornaram este trabalho possível, O meu Orientador, e meus co – Orientadores pelo apoio no trabalho, à minha tia Odelina, e aos meus pais, pela ajuda quando possível, aos meus amigos Maria Cristina, Túlio e Lais, pela estadia prolongada durante esse tempo todo, e em especial à minha amiga Gilza que me ajudou muito ao longo deste trabalho, e a todos os outros que me ajudaram, ficam aqui os meus agradecimentos.

“Mas como eu morri ? É um navio que não afunda”

(João Batista)

## RESUMO

Diversas instituições de Ciência e Tecnologia do estado do Rio tem desenvolvido um importante papel para a sociedade brasileira. Um exemplo destas instituições é o instituto de engenharia nuclear (IEN). As atividades desenvolvidas no IEN geram produtos e serviços como fornecimento de radiofármacos, ensaios e análises de materiais, recolhimento de rejeitos radioativos e formação de recursos humanos. Entretanto, mesmo estando na era da comunicação, nem todos os cidadãos conseguem ter acesso ao conteúdo gerado nessas instituições. Diante deste cenário, não é difícil perceber que existem vários temas técnico-científicos que deveriam ser mais bem divulgados, principalmente para o público em idade escolar, para a finalidade de esclarecer dúvidas acerca do assunto, o IEN tem um programa de visita técnica agendada as suas instalações para alunos do ensino fundamental e médio. Entretanto devido a natureza de suas atividades, muitas de suas instalações tem restrição quanto ao acesso, impossibilitando muitas vezes, uma apresentação mais clara de suas finalidades. Por outro lado a Realidade Virtual (RV) é um termo usado para descrever um conjunto de técnicas, que tem como objetivo dar ao participante a máxima sensação de presença em um mundo virtual, com isso, simulações virtuais são usadas para varias finalidades, tais como reabilitação, treinamento, e entretenimento, e neste caso como uma ferramenta educacional. Depois de uma pesquisa com os próprios servidores está sendo desenvolvido uma plataforma de simulação virtual do processo de visita técnica em ambiente controlado (neste caso as instalações do reator Argonauta) onde os usuários teriam uma “livre movimentação” dentro das instalações do reator, afim de esclarecer duvidas e ensinar sobre as fases de produção, segurança e controle do reator ao publico geral. Como resultado é esperado demonstrar a importância da realidade virtual como ferramenta de conhecimento e propagação das simulações virtuais à qualquer outra instituição que possua políticas de visitação mais restritas.

PALAVRAS-CHAVE: Realidade Virtual, Educação, Simulação, Visita técnica.

## ABSTRACT

Several Science and technology institutions of RJ state have played an important role for Brazilian society. An example of these institutions is the Instituto de Engenharia Nuclear (Nuclear Engineering Institute). The activities on IEN generate products and services such as produce and provide radiopharmaceuticals, tests and analyses of material, collection of radioactive waste and human resources training. However, even in the information era, not every citizen can access the generated knowledge in these institutions. Given this scenario we can see the population lack of knowledge, so this kind of information should be better publicized, mainly for public at school age. For this purpose, the IEN Facilities has a scheduled technical visit program for students on school age, however, due to the nature of their activities, many of its facilities have access restrictions. Virtual Reality consists on using some technologies to pass on the impression that the user is really a part of the virtual environment, thus, virtual simulations are used for various purposes, such as rehabilitation, training, and entertainment, and in this case as an educational tool. After some research about the possibilities of using Virtual Reality to forge a simulation system with institution's own employees, a technical visit simulation in a controlled environment (in this case, the facilities of the Argonauta Reactor) where the users will have "movement freedom" inside of the reactor building, is being developed in order to clarify and teach about the stages of production, security, and reactor control to the general public. As a result, it is expected to demonstrate the importance of virtual reality as a knowledge tool and propagation of controlled environments simulation, and generating a work that can be applied to any other institution that have more restricted visitation policies.

KEYWORDS: Virtual Reality, Education, Simulation, Technical visit.

## ÍNDICE DE IMAGENS

Figura 1: Google SketchUP .....	21
Figura 2: Autodesk 3ds Max .....	23
Figura 3: Interface Unity3d .....	26
Figura 4: Interface inicial da aplicação .....	29
Figura 5 : Modelagem e texturização das instalações .....	31
Figura 6: Área de locomoção do personagem principal .....	32
Figura 7: Avatar não controlável .....	33
Figura 8: Porta Modelada virtualmente .....	33
Figura 9: Dosímetro e Registro dosimétrico .....	34
Figura 10: Ativador do evento “porta” .....	35
Figura 11: A porta aberta, resultado da realização do evento “porta” .....	36
Figura 12: Evento de “conversa” com avatar .....	37
Figura 13: Evento dosímetro e registro .....	38
Figura 14: Avatar não controlável bloqueando passagem do usuário sem o dosímetro e o registro .....	38
Figura 15: Localização do IEN .....	39
Figura 16: Reator Argonauta .....	40
Figura 17: Ponto de controle e registro .....	42
Figura 18: Modelo virtual do ponto de controle e registro .....	42
Figura 19: Parte da antessala do Reator Argonauta .....	43
Figura 20: Modelo virtual representando uma parte da antessala do Reator .....	43
Figura 21: Mesa de controle do Reator Argonauta .....	44
Figura 22: Representação virtual da mesa de controle do Reator .....	44
Figura 23: Área de depósito subterrâneo de fontes .....	45
Figura 24: Modelagem do Sistema secundário e do depósito subterrâneo de fontes .....	45

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO</b>	<b>13 – 17</b>
1.1 – CONTEXTUALIZAÇÃO .....	13
1.2 – JUSTIFICATIVA .....	14
1.3 – TRABALHOS RELACIONADOS .....	15
1.4 – OBJETIVO GERAL .....	16
1.4.1 – <b>Objetivos Específicos</b> .....	16
<b>CAPÍTULO II: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>17 – 26</b>
2.1 – REALIDADE VIRTUAL .....	17
2.1.1 – <b>Ambientes Virtuais</b> .....	19
2.1.2 – <b>Avatares</b> .....	19
2.1.3 – <b>Ferramentas de Modelagem</b> .....	20
2.1.3.1 – Google SketchUP .....	21
2.1.3.2 – Autodesk 3ds Max .....	22
2.1.4 – <b>Motores de Jogos</b> .....	23
2.1.4.1 – Unity3d .....	24
<b>CAPÍTULO III: METODOLOGIA</b>	<b>27 – 37</b>
3.1 – DESCRIÇÃO DO MÉTODO .....	27
3.2 – PESQUISA QUALITATIVA .....	27
3.2.1 – <b>Termo de Consentimento</b> .....	28
3.2.2 – <b>Questionário</b> .....	28
3.3 – MODELAGEM DO AMBIENTE .....	29
3.3.1 – <b>Estruturas</b> .....	30
3.3.2 – <b>Área de locomoção</b> .....	31
3.3.3 – <b>Objetos interativos</b> .....	32
3.3.4 – <b>Avatar controlável</b> .....	34
3.4 – PROGRAMAÇÃO .....	34
3.4.1 – <b>Ações</b> .....	35
3.4.1.1 – Interação 1 – Controle de portas .....	35
3.4.1.2 – Interação 2 – Contato com Avatares não controláveis .....	36

3.4.1.3 – Interação 3 – Procedimentos de entrada .....	37
3.5 – QUESTIONÁRIO RESPONSIVO .....	38
<b>CAPITULO IV: PRODUÇÃO DA APLICAÇÃO</b>	<b>39 - 46</b>
4.1 – INSTITUTO DE ENGENHARIA NUCLEAR .....	39
4.1.1 – Reator Argonauta .....	40
4.1.2 – LABRV .....	40
4.2 – COMPARAÇÃO AVALIATIVA DO AMBIENTE DESENVOLVIDO	41
4.3 – VISITA TÉCNICA .....	45
4.3.1 – Etapas do processo de visita técnica .....	46
<b>CAPITULO V: ANÁLISE DOS DADOS OBTIDOS</b>	<b>47 – 48</b>
5.1 – RESPOSTAS OBTIDAS NA FASE DE COLETA DE DADOS .	47
5.2 – AVALIAÇÃO PELOS ESPECIALISTAS .....	48
<b>CAPÍTULO VI: CONCLUSÕES</b>	<b>49 – 50</b>
6.1 – TRABALHOS FUTUROS .....	50
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>51 – 54</b>
<b>APÊNDICE I: Termo e questionário</b>	<b>55</b>
<b>APÊNDICE II: Respostas e relatos</b>	<b>56</b>
<b>APÊNDICE III: Documentação das visitas</b>	<b>60</b>
<b>APÊNDICE IV: MATERIAL DIGITAL</b>	<b>61</b>

## CAPITULO I

### INTRODUÇÃO

#### 1.1 - CONTEXTUALIZAÇÃO

No Brasil existem centros de pesquisa onde são produzidas novas tecnologias de grande importância para o desenvolvimento científico do país, entretanto, nem todos os cidadãos conseguem ter acesso ao conteúdo gerado nestes centros. Isso deixa claro que, independentemente de quaisquer barreiras políticas, econômicas ou ideológicas que possam existir, os benefícios da ciência estão distribuídos nos países (em particular no Brasil) de forma assimétrica (UNESCO, 2003).

Diante deste cenário, não é difícil perceber que existem vários temas técnico-científicos que deveriam ser melhor divulgados, principalmente para o público em idade escolar, onde poderiam ser explorados de forma mais produtiva. Contudo, surge uma questão importante:

***Como coordenar um grupo de alunos em visita a uma instalação onde o acesso é restrito e cujas normas de segurança e de horário devem ser respeitadas?***

Um exemplo deste tipo de instalação é o Instituto de Engenharia Nuclear (IEN) localizado no campus da Universidade Federal do estado do Rio de Janeiro (UFRJ) na Ilha do Fundão. O IEN é uma unidade da Comissão Nacional de Engenharia Nuclear (CNEN), órgão vinculado ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). Desde a sua fundação em 1962, o IEN vem contribuindo para o domínio nacional de tecnologias na área nuclear e correlatas. Suas atividades de pesquisa, desenvolvimento e inovação geram produtos e serviços como patentes, publicações, licenciamento de tecnologias, fornecimento de radiofármacos, ensaios e análises de materiais, recolhimento de rejeitos radioativos, consultorias e formação de recursos humanos.

Os pesquisadores do IEN dispõem de um reator de estudos conhecido como “Argonauta”, localizado no próprio Instituto. Anteriormente era possível

agendar visitas guiadas de alunos não apenas ao Argonauta, como também a outros setores do IEN que, devido à política de segurança e restrição de horários de visitação, tiveram que ser definitivamente interrompidas. Tendo em vista que o conhecimento desenvolvido nesta instalação representa grande importância para o desenvolvimento científico do país, é fundamental que o público de fora do meio acadêmico possa ter acesso a ele.

## 1.2 - JUSTIFICATÍVA

O IEN costumava contar com um programa de visita agendada às suas instalações. Durante estas visitas procurava-se apresentar aos visitantes as atividades realizadas no IEN. Entretanto devido à natureza das atividades que desenvolve, o IEN utiliza uma política restritiva tanto quanto ao acesso como quanto aos horários de visitação o que resultou na interrupção da prática de visitas de pessoas externas ao instituto para fins educativos.

Embora várias aplicações dependentes da energia nuclear estejam presentes no dia a dia das pessoas, geralmente passam despercebidas e a simples utilização do termo “nuclear” enfrenta um grande preconceito por parte da sociedade que desfruta destas contribuições (UNISINOS, 2011). Devido à grande repercussão dos incidentes nucleares ocorridos ao longo da história, como as bombas de Hiroshima e Nagasaki e os acidentes de Chernobyl e Three Miles.

Por esta razão se mostra importante a desconstrução da ideia equivocada de que a energia nuclear só traz riscos e desvantagens para os seres vivos e também para difundir o conhecimento científico, é necessário que exista um esforço no sentido de apresentar os conceitos associados à energia nuclear de modo mais responsável, evitando assim a propagação de falácias nos meios de comunicação em massa, jornais, rádio, televisão e internet para o público leigo.

## 1.3 – TRABALHOS RELACIONADOS

A tecnologia de Realidade Virtual (RV) é usada para um grande número de finalidades, assim, é possível observar que uma grande variedade de

ferramentas baseadas em RV já foram desenvolvidas, dentre estas finalidades podemos citar por exemplo, Simulações de segurança (MOL et al., 2013a), treinamento de procedimentos (BADLER, 2002), Monitoração de área (MOL et al., 2009), e educação (JORGE, 2009a) e em publicações científicas à exemplo das citadas como referência no presente trabalho, comprovando assim a utilidade dos modelos baseados em RV como alternativa às situações de treinamento real.

O Laboratório Virtual de Física nuclear, desenvolvido por Dias et al.(2002), utilizou técnicas de RV para criar uma ferramenta de apoio ao ensino de Física Nuclear, simulando um detector de radiação do tipo Geiger-Müller. O programa desenvolvido em *Visual Basic*, implementa as características principais dos contadores existentes e ainda disponibiliza uma modelagem de três amostras radioativas e placas absorvedoras.

O trabalho “*Virtual environments simulation for dose assessment in nuclear plants*” (MÓL et al., 2008), mostra um estudo de caso onde uma “*game engine*” é utilizada em treinamento e simulação em ambientes virtuais de plantas nucleares. Neste caso o objetivo do trabalho é a obtenção de uma estimativa da dose de rotinas operacionais, viabilizando uma minimização desta mesma dose.

Outro trabalho que segue a mesma linha é o sistema CIPRES (RÓDENAS, 2004), criado pela IBERINCO (*Iberdrola Ingenieria y Consultoria*) juntamente à Universidade Politécnica de Valênciia, que permite o treinamento de operadores criando uma simulação virtual de operações de recarga do combustível.

A utilização de “*engines*” de desenvolvimento de jogos em simulações abriu um leque de possibilidades para sistemas com esta finalidade, servindo como ponto de partida para a produção de diversos outros trabalhos, artigos, e linhas de pesquisa, incluindo situações de treinamento de emergência (CHATAM, 2007; BADLER, 2002; JACOBSON, 2005), simuladores de configuração e utilização de equipamentos (MÓL et al.,2013b; 2013c; AGHINA et al., 2007) e finalidades educacionais (LEGEY et al., 2013; JORGE et al., 2009a).

Por fim, o trabalho desenvolvido por FREITAS et al. (2009), chamado “*Determinação de dose de radiação, em tempo real, através de inteligência*

*artificial e realidade virtual*", utiliza a engine de jogos "UNREAL" juntamente com técnicas de realidade virtual e inteligência artificial para determinar a dose no interior do reator Argonauta, localizado no instituto de Engenharia Nuclear (IEN). O usuário controla um *avatar* numa área modelada virtualmente simulando o salão do reator, e de acordo com o local, o usuário consegue obter uma medição da taxa de dose em cada local deste salão do reator virtualmente modelado, o trabalho possibilita a realização de testes e treinamentos, apresentando estimativas da dose recebida por cada profissional envolvido no processo.

## 1.4 – OBJETIVO GERAL

Esta dissertação tem por objetivo avaliar a utilização de um ambiente virtual interativo (AVI), criado por meio do uso de técnicas de realidade virtual que permita realizar visitas virtuais em uma instalação nuclear.

### 1.4.1 – Objetivos Específicos

- Simular com fidelidade as instalações do Reator argonauta;
- Produzir uma ferramenta de difusão da cultura nuclear;
- Tornar o conhecimento produzido no Instituto de Engenharia Nuclear (IEN) mais acessível ao público, atraindo o interesse para á área de ciência e tecnologia nucleares.
- Simular os procedimentos que ocorrem numa visita agendada, seguindo a norma CNEN-NE-3.01.

## CAPITULO II

### FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são apresentados os conceitos nos quais o presente trabalho se baseia.

#### 2.1 – REALIDADE VIRTUAL

Entende-se por Realidade Virtual (RV) o conjunto de técnicas, tecnologias e interfaces destinadas a fornecer ao usuário a sensação de integração com o sistema computacional e a possibilitar a sua imersão no ambiente virtual (MÓL et al., 2013d). Seguindo esta ideia, a Realidade virtual, utiliza interações homem-computador, ambientes tridimensionais, e equipamentos periféricos, permitindo ao usuário, a sensação de se relacionar diretamente (através de seu *avatar* no meio virtual) com o ambiente da aplicação. Um sistema desenvolvido utilizando Realidade Virtual fornece opções de interface entre o usuário e o ambiente desenvolvido capazes de proporcionar visualização e interação dentro de ambientes simulados eletronicamente, utilizando dispositivos multissensoriais neste processo (KIRNER et al., 2007);

A Realidade Virtual, assim como a internet, teve seu início em meio a pesquisas militares no período pós-segunda guerra, sendo utilizada primeiramente pela força aérea americana para a construção de simuladores de vôo, que mais tarde vieram a originar aplicações para treinamento e entretenimento como o “*Flight Simulator*”© (PROFLIGHT, 2015). Mais tarde, a Realidade virtual passou gradativamente a ser utilizada em várias áreas, tais como, realização de treinamentos, construção de simuladores com finalidades diversas, construção de objetos, protótipos virtuais, etc., porém atualmente a maior incidência da utilização dos recursos de realidade virtual é concentrada na indústria de jogos, filmes, e animações (FRANCIS et al. 1999)

A Realidade Virtual pode ser caracterizada por três aspectos: Interatividade, Imersividade e Envolvimento. Estes conceitos existem de forma integrada simultaneamente, permitindo uma avaliação da qualidade dos

sistemas de realidade virtual (AUGUSTO, 2008). Tais conceitos são definidos da seguinte forma:

- Imersividade: sensação do usuário enquanto parte do ambiente virtual;
- Interatividade: correspondente a capacidade de o ambiente produzido proporcionar o sentimento de interação ao usuário dentro do ambiente em questão;
- Envolvimento: grau de empenho ou motivação do usuário durante a utilização do ambiente virtual.

Dada a magnitude e o crescimento deste campo de pesquisa, diversas aplicações para diferentes finalidades surgiram, dando origem a novas classificações como colocado por Burdea e Coiffet(2003), onde é possível classificar a Realidade Virtual de acordo com o tipo de interação experimentado pelo usuário, podendo esta ser Imersiva, Não Imersiva e Semi-Imersiva.

Realidade Virtual Imersiva é a classificação dada às aplicações que se destinam a fornecer o usuário o maior grau de imersividade possível, submetendo-o a um isolamento do ambiente real, de modo que suas capacidades sensoriais estejam concentradas na aplicação. Para isso se utilizam bloqueadores e tecnologias especiais, a exemplos de controle e reconhecimento de voz, óculos de visão panorâmica, controle através de gestos, orientação por som dos eventos da aplicação, etc. (JORGE et al. 2009b).

Ainda segundo Jorge (2009b) e Burdea e Coiffet (2003) Realidade Virtual Não Imersiva é aquela onde a interação do usuário acontece sem bloqueadores sensoriais, e esta interação se dá aos poucos, geralmente é utilizado em aplicações como jogos, onde não se exigem dispositivos especiais para o funcionamento, ao invés disso, são utilizados dispositivos convencionais, como teclado, mouse e monitor, por exemplo, ao passo que Realidade Virtual Semi-Imersiva é o conceito intermediário entre os extremos, onde o usuário tem seus aparelhos sensoriais parcialmente isolados, e as ferramentas utilizadas são dispositivos específicos juntamente aos dispositivos convencionais dedicados a realidade virtual.

### 2.1.1 – Ambientes Virtuais

Os Ambientes Virtuais são cenários criados através de técnicas de Realidade Virtual, onde são executadas todas as ações da aplicação. Esses ambientes são controlados por personagens virtuais que se deslocam e interagem com o ambiente e com os elementos nele existentes (Stanney, 2002).

Os ambientes virtuais buscam representar as leis da física, com fidelidade, proporcionando que a interação do usuário com o ambiente virtual seja semelhante a interação humana com o ambiente real equivalente (CHATAM et al., 2007).

As simulações são realizadas nestes ambientes artificiais, construídos de forma que sejam similares aos ambientes reais, respeitando as proporções, métricas e a disposição de estruturas e objetos.

### 2.1.2 – Avatares

Avatares são personagens existentes dentro de ambientes criados utilizando técnicas de realidade virtual, são capazes de se deslocar e interagir com estes ambientes virtuais. Os avatares são como extensões do usuário, sendo eles o canal de interação do usuário com a aplicação. Isto significa que o usuário não altera a aplicação diretamente, pois todos os comandos são realizados pela interação do avatar com o meio gerado, ou seja, o avatar é a representação do próprio usuário no meio virtual produzido.

Um avatar pode possuir qualquer forma, que varia juntamente com a aplicação, mas aplicações que necessitem elevada similaridade com a realidade comumente utilizam avatares humanoides, podendo estes, dependendo da aplicação, serem personalizados ou não. Porém, utilizam-se avatares caracterizados de maneira coerente com o ambiente e atividades propostas, seguindo características físicas, vestuário e acessórios referentes à aplicação (AUGUSTO, 2007).

### 2.1.3 – Ferramentas de Modelagem

As Ferramentas de modelagem servem ao propósito de criação de objetos virtuais tridimensionais. Modelagem tridimensional é o processo de criação de uma representação gráfica computacional de objetos ou estruturas tridimensionais. Estes objetos podem ser estáticos ou animados, possuindo características próprias, como forma, animação, textura, esqueleto, entre outras. (CALCIOLARI, 2011)

Visando a centralização de funções necessárias à construção de objetos tridimensionais, as ferramentas de modelagem, unificam diferentes recursos e técnicas de construção de malhas poligonais, destinadas a dar forma aos objetos desenvolvidos. Esta flexibilidade possibilita ao desenvolvedor abstrair conceitos matemáticos na confecção do modelo (isolando o cálculo de splines e b-splines por exemplo) detendo-se na arte visual do objeto modelado (AUTODESK, 2010).

A modelagem tridimensional pode ser dividida em algumas fases principais (CALCIOLARI, 2011): Modelagem, Iluminação, Texturização, Renderização, e Animação.

Modelagem é a fase onde o objeto é formado através de malhas poligonais, concedendo ao objeto o formato pretendido. O processo de Iluminação é onde se fornece coordenadas de luz e sombra ao objeto e como estas deverão se posicionais no caso de fontes de diferentes direções.

Texturização é a fase onde os modelos virtuais têm sua superfície dotada de uma textura, geralmente podendo esta ser uma cor, ou uma estrutura mais complexa conhecida como mapa de textura. Uma cabeça humanoide, por exemplo, enquanto sendo um objeto complexo com vários polígonos e vértices, e precisando de uma textura diferenciada para simular uma cabeça real, deve contar com uma textura própria onde existem ponteiros referentes as áreas que serão texturizadas.

A fase de Renderização é onde ocorre a construção da imagem, a partir do modelo desenvolvido (é o que o usuário verá de fato no ambiente modelado, juntamente com a textura e as outras propriedades do objeto).

Animação é a fase onde o objeto previamente modelado é dotado de realizar ações animadas, como movimentos. Esta fase é opcional, visto que um

objeto pode ser renderizado de forma estática em um ambiente virtual. As ferramentas de modelagem foram escolhidas de acordo com a disponibilidade de material de apoio, a forma de trabalho, e a possibilidade de interação com outros softwares a exemplo do motor de jogos Unity3d utilizado no presente trabalho e descrito nos capítulos subsequentes.

#### 2.1.3.1 – Google SketchUp

Segundo GASPAR (2012), o SketchUp é uma ferramenta criada para produzir objetos em 3d a partir de figuras e formas simples, sendo possível fazer interações com softwares de desenho técnico produzindo resultados aceitos e passíveis de importação para softwares de edição 3d. Além disso também é possível fazer desenho em escala, a criação de modelos de construções, transportes, e, no caso particular da aplicação proposta neste estudo, as instalações do reator argonauta.

No presente trabalho, o Google SketchUp foi utilizado para modelar estruturas maiores, dada a relativa facilidade de interação dos modelos gerados, com o motor Unity3d. Na figura 1 abaixo é apresentado um exemplo da modelagem de um objeto qualquer comparado ao tamanho de um humano, acima as ferramentas das quais o programa dispõe para sua utilização.

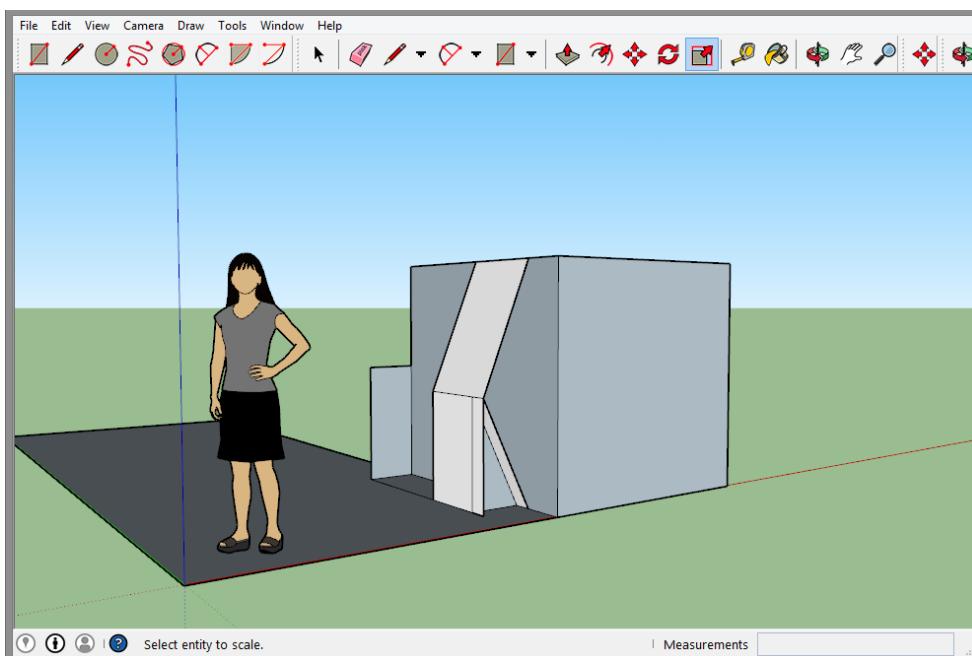


Figura 1 – Google SketchUP(acervo pessoal)

### 2.1.3.2 – Autodesk 3ds Max

O Autodesk 3ds Max está entre as ferramentas de modelagem mais utilizadas atualmente, e oferece a unificação de vários recursos necessários à modelagem dimensional de objetos. Versátil, é capaz de realizar todas as fases referentes à modelagem de um objeto (modelagem, renderização, etc.) ainda realizando simulações dos objetos criados. É amplamente utilizada por profissionais de computação gráfica no desenvolvimento de jogos, protótipos 3d, animações etc. (HARPER, 2012).

Devido ao suporte oferecido a mapas vetoriais e a possibilidade de criação de objetos paramétricos, o Autodesk 3ds Max facilita a construção de malhas poligonais e estruturas. Estes recursos de modelagem e texturização permitem a atribuição e edição das texturas e sua coloração aplicados aos modelos (CHELLES, 2012).

O Autodesk 3ds Max possibilita também a animação dos objetos nele criados de modo que as necessidades dos desenvolvedores de jogos e animações sejam atendidas, dando um maior grau de realismo às cenas produzidas. Diversas ferramentas auxiliares e suporte a pacotes de atualização ou recursos extras, como controle de colisão, gravidade, inserção de explosões e vento, etc. possibilitam esta característica (GAHAN, 2011).

Ainda é permitida a aplicação de dinâmica e efeitos específicos aos objetos, objetivando fornecer mais realidade aos modelos virtuais. Alguns dos efeitos mais utilizados são: dinâmica de fluxo de partículas (pode-se presenciar isso em animações com efeitos de água por exemplo.), dinâmica de corpos rígidos, movimentação de cabelos e tecidos (AUTODESK, 2010).

A partir das características apresentadas acima, e da relativa facilidade de configuração da interface de usuário, foram escolhidas estas ferramentas para a criação deste trabalho. A Figura 2 abaixo mostra a interface do aplicativo.

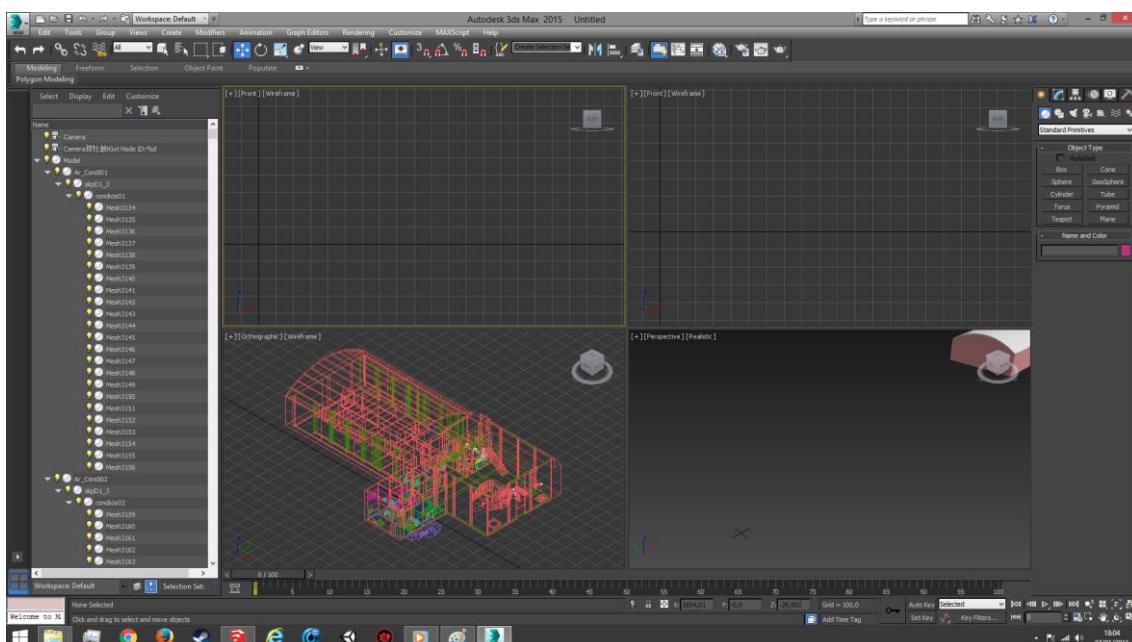


Figura 2 - Autodesk 3ds Max (acervo pessoal)

#### 2.1.4 – Motores de Jogos

Destinados à produção de jogos eletrônicos, os motores de jogos reúnem diversas funções, bibliotecas e ferramentas necessárias ao desenvolvimento dos mesmos. Conhecidos também por “*game engines*” e núcleos de jogo, proporcionam aos programadores a centralização dos principais requisitos envolvidos na criação de jogos de forma rápida e integrada.

Os principais recursos encontrados em motores de jogos são o núcleo de renderização de gráficos em tempo real, o núcleo de física (gravidade, velocidade etc.) e funções destinadas à detecção de colisão. Além desses, os motores de jogos mais utilizados são comumente acompanhados de editores de cenários, ferramentas destinadas à criação e a edição de conteúdo, interpretadores de scripts, suporte a animações, suporte à reprodução de áudios e vídeos, comunicação por rede (aplicações “*multiplayer*”), manipulação de arquivos e funções de inteligência artificial. (AUGUSTO, 2007).

Motores de jogos tornam mais ágil o processo de desenvolvimento de aplicações por também possibilitarem o reuso de conteúdo produzido, (um código, por exemplo: no caso de duas estruturas diferentes possuírem uma mesma ação, pode ser incorporado o mesmo código às duas estruturas),

evitando um esforço redundante. Além disso, a unificação e integração de ferramentas e a portabilidade, possibilitam que um mesmo motor de jogo, compile aplicações para diferentes plataformas, podendo a mesma aplicação ser exportada para funcionar em sistemas operacionais diferentes ou dispositivos diferentes.

Devido à miríade de recursos disponibilizados pelos motores de jogos, estes podem ser utilizados para o desenvolvimento não apenas de jogos, mas também outras aplicações relacionadas à realidade virtual, que também necessitem de gráficos gerados em tempo real tal como animações ou filmes (TRENHOLME e SMITH, 2008).

Existem inúmeros motores de jogos disponíveis atualmente, em versões pagas e gratuitas, como exemplo: o DUNIA GAME ENGINE ([desura.com/engines/dunia](http://desura.com/engines/dunia)) utilizado pela Ubisoft na produção de jogos como a franquia *Far Cry* ©, e a ANVIL GAME ENGINE, utilizada na criação de jogos como *Assassin's Creed* ©, a UNREAL ENGINE ([unrealengine.com](http://unrealengine.com)) utilizada em aplicações desenvolvidas no próprio Instituto de Engenharia Nuclear (IEN) entre outras, GAME SALAD, GAMESTUDIO, GODOT, HEROENGINE, HORDE3D, MUGEN, ODYSSEY, OGRE, e a Unity3d que será abordada adiante.

#### 2.1.4.1 – Unity3d

O unity3d é um dos motores de jogos mais utilizados atualmente. Composto por motor de renderização bi e tridimensional, aliado a funções necessárias ao desenvolvimento de jogos como motor de física, funções de inteligência artificial, ferramentas de modelagem de cenário e funções de controle para iluminação e áudios, fornece, portanto, os subsídios necessários à construção de jogos e ambientes virtuais.

O Unity3d utiliza as interfaces de programação de aplicativos Direct3D ([msdn.microsoft.com/directx](http://msdn.microsoft.com/directx)), OpenGL ([opengl.org](http://opengl.org)), OpenGL ES ([khronos.org/opengles](http://khronos.org/opengles)), entre outras na renderização de seus objetos. Dentre as características da renderização no Unity3d destacam-se o suporte a mapeamento de relevo, processamento de sombras dinâmicas, reflexão de texturas e efeitos pós-processamento. É também importante mencionar a

utilização do *Occlusion culling* (ou método de oclusão implícita) que torna possível uma renderização seletiva, ou seja, apenas do que está sendo visto pela câmera principal na aplicação.

É uma forma inteligente de economizar processamento e evitar que a aplicação não seja executada de forma satisfatória, visto que quanto mais polígonos presentes em uma aplicação, mais difícil e mais demorado é o processamento e renderização de objetos (devido ao excesso de cálculos) e, portanto, temos uma aplicação rodando com travamentos ou *delays* (atrasos) (GERASIMOV e KRACZLA, 2011; LAMMERS, 2013)

Uma importante característica deste motor de jogos é seu suporte a multiplataformas, que garante a portabilidade dos ambientes desenvolvidos. Dessa forma, o programador pode desenvolver suas aplicações abstraindo qualquer característica específica de um sistema operacional ou hardware, deixando a cargo da plataforma os ajustes e conversões necessários a compatibilidade. Os aplicativos atualmente desenvolvidos nesse motor de jogos são compatíveis com os sistemas iOS, Android, Windows phone, Blackberry 10, OS X, Linux, Windows, PS3, Xbox360, Wii, WiiU. Além disso, a portabilidade também atende à execução dos ambientes em navegadores (*web browsers*) bastando que as aplicações sejam convertidas no formato Flash (SMITH e QUEIROZ, 2013).

O Unity3d foi desenvolvido no *framework* Mono ([mono-project.com](http://mono-project.com)), que consiste numa implementação da plataforma dotNet ([Microsoft.com/net](http://Microsoft.com/net)) e disponibilizado como *open source*; No entanto o próprio Unity3d suporta *scripts* em três linguagens de programação, sendo estas JavaScript ([developer.mozilla.org/en/JavaScript](http://developer.mozilla.org/en/JavaScript)), C# ([msdn.microsoft.com/vcsharp](http://msdn.microsoft.com/vcsharp)) e Boo ([boo.codehaus.org](http://boo.codehaus.org)). Esta flexibilidade cria condições possíveis para que numa mesma aplicação o programador possa ou escolher uma linguagem de sua preferência, ou utilizar simultaneamente *scripts* de diferentes linguagens ao longo do desenvolvimento (GOLDSTONE. 2011).

Duas versões de licenciamento desse motor de jogos são disponibilizadas – a versão gratuita, comumente referenciada como Unity, e a versão proprietária (licença paga, aproximadamente R\$ 4.000,00, conhecida como Unity Pro. As principais vantagens da Unity Pro são recursos e funcionalidades adicionais, geralmente destinados ao desenvolvimento de

jogos e ambientes profissionais como suporte à textura 3d, recursos adicionais de animação, streaming de vídeos, filtros de áudio, etc. Porém, nas versões mais recentes como o Unity3D, a diferença entre a versão paga e a versão gratuita, se resume a poucos recursos e são mais relacionadas à questões de publicidade, como exibição de logo por exemplo.

Diante do vasto material disponível tanto das linguagens quanto das ferramentas, juntamente as características evidenciadas previamente, e a qualidade da aplicação, juntamente com as ferramentas de modelagem, o Unity3D foi escolhido para o desenvolvimento do presente trabalho. Abaixo está a Figura 3 representando a interface da aplicação Unity3D, com os menus de objetos e uma modelagem prévia do ambiente modelado.

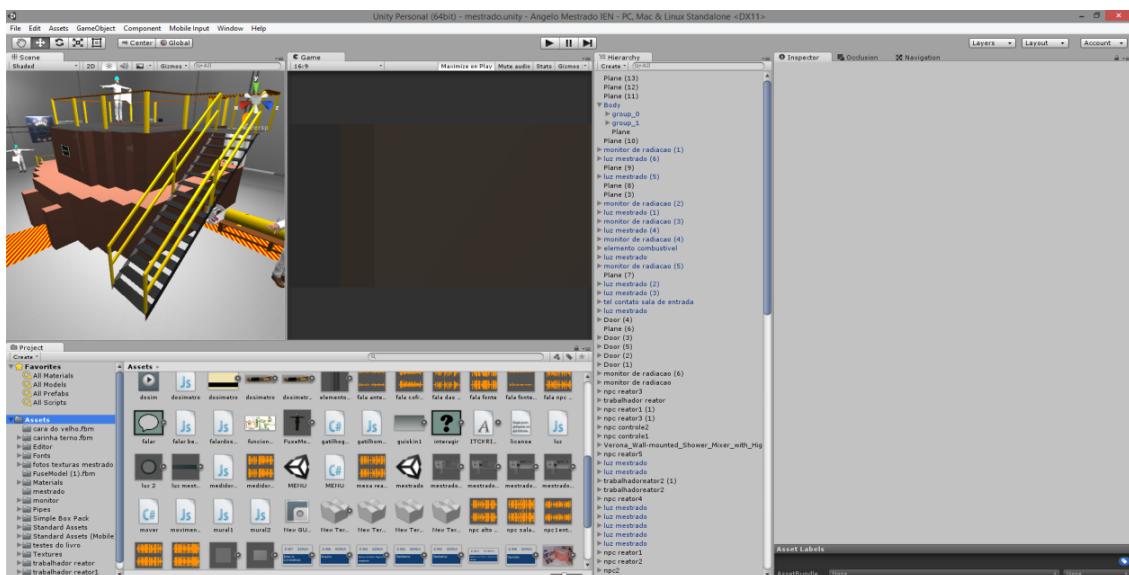


Figura 3 – Interface Unity3d (acervo pessoal)

## CAPITULO III

### METODOLOGIA

Neste capítulo será apresentada a metodologia utilizada no desenvolvimento da aplicação proposta nesta Dissertação. Primeiramente, utilizou-se um questionário direcionado aos profissionais que trabalham diretamente com o Reator Argonauta com questões pertinentes ao trabalho. Em seguida, o modelo virtual das instalações do Reator Argonauta foi elaborado com ajuda das ferramentas descritas previamente. Por fim, de posse das informações relevantes obtidas no questionário, e com base nas normas e legislação vigente, foram elaborados o roteiro e as interações pelas quais um visitante passaria num processo de visita técnica às instalações do reator Argonauta. Este processo será descrito de forma detalhada a seguir.

#### 3.1 – DESCRIÇÃO DO MÉTODO

O método utilizado foi composto pelas seguintes etapas:

- Questionário com especialistas da própria instituição (fase de coleta de informações);
- Coleta de informações do local (fotos, vídeos, texturas etc.)
- Desenvolvimento do AVI;
- Modelagem de objetos;
- Questionário de avaliação do ambiente construído.

#### 3.2 – PESQUISA QUALITATIVA

Foi dirigido aos funcionários que atuam no controle do reator, e órgãos diretamente ligados à difusão do conhecimento no Instituto de Engenharia Nuclear, um questionário, que serviria de base teórica ao presente trabalho. Procurando responder questões chave que norteariam as pesquisas e servindo ao propósito de expor os problemas previamente citados. Acompanhado de um termo de consentimento dos dados, esta pesquisa foi um dos pontos chaves do presente trabalho.

### **3.2.1 – Termo de Consentimento**

Seguindo os padrões da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) foi elaborado um termo de participação da pesquisa para a população amostral, constituída por funcionários do próprio Instituto de Engenharia Nuclear. Onde formalmente era solicitada a participação dos profissionais sem que os mesmos tivessem suas identidades reveladas. É importante mencionar que sua participação na pesquisa ocorreria de maneira voluntária, visando também a futura exposição destes dados de pesquisa.

### **3.2.2 – Questionário**

O questionário foi elaborado para obter uma visão dos próprios profissionais sobre as questões base do presente trabalho, e que justifiquem a real necessidade do mesmo.

Foram feitas as seguintes perguntas aos profissionais do IEN responsáveis pelas visitas técnicas quando ainda eram realizadas:

- Você acha que é importante que o IEN promova visitas técnicas a alunos? Justifique.
- No caso de visitas técnicas, como é o processo de recepção e de ensino para os alunos visitantes?
- O IEN está sempre aberto à recepção em função das atividades que são executadas no mesmo?
- Existe alguma restrição ou risco na recepção deste visitante? Caso existam, quais seriam?
- Você acredita ser benéfico ao IEN criar um ambiente virtual onde os visitantes poderiam conhecer as instalações do IEN e as atividades desenvolvidas nela? Justifique.

### 3.3 – MODELAGEM DO AMBIENTE

Partindo da observação de fotos, e comparações das estruturas presentes nas instalações do Reator Argonauta, as distâncias e proporções foram ajustadas de maneira que o cenário virtual estivesse de acordo com os modelos dimensionais criados com a ajuda das ferramentas previamente citadas (Google SketchUP, e Autodesk 3ds Max). Os valores obtidos para as dimensões dos modelos virtuais mantêm uma relação de proporcionalidade fiel a das estruturas reais, simuladas na aplicação de modo a oferecer ao usuário uma experiência de imersão mais próxima possível do ambiente real.

Para o acesso à simulação foi desenvolvida uma interface ao ambiente virtual, onde através de um menu principal, o usuário pode alterar as configurações da simulação, como volume, resolução e qualidade gráfica, e também ter acesso a outros recursos, como os créditos da aplicação e o encerramento da mesma, se for o caso. Segue na Figura 4 uma representação da interface inicial da aplicação onde, contando com os menus iniciais, o usuário da aplicação pode escolher se deseja iniciar a visita virtual ou alterar algumas configurações da aplicação entre outras.



Figura 4 – Interface inicial da aplicação (acervo pessoal)

### 3.3.1 – Estruturas

As estruturas referentes às instalações do prédio onde fica localizado o Reator Argonauta foram modeladas nos softwares já citados a partir de fotos, medidas, plantas e mapeamentos, utilizados como referência. O interior do prédio foi modelado seguindo a real proporção dos formatos e medidas. Além disso, uma planta horizontal do Instituto de Engenharia Nuclear foi obtida junto ao setor de arquivo, de onde foram obtidas as alturas referentes às estruturas do salão do reator e das demais salas. Desta forma, as paredes e toda a estrutura foram erguidas manualmente através do processo de modelagem linha a linha utilizando a aplicação Google SketchUP.

Os objetos secundários como detalhes das salas, placas, móveis, e similares, foram criados utilizando texturas retiradas de fotos dos objetos reais, seguindo o processo de texturização já mencionado previamente.

Algumas outras estruturas precisaram ser modeladas com o máximo de fidelidade, tendo em vista a sua importância na percepção da realidade pelo usuário. Estas estruturas foram definidas ao longo da pesquisa, de acordo com relatos dos próprios funcionários.

A respeito do processo de visita técnica, o processo de modelagem das estruturas foi totalmente original, não contando com objetos adquiridos de sites de terceiros. Dada a complexidade da aplicação, elementos combustíveis, mesas de controle e dispositivos secundários, precisaram ser modelados do zero.

Optou-se nesta fase de modelagem das estruturas, por retirar as texturas das fotos do cenário real, feitas com uma máquina semi-profissional de alta resolução visando a preservação dos aspectos das estruturas garantindo, assim, a fidelidade do cenário à realidade. Na Figura 5, retirada durante o processo de construção do ambiente, é exibida uma armação do ambiente modelado visto lateralmente, representando como ocorreu, em parte, a modelagem do ambiente.

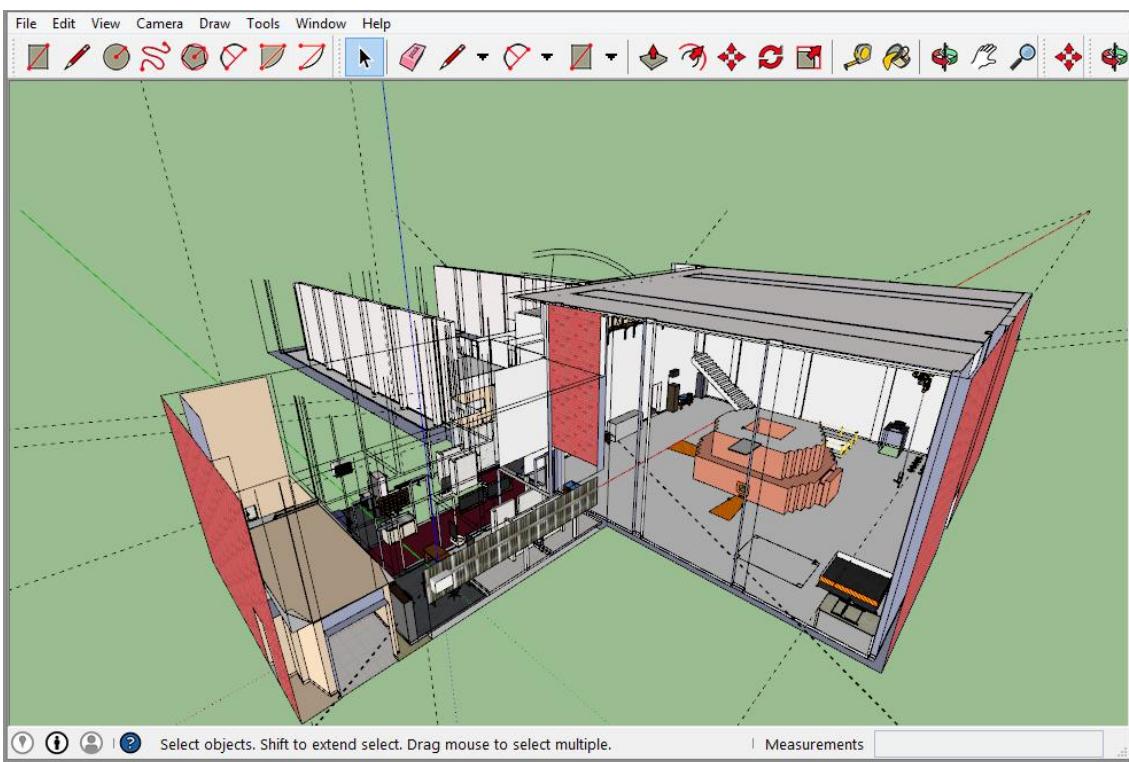


Figura 5 – Modelagem e texturização das instalações (acervo pessoal)

### 3.3.2 – Área de locomoção

A modelagem da área de locomoção do personagem ou terreno foi realizada utilizando o motor de jogos Unity3D partindo do modelo das instalações do Reator Argonauta criado previamente e utilizando as medidas obtidas a partir das plantas, das medidas obtidas fisicamente, e das fotos.

O próprio “chão” da estrutura foi utilizado como terreno de locomoção para o personagem, acrescentando as devidas limitações e sinalizando áreas que não deveriam ser visitadas, pois não interessariam à aplicação. Isto foi feito para que o usuário tivesse uma determinada “liberdade de movimento” com seu avatar e pudesse explorar as salas e partes secundárias da aplicação (representada pela área azul na Figura 6).

Em um primeiro momento foram utilizados cálculos para definir a escala da aplicação, de modo que a área retratada fosse o mais próximo possível da realidade chegando a uma escala de aproximadamente 1:0.0033. Em seguida, foram incorporados os colisores de modo a limitar a passagem do avatar através de paredes ou através do próprio terreno, respeitando as devidas limitações da aplicação.

Logo após, realizou-se a texturização do terreno e das áreas de locomoção adversas como o alto do reator e as escadas, conforme o ambiente real, proporcionando maior liberdade ao usuário e realidade às estruturas. Por fim, realizaram-se os testes de correção de *bugs* e possíveis falhas na diagramação da área de movimento (caso o avatar andasse sobre uma falha poligonal, o mesmo poderia agarrar na malha, ou cair indefinidamente, por exemplo). A área azul em destaque na Figura 6 descreve a região por onde o avatar pode se movimentar.

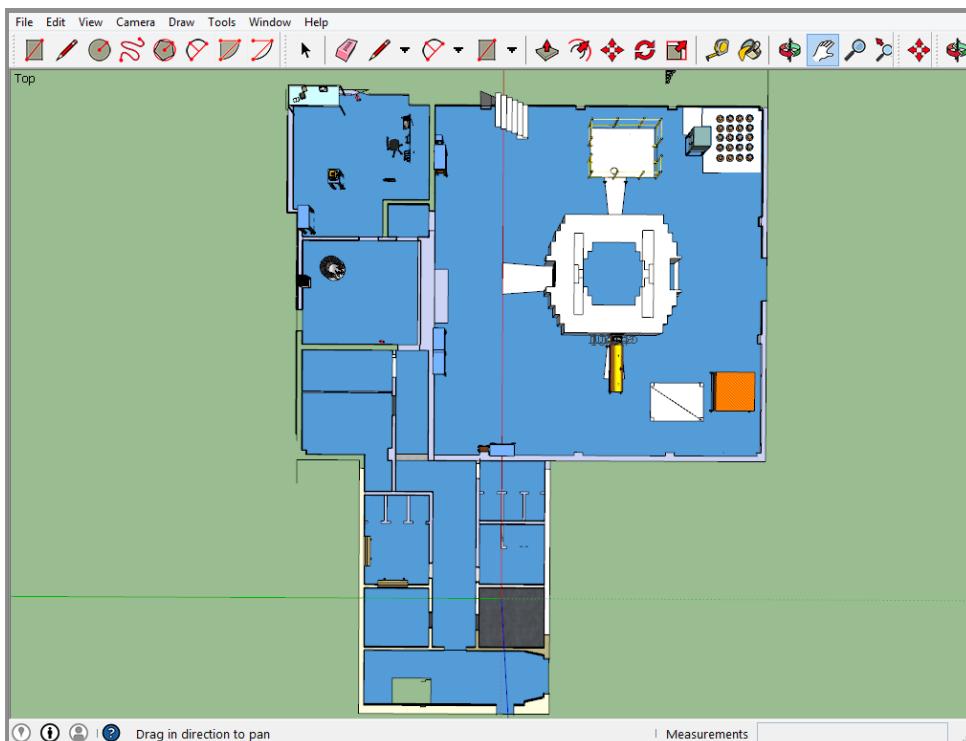


Figura 6 – Área de locomoção do personagem principal (acervo pessoal)

### 3.3.3 – Objetos interativos

Após a estruturação do ambiente, os objetos interativos foram inseridos na aplicação como ponteiros, que indicam o caminho que o personagem deve fazer, de modo que o roteiro tomado seja claro e que não haja dúvidas sobre o caminho a se tomar, outras estruturas, como os objetos pertinentes ao processo de visitas, o dosímetro e o livro de registro, presentes na norma da CNEN-3.01, já mencionada previamente.

Por último foram acrescentados os avatares não-controláveis (um deles representado na figura 7) que retratam os trabalhadores do instituto e que

guiam a visita. Estes avatares são dotados de aparência e voz, garantindo que a experiência de imersão seja o mais real possível e que haja uma interação maior com o usuário. Algumas dicas sobre o procedimento de visita técnica e informações relevantes são fornecidas através de coloração diferente presente nas falas destes avatares e implementadas por meio de código. Estes avatares são ativados por controles no teclado definidos no processo de programação. Nas figuras 7,8 e 9 são exibidos os objetos interativos da aplicação, sendo estes: o próprio avatar não controlável, as portas da instalação e o dosímetro.



Figura 7 – Avatar não controlável (acervo pessoal)



Figura 8 – Porta modelada virtualmente (acervo pessoal)

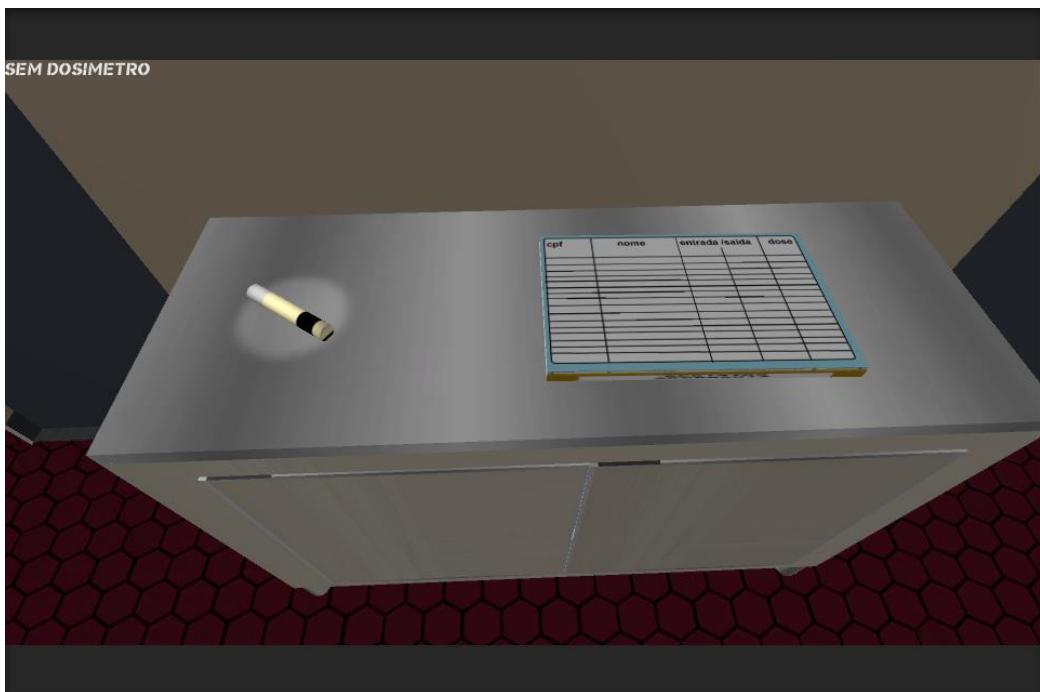


Figura 9 – Dosímetro e Registro dosimétrico (acervo pessoal)

### 3.3.4 – Avatar controlável

O avatar principal segue o modelo em primeira pessoa, ou seja, o usuário observará a estrutura da aplicação como se fosse o personagem principal. Este é dotado de identificador implementado via código, que garante a sua interação com os campos onde uma ação é exigida, por exemplo, abrir uma porta ou interagir com outros objetos. A liberdade de movimento do avatar principal foi conservada, podendo este se locomover em todas as direções e pular. Além disso, utilizando o mouse, ou algum dispositivo de imersão específico como o *Occulus Rift* ©, o usuário é capaz de olhar em todas as direções. Nas figuras 7, 8, e 9 são apresentados outros objetos pela visão do personagem.

## 3.4 – PROGRAMAÇÃO

A programação das ações de personagens e elementos interativos será feita utilizando duas linguagens de programação C# e JavaScript, já mencionados previamente, que foram escolhidas devido a presença de suporte e uma comunidade ativa, com uma grande quantidade de material disponível.

### 3.4.1 – Ações

A programação das ações de personagens e objetos foi desenvolvida utilizando os relatos dos próprios funcionários e os dados obtidos na pesquisa qualitativa. Neste caso, o avatar controlado pelo usuário possui somente uma ação, que daqui por diante iremos chamar de interação. Porém, o que muda é a forma como essa interação é programada. As interações possíveis serão detalhadas a seguir.

#### 3.4.1.1 – Interação 1 – Controle de portas

Neste primeiro caso, as portas foram modeladas com uma área de atuação que chamaremos de área gatilho. O reconhecimento do objeto “usuário” está dentro daquela área, e haverá um aviso disponível na Guia de Interface do Usuário ou *GUI* (*guide user interface*) avisando que existe uma interação passível de acontecer ali. Em caso positivo, que se configura quando o usuário cumpre os requisitos dessa ação (pressionar um determinado botão), o código entrará em uma estrutura condicional e a porta irá “abrir”. De modo semelhante, o usuário pode fechar a porta caso entre na área de ativação e realize o mesmo procedimento com a porta aberta, conforme representado nas Figuras 10 e 11.

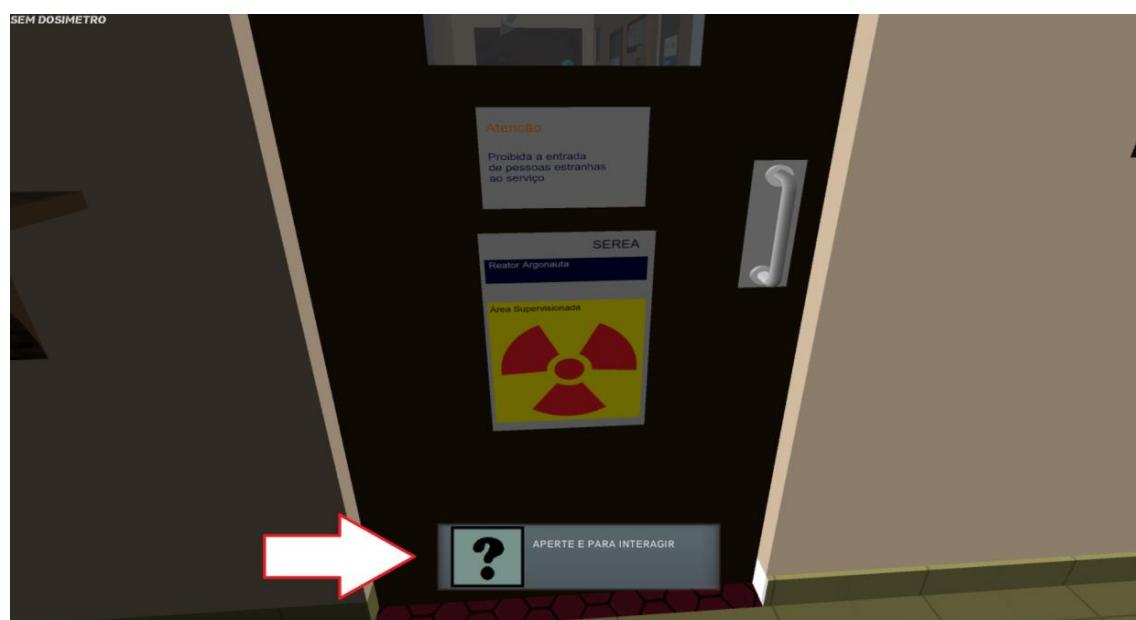


Figura 10 – Ativador do evento “porta” (acervo pessoal)



*Figura 11 – A porta aberta, resultado da realização do evento “porta” (acervo pessoal)*

### 3.4.1.2 – Interação 2 – Contato com avatares não controláveis

Também criada por códigos, a interação com outros avatares constitui 90% das rotas possíveis de ação da aplicação. Por meio destas interações é possível obter informações sobre funcionamento de estruturas e informações relevantes sobre o Reator Argonauta. Todas estas interações são independentes e, juntamente com o texto, um áudio simulando a fala dos avatares é disponibilizado, de modo que o usuário tenha uma experiência mais próxima da realidade.

Os textos exibidos nestas interações foram obtidos através de pesquisa com os próprios funcionários e controladores do Reator de pesquisa Argonauta. São informações obtidas no processo de visita técnica presencial, pelos próprios profissionais que trabalham no reator. Da mesma maneira, quando presente numa área próxima aos avatares não controláveis, aparece na tela do usuário uma rota de ação para que esta interação ocorra, como representado na Figura 12.



Figura 12 – Evento de “conversa” com avatar (acervo pessoal)

### 3.4.1.3 – Interação 3 – Procedimentos de entrada

De acordo com o depoimento de especialistas operadores do Reator Argonauta, em entrevista documentada, ao entrar nas instalações do Argonauta é necessário que, seguindo a norma de radioproteção CNEN-NE-3.01, o visitante deva preencher um registro para contagem dosimétrica, e que porte durante todo o período de visita um dosímetro portátil, para que a dose recebida seja contabilizada e documentada neste registro.

Este procedimento é necessário para que o usuário tenha acesso às outras áreas do Argonauta, caso contrário o mesmo ficará impedido de seguir a frente na simulação, como ocorreria numa visita técnica real. O dosímetro portátil segue a escala e a texturização de uma caneta dosimétrica real utilizado no processo de visitas técnicas do IEN, e possui uma animação de rotação constante dentro da aplicação de modo a chamar a atenção do usuário para que o mesmo localize este dispositivo facilmente conforme representado nas figuras 13 e 14.

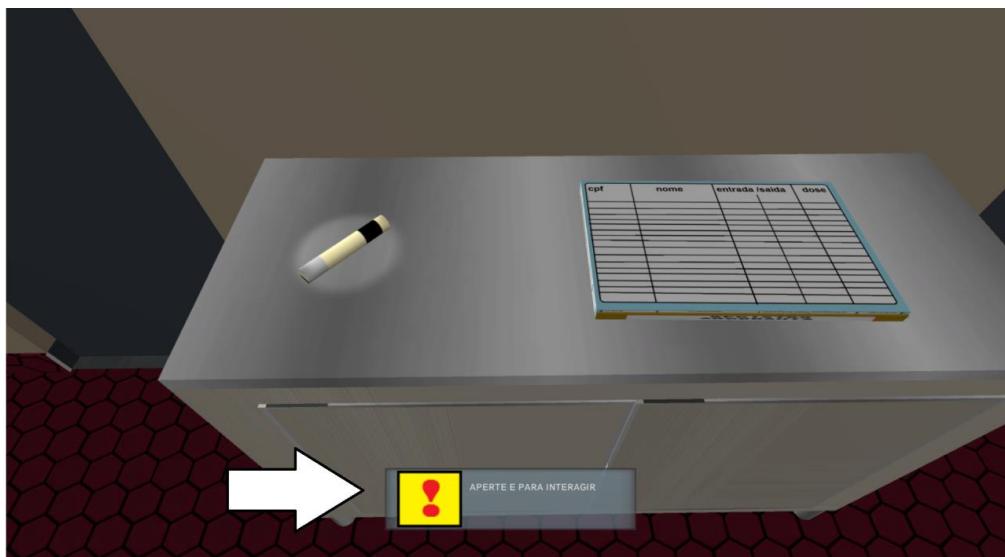


Figura 13 – Evento dosímetro e registro (acervo pessoal)



Figura 14 – Avatar não controlável bloqueando a passagem do usuário sem o dosímetro e o registro (acervo pessoal)

### 3.5 – QUESTIONÁRIO RESPONSIVO

Após o desenvolvimento da aplicação, os funcionários participantes responderam a um segundo questionário. Este servindo como ferramenta de avaliação, para validar o AVI proposto em função do objetivo desta dissertação. O questionário elaborado conta com as seguintes perguntas:

- A aplicação abordou fielmente o processo de visita técnica
- Acredita que a aplicação possa ser usada como alternativa ao processo de visita técnica? (Sim / Não)

## CAPITULO IV

### PRODUÇÃO DA APLICAÇÃO

Esta dissertação foi desenvolvida no Instituto de Engenharia Nuclear (IEN), unidade pertencente à Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). O IEN está localizado na Ilha do Fundão, na cidade do Rio de Janeiro, Brasil, e atua como principal órgão estatal responsável por estudos e serviços em diversas frentes, produção de rádio fármacos, tratamento de rejeitos etc..

Tendo implementado o ambiente virtual e com todo o processo de visitas técnicas modelado e programado, o método proposto nesta Dissertação foi apresentado em alguns eventos como o INAC 2015.

#### 4.1 – INSTITUTO DE ENGENHARIA NUCLEAR

A localização do IEN é apresentada na Figura 15. Este realiza atividades de pesquisa, desenvolvimento, e inovação na área nuclear, deixando sua contribuição para o domínio nacional de tecnologias e estudos na área nuclear e correlatas. Suas atividades envolvem o suporte a serviços como licenciamento de tecnologias, fornecimento de radiofármacos, recolhimento de rejeitos radioativos, consultorias, formação de recursos humanos, publicações etc. ([ien.gov.br](http://ien.gov.br)) e é onde se localiza o Reator Argonauta, objeto de estudo da aplicação desenvolvida nesta dissertação.



Figura 15 – Localização do IEN (<http://www.ien.gov.br/oinstitution/local.php>)

#### 4.1.1 – Reator Argonauta

O Reator Argonauta mostrado na Figura 16, localizado no Instituto de Engenharia Nuclear, na Ilha do fundão no Rio de Janeiro, é um reator térmico de pesquisa tipo piscina que utiliza como combustível urânio enriquecido a 20% em U-235, com potência máxima de 5 kW. Tem como operação padrão as potências de 170 a 340 W. Foi o primeiro reator de pesquisa construído no país por uma empresa nacional. Apresenta ótimas características para ensino, pesquisa e treinamento de pessoal especializado em ciência e tecnologia nuclear. Desde 1965, o Reator de pesquisa Argonauta vem sendo utilizado em pesquisas envolvendo nêutrons nas áreas da física de reatores e física nuclear. (AUGUSTO, 2007 e MÓL et al., 2009).

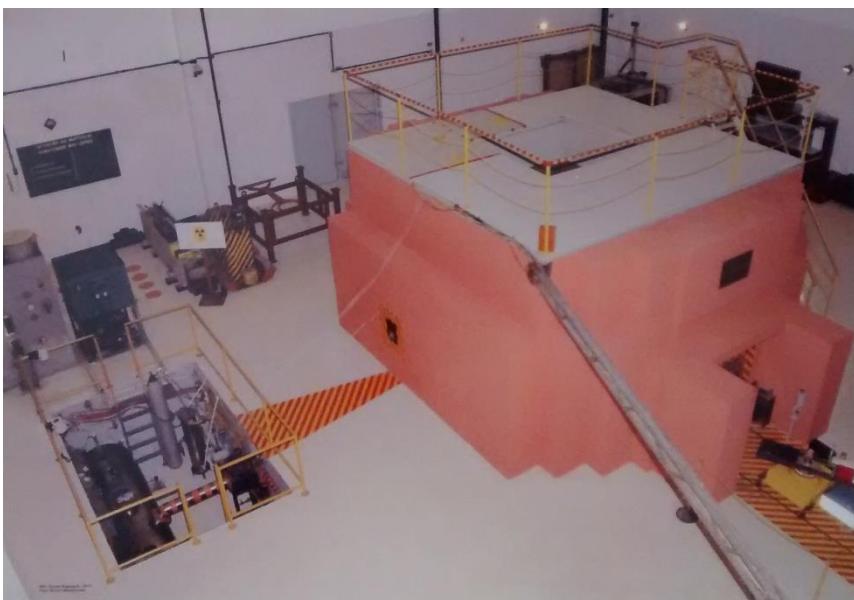


Figura 16 – Reator Argonauta (acervo pessoal)

#### 4.1.2 – LABRV

O Laboratório de Realidade Virtual foi fundado em 2005 e é parte do Instituto de Engenharia Nuclear, e dedica-se a estudos, experimentos e treinamentos, utilizando técnicas e tecnologias baseadas em Realidade Virtual, como as tecnologias já citadas nesta dissertação, para a criação de simulações ou sistemas computacionais que atendam as necessidades da área nuclear.

Esta dissertação foi desenvolvida no LABRV, que ofereceu a estrutura necessária, para a pesquisa, modelagem, implementação e todos os outros

passos deste trabalho, e os créditos pela autoria deste estão diretamente ligados ao LABRV (onde o autor desse trabalho o desenvolveu).

#### 4.2 – COMPARAÇÃO AVALIATIVA DO AMBIENTE DESENVOLVIDO

O ambiente desenvolvido nesta dissertação buscou com o máximo de detalhes, reproduzir as instalações onde se encontra o Reator Argonauta, facilitando a experiência do usuário final, e desta forma melhorando o processo de aprendizado por associação e possibilitando uma identidade visual comparativa o mais semelhante possível as estruturas do Instituto. Tendo como base, plantas, fotografias, e métricas reais das estruturas existentes, foi modelado o ambiente virtual simulado nesta aplicação onde o usuário se locomove e aprende um pouco sobre os processos de produção nuclear e sobre o IEN.

As principais características das instalações foram mantidas, distâncias, proporções, formatos, e estruturas, mesmo as texturas foram tiradas dos objetos reais presentes nas instalações do Argonauta. A aplicação foi desenvolvida com avatares trajados devidamente dando aos usuários a noção das exigências de normas de segurança presentes no Instituto, tornando a experiência mais dinâmica e imersiva.

Nas Figuras 17 à 24, é possível estipular um comparativo entre os ambientes reais e os virtuais. Pode-se observar as características presentes na imagem real, e na imagem tirada da aplicação, e que o ambiente modelado possui similaridade com o ambiente real.



Figura 17 – Ponto de controle e registro (acervo pessoal)



Figura 18 – Modelo virtual do ponto de controle e registro (acervo pessoal)



Figura 19 – Parte da antessala do Reator Argonauta (acervo pessoal)



Figura 20 – Modelo virtual representando uma parte da antessala do Reator (acervo pessoal)



Figura 21 – Mesa de controle do Reator Argonauta (acervo pessoal)



Figura 22 – Representação virtual da mesa de controle do Reator (acervo pessoal)



Figura 23 – Área de deposito subterrâneo de fontes (acervo pessoal)

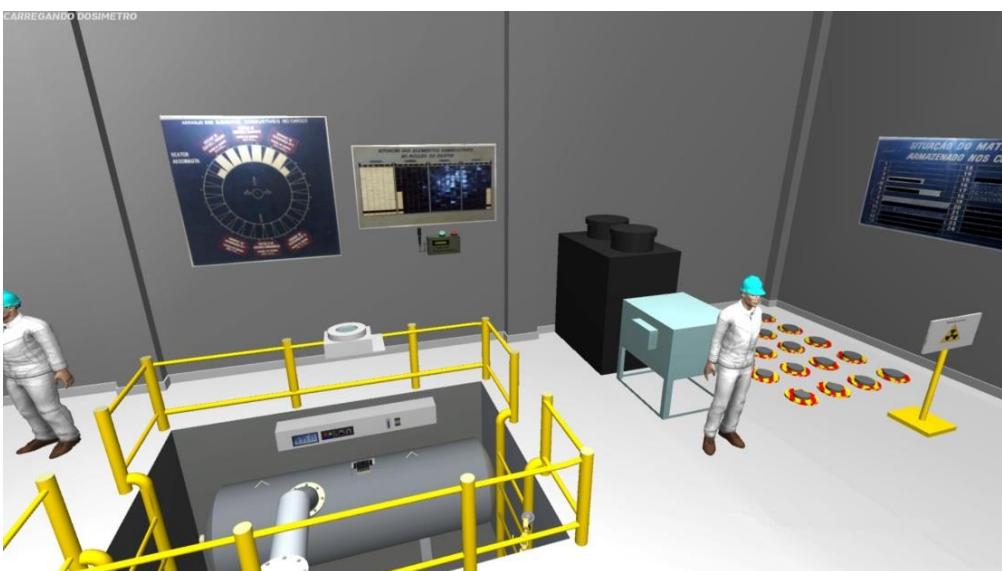


Figura 24 – Modelagem do sistema secundário e do depósito subterrâneo de fontes (acervo pessoal)

#### 4.3 – VISITA TÉCNICA

Para uma melhor fidelidade aos processos retratados na aplicação, realizou-se uma série de gravações e entrevistas, com os funcionários, e com a secretaria de comunicação que está em mídia (CD) que acompanha o presente trabalho, tratando todos os passos e etapas da visita técnica juntamente com as rotas tomadas (anexo II) ao longo do processo real de visita técnica.

#### 4.3.1 – Etapas do processo de visita técnica

O processo de visita técnica é dividido em etapas, as quais foram representadas na aplicação e de acordo com os dados coletados diretamente com os profissionais encarregados (anexo II) são divididas da seguinte forma:

- Etapa 1 – Ocorre a recepção e o acesso à área controlada
- Etapa 2 – Preenchimento do formulário e o fornecimento do dosímetro portátil, sendo liberada a passagem do usuário somente após o cumprimento deste processo que está de acordo com a norma CNEN 3.01 de radioproteção.
- Etapa 3 – Ocorre Acesso à antessala do reator, onde existe um mural, e um núcleo reserva.
- Etapa 4 – Acesso à sala de controle, explicação do funcionamento, mesa de controle, etc.
- Etapa 5 – Por fim o usuário é conduzido ao salão do reator, onde obterá uma explicação detalhada sobre o próprio reator e os sistemas e estruturas presentes.

## CAPITULO V

### ANÁLISE DOS DADOS OBTIDOS

Após a modelagem do ambiente e terminando a etapa de testes da aplicação, esta foi apresentada aos funcionários do Instituto de Engenharia Nuclear, como forma de corroborar a viabilidade da aplicação, obter um retorno por parte dos responsáveis pelo processo descrito e verificar se a aplicação atendeu o objetivo proposto. Como parte final do método utilizado, os resultados desta análise qualitativa são expostos e analisados neste capítulo.

#### 5.1 – RESPOSTAS OBTIDAS NA FASE DE COLETA DE DADOS

Seguindo considerações sobre as respostas ao primeiro questionário, com relação à primeira pergunta os participantes, em sua totalidade, concordaram que:

“... Sim, pois difundir ciência e tecnologia é fundamental para formação e para escolha profissional, além do que, nossa área é pouco conhecida e os alunos tem sede de aprendizado, principalmente para áreas acessíveis. Também é importante porque o aluno que nos visita se torna um multiplicador, disseminando as aplicações da área nuclear e correlatas” (V.P., 2015, página 2, anexo II)

levando a justificativa de um dos objetivos do trabalho, sendo este a difusão do conhecimento.

Na simulação desenvolvida, as respostas referentes à segunda pergunta serviram como base para o roteiro de apresentação e para o caminho que os avatares seguem na aplicação desde o início até o final, sendo representado de forma clara de acordo com o relato do servidor A.B:

“No caso da recepção segue um procedimento padrão, tanto na recepção para entrar no instituto, bem como para entrar nas instalações do Reator Argonauta” (Anexo II, 2015), neste caso o trajeto dos visitantes juntamente com a norma CNEN-NE-3.01 são referenciados pelo relato do profissional respondente.

As demais perguntas reforçam a necessidade real de uma aplicação tal como a desenvolvida no presente trabalho, estando os questionários do grupo amostral, presente nos anexos ao final desta dissertação.

## 5.2 – AVALIAÇÃO PELOS ESPECIALISTAS

Após o desenvolvimento da aplicação foi feita uma exibição para os operadores e responsáveis pelas visitas técnicas no Argonauta. Foram feitas duas perguntas a respeito da aplicação como modo de analisar o retorno dos funcionários.

Foram obtidas respostas satisfatórias, tendo em vista que todos os especialistas demonstraram uma opinião favorável ao utilizar a aplicação. Um dos operadores do Reator Argonauta ressaltou a importância da exibição da aplicação para apresentar de forma clara os componentes e o funcionamento do reator. A seguir é transcrito um trecho retirado da entrevista cuja íntegra se encontra presente nos apêndices:

E1: "... bem interessante, os procedimentos de entrada ocorreram exatamente como fazemos aqui no Argonauta, e não tem diferença do que fazemos aqui pra como está presente na aplicação."

E2: "... o processo de entrada até as informações passadas, estão exatamente como gravei no vídeo demonstrativo, por essas informações o estudante consegue ter uma ideia das instalações do reator."

Desta forma podemos perceber que a aplicação consegue representar de forma fidedigna o conhecimento a respeito das instalações do Reator Argonauta.

## CAPITULO VI

### CONCLUSÕES

Em função dos resultados apresentados no capítulo anterior conclui-se que:

- A proposta apresentada no presente estudo atende ao propósito descrito, pois a aplicação resultante da mesma pode contribuir para a manutenção do processo de visitas técnicas do Instituto de Engenharia Nuclear. Além disso, fica também comprovado que as técnicas de realidade virtual, juntamente à metodologia utilizada, conseguem atender o objetivo de servir como alternativa as visitas técnicas agendadas;
- De acordo com a avaliação dos próprios profissionais do Instituto de Engenharia Nuclear, o uso do Unity3d, juntamente com o 3ds Max, e o SketchUP possibilitaram a criação de um ambiente virtual, com o grau de realismo necessário para atender os objetivos do presente trabalho;
- A utilização da metodologia proposta, aliada a simulações virtuais, pode cumprir satisfatoriamente os objetivos propostos e fornecer alternativas educacionais mais interessantes e com um grau de realismo relativamente satisfatório e, com isso, inspirar o interesse do público.

Foram realizados vários testes nos quais se obteve uma resposta favorável tendo em vista que os entrevistados concordaram que a simulação atendeu aos requisitos e às expectativas no que se refere ao conteúdo abordado. Portanto, baseado nas respostas obtidas, o método proposto nesta dissertação alcançou o objetivo ao qual se destinava.

## 6.1 – TRABALHOS FUTUROS

Como projetos futuros:

1. Criação e implementação de funções extras possíveis ao usuário, para que este tenha um senso de propósito maior, e possa aprender mais, sobre as atividades desenvolvidas.
2. Incorporar as simulações em um único aplicativo, onde seria possível um usuário explorar os arredores do IEN bem como o interior dos prédios e demais instalações.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGHINA, MAC, MÓL ACA., et al. ***Full Scope Simulator of a Nuclear Power Plant Control Room Using Virtual Reality 3d Stereo Technics for Operators Training.*** INAC, 2007.
- AUGUSTO, S. C.; MÓL, A. C. A.; JORGE, C. A. F., et al. ***Use of virtual reality to estimate radiation dose rates in nuclear plants,*** INAC 2007, Santos, São Paulo, Brasil, Outubro 2007.
- AUGUSTO, S. C. ***Utilização de Ambientes Virtuais na Estimativa de Dose de Radiação em Instalações Nucleares.*** Rio Janeiro: UFRJ. 2008.
- AUTODESK. ***Guia Oficial 3ds Max.*** 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier - Campus, 2010.
- BADLER, NI. LiveActor: ***A virtual training environment with reactive embodied agents.*** Workshop on Intelligent Human Augmentation and Virtual Environments, University of North Carolina, Chapel Hill, 2002
- BURDEA, G. C.; COIFFET, P. ***Virtual Reality Technology.*** 2. ed. Nova Jersey: Wiley, IEEE Press, 2003.
- CALCIOLARI, F. ***3ds Max 2012 - Modelagem, Render, Efeitos e Animação.*** 1. ed. São Paulo: Erica, 2011.
- CHATAM, RE., ***Games for training.*** Communications of the association for Computing machinery(CACM), 2007.
- CHELLES, D.; MOL, ACA. et al.; ***Nuclear Pharmacy and Virtual Reality: Coupling Technology in Supporting of Learning Simulated Interface for Education in Brazil.*** Acta Farmacéutica Bonaerense, 2012.

DIAS, N. L.; PINHEIRO, A. G.; BARROSO, G. C. *Laboratório Virtual de Física Nuclear*. Em Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 24, nº 2. Ceará, Brasil. Junho 2002.

FRANCIS, G. A.; TAN, H. S. *Virtual Reality as a training instrument*. The Temasek Journal, 1999.

FREITAS, VGG. et al., *Determinação de dose de radiação, em tempo real, através de inteligência artificial e realidade virtual*. IEN, Rio de Janeiro, Brasil. 2009.

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

GASPAR, J. *Google Sketchup pro 8 passo a passo*, Sao Paulo, ProBooks, 2012. Disponível em <[https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=Q3PeAgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT29&dq=sketchup&ots=KemGFU\\_HS&sig=nH0WIHIL4XExHVx5657AWYBIVc#v=onepage&q=sketchup&f=false](https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=Q3PeAgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT29&dq=sketchup&ots=KemGFU_HS&sig=nH0WIHIL4XExHVx5657AWYBIVc#v=onepage&q=sketchup&f=false)> Acesso em 15 de maio de 2015.

GESRASIMOV, V., KRACZLA, D. *Unity 3.x Scripting*. 1 ed. Packt Publishing, 2012.

GOLDSTONE, W. *Unity 3.x Game Development Essentials*. 2. ed. Nova Iorque: Packt Publishing, 2011.

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

JACOBSON J., LEWIS, M., *Game engine virtual reality with CaveUT*. Computer, 2005.

JORGE, CAF., MÓL ACA., *Human-system interface based on speech recognition: application to a virtual nuclear power plant control desk*. Progress in Nuclear Energy (New Series), 2009b.

JORGE, CAF; MÓL ACA. ***Realidade Virtual como Ferramenta Motivadora ao Processo de Aprendizado.*** INAC, 2009a.

KIRNER, C.; SISCOUTTO, R. ***Realidade Virtual e Aumentada Conceitos, Projeto e Aplicações.*** Mostra de Produtos e Protótipos de RV e RA – IX Symposium on Virtual and Augmented Reality – SVR, 2007.

LAMMERS, K. ***Unity Shaders and Effects Cookbook.*** 1 ed. Packt Publishing, 2013.

LEGEY, AP., MÓL ACA., et al. ***FRAMEWORK PARA DESENVOLVIMENTO DE JOGOS COMPUTACIONAIS EDUCATIVOS.*** Revista de Ciencia e Tecnologia, 2013.

MÓL ACA. et al. ***Virtual Dosimetry Applied to the Physical Security of a Nuclear Installation.*** INAC, 2013c

MÓL, A. C. A.; JORGE, C. A. F.; COUTO, P. M.; AUGUSTO, S. C., CUNHA, G. G.; LANDAU, L. ***Virtual Environments Simulation for Dose Assessment in Nuclear Plants.*** Progress in Nuclear Energy, 2008.

MOL,ACA et al. ***Virtual reality and artificial intelligence for nuclear plants' environment simulation towards safety for personnel.*** Instituto de Engenharia Nuclear: Progress Report, 1, 2013a

MÓL, ACA. et al., ***Virtual Reality for scientific dissemination of nuclear energy benefits,*** Instituto de Engenharia Nuclear, RJ, 2013d.

MÓL ACA. et al. ***Utilization of Virtual Reality For Reading the Superheated Emulsion Detector.*** INAC, 2013b

PROFLIGHT, “*Pilot at zero altitude: The history of flight simulators*”, 2015  
Disponível em: <<https://www.proflight.com/en/full-flight-simulatoren/historie.php>> Acesso em: 22 de janeiro. 2016.

RÓDENAS J., ZARZA I., BURGOS M. C., FELIPE A., SÁNCHEZ-MAYORAL M.  
*Developing a virtual reality application for training nuclear power plant operators: setting up a database containing dose rates in the refuelling plant.* NCBI, PubMed. Radiat Prot Dosimetry, 2004.

SMITH, M., QUEIROZ, C., *Unity 4..x Cookbook.* 1 ed. Packt Publishing, 2013.

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

TRENHOLME, D.; SMITH, S. P. *Computer Game Engines for Developing FirstPerson Virtual Environments.* Virtual Reality, 2008.

UNESCO. *Políticas Culturais para o Desenvolvimento Uma base de dados para a cultura.* Brasília: UNESCO BRASIL, 2003. Disponível em: <<http://unesdoc.unesco.org/images/0013/001318/131873por.pdf>>. Acesso em: 13 mar. 2015.

UNISINOS. “*Há Preconceito contra o uso de energia nuclear*”<<http://www.ihu.unisinos.br/noticias/41360-%60%60ha-preconceito-contra-uso-de-energia-nuclear%60%60-afirma-presidente-da-comissao-nacional-de-energia-nuclear>> Acesso em: 12 nov 2015.

## APÊNDICE I

### Termo e questionário

#### **Termo dirigido aos profissionais do IEN:**

Viemos através deste, convidá-lo a participar como voluntário da pesquisa intitulada **“USO DE REALIDADE VIRTUAL PARA FINS DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA: SIMULACAO DE VISITA TÉCNICA NO REATOR ARGONAUTA”** que tem por objetivo demonstrar o valor da Realidade Virtual para elaboração de ambientes de difícil acesso e/ou com restrições. Esta pesquisa está sendo desenvolvida por Ângelo Cnop, aluno do curso de Mestrado Acadêmico em Ciência e Tecnologias Nucleares do Instituto de Engenharia Nuclear/CNEN e, coordenado pelo orientador, Antônio Carlos de Abreu Mól, professor do referido curso. A sua participação constará em responder um questionário. Declaramos que em nenhum momento suas respostas e a sua identidade serão identificados. Sua participação é voluntária e o Sr.(a) poderá desistir ou negar sua participação a qualquer momento sem nenhum prejuízo a sua pessoa, caso se sinta constrangido em participar da presente pesquisa.

Os resultados provenientes do presente trabalho, não irão lhe expor em nenhum momento e esta pesquisa terá cunho estritamente científico, que envolverá redação de artigos científicos em revistas indexadas e apresentação em congressos.

## **APÊNDICE II**

### **Respostas e relatos**

#### **ESPECIALISTA 1(OPERADOR):**

- 1 – Sim. É um dos objetivos do IEN a disseminação da área nuclear e formação de recursos humanos.
- 2- As entidades de ensino devem se cadastrar junto a ASCOM / IEN para agendamento e cadastro dos visitantes. No caso do Reator Argonauta é realizada uma visita guiada as dependências e laboratórios associados, onde são feitas explicações sobre o funcionamento do Reator e as principais linhas de pesquisa.
- 3- Sim. As visitas são pré-agendadas de acordo com a disponibilidade dos laboratórios.
- 4 – Sim. Caso o Reator esteja funcionando, nenhum visitante poderá entrar no salão do Reator.
- 5- Para o IEN não acho tão benéfico, pois conforme já mencionado essa é uma dos objetivos do IEN, e no caso de uma visita virtual poderá substituir uma visita à instalação. Porém se analisarmos do ponto de vista acadêmico sim, é benéfico pois, além de desenvolver a técnica, poderá ser aplicada em outros casos como simulação de eventos com exposição a radiação, em casos de acidente.

#### **ESPECIALISTA 2 (OPERADOR):**

- 1- Sim. Através de visitas técnicas o setor pode mostrar os trabalhos que desenvolve, e o instituto torna-se mais conhecido.
- 2- No caso da recepção segue um procedimento padrão, tanto na recepção para entrar no instituto, bem como, para entrar nas instalações do Reator

Argonauta. Porém, o ensino é diferenciado de acordo com o nível dos visitantes (conhecimento nuclear)

3- Respondendo pelo meu setor, sim. O reator está sempre aberto, desde que previamente agendado a visita, porém a visita pode ser cancelada se o reator estiver em operação.

4- Não. Não existe, pois, todos os cuidados são tomados previamente.

5- Sim, pode ser de grande ajuda pois, durante a operação do reator, a visita as visitas ficam proibidas, neste caso, uma visita virtual, no setor, deixaria os visitantes, não agendados, menos frustrados

### **ESPECIALISTA 3 (Comunicação)**

1 – Sim, pois difundir ciência e tecnologia são fundamentais para formação e para escolha profissional, alem do que nossa área é pouco conhecida e os alunos tem sede de aprendizado, principalmente para áreas assim. Também é importante porque o aluno que nos visita se torna um multiplicador, difundindo as aplicações da área nuclear e correlatas.

2 – A acessória de comunicação recebe até 20 alunos, que são dirigidos em 2 ou até quatro grupos que são encaminhados as áreas de interesse, fazendo um rodízio do grupo até que todos tenham visitado o IEN.

3- às vezes o interesse principal é a produção de radiofármacos e ocorre naquele dia a produção “extra” e daí a visita não pode ocorrer. Mas sim estamos sempre abertos para as visitas que são previamente agendadas, recebemos e-mail com a solicitação pelo professor, somos informados qual o curso, quantidade de alunos e as áreas de interesse.

4- A norma CNEN NN 3.01 – Diretrizes básicas de proteção radiológica no item 5.12 controle de visitante, item(c) assegurar que visitantes menores de 16 anos

não tenham acesso às áreas controladas. Também caso haja alguma grávida no grupo, esta também não terá acesso às áreas controladas.

5- Claro que sim. O mundo hoje é virtual, e os jogos fazem parte da vida da maioria dos alunos que nos visitam. Desta forma, criar um ambiente virtual para conhecer as instalações é um benefício enorme, é uma ferramenta excelente para o conhecimento. Pela ASCOM (Assessoria de comunicação) todo o IEN – áreas controladas ou não deveriam estar virtualmente disponíveis.

#### **Perguntas pós-desenvolvimento ESPECIALISTA 1 (OPERADOR):**

1- Sim, a aplicação passou todas as informações que geralmente passamos no processo de visita técnica, os avatares ficaram bem posicionados, onde nós mesmos costumamos ficar quando damos as explicações, bem interessante, os procedimentos de entrada ocorreram exatamente como fazemos aqui no Argonauta, e não tem diferença do que fazemos aqui pra como está presente na aplicação.

2- Sim, é uma alternativa por onde se pode ter uma ideia muito próxima de como são as instalações, e do que o estudante irá ver, é uma experiência bem válida.

#### **Perguntas pós-desenvolvimento ESPECIALISTA 2 (OPERADOR):**

1- Sim, a aplicação conseguiu passar as informações que passamos aos estudantes que visitam o reator, mas sempre surgem umas dúvidas, os estudantes perguntam e nós vamos respondendo, na aplicação não tem essa possibilidade, mas o conhecimento que está ai está igual ao que fazemos quando tem visita, o processo de entrada até as informações passadas, estão exatamente como gravei no vídeo demonstrativo, por essas informações o estudante consegue ter uma ideia das instalações do reator.

2 – Acredito que sim, além de ser uma boa forma de se chegar aos jovens, é uma opção à qual eles teriam acesso de maneira mais fácil, porque às vezes o estudante mora longe, ou não pode vir, ou o reator está em operação, então essa ferramenta atende bem nesse aspecto, e as informações passadas aqui foram as mesmas que costumo passar quando tem uma visita por exemplo.

## **APÊNDICE III**

### **Documentação das visitas**

**O roteiro de uma visita técnica foi dividido em etapas e apresentado pelos operadores do reator e responsáveis pelas visitas, dividindo estas em etapas, seguem a seguinte ordem:**

**1<sup>a</sup> etapa – Acesso à área controlada**

**2<sup>a</sup> etapa – Parada para o fornecimento dos dosímetros e preenchimento do formulário**

**3<sup>a</sup> etapa – Acesso do Hall do Reator tendo um mural com fotos de trabalhos, e um núcleo reserva**

**4<sup>a</sup> etapa – Acesso a sala de controle, onde existe a explicação do funcionamento do reator**

**5<sup>a</sup> etapa – Acesso ao salão do reator, circuito hidráulico e localização do local destinado às irradiações**

## **APÊNDICE IV**

### **Material digital**

Composto por CD: contendo aplicativo executável da aplicação