



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS DE  
COMUNICAÇÃO E AUTOMAÇÃO

FELIPE GONÇALVES DOS SANTOS

PLATAFORMA COMPUTACIONAL PARA ENSINO E  
TREINAMENTO DE PROFISSIONAIS DO SETOR ELÉTRICO

MOSSORÓ-RN

2013

FELIPE GONÇALVES DOS SANTOS

PLATAFORMA COMPUTACIONAL PARA ENSINO E  
TREINAMENTO DE PROFISSIONAIS DO SETOR ELÉTRICO

Dissertação de mestrado acadêmico apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Comunicação e Automação, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Sistemas de Comunicação e Automação

*Linha de pesquisa:*

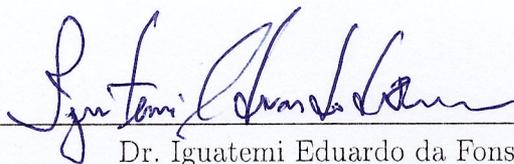
Sistemas de Comunicação e Automação

Orientador

Dr. Iguatemi Eduardo da Fonseca

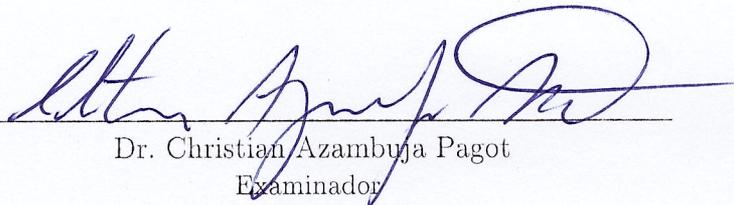
MOSSORÓ-RN

Dissertação de Mestrado sob o título *Plataforma Computacional para Ensino e Treinamento de Profissionais do Setor Elétrico* apresentada por Felipe Gonçalves dos Santos e aceita pelo ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Comunicação e Automação, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Sistemas de Comunicação e Automação, sendo aprovada por todos os membros da banca examinadora abaixo especificada:



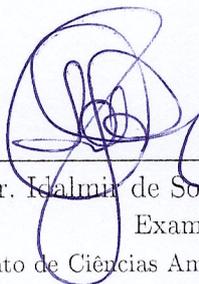
---

Dr. Iguatemi Eduardo da Fonseca  
Presidente  
Centro de Informática - UFPB  
Universidade Federal da Paraíba - UFPB



---

Dr. Christian Azambuja Pagot  
Examinador  
Centro de Informática - UFPB  
Universidade Federal da Paraíba - UFPB



---

Dr. Idalmir de Souza Queiroz Junior  
Examinador  
Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas - DCAT  
Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFRSA

Mossoró-RN, 30 de julho de 2013.

**Ficha catalográfica preparada pelo setor de classificação e catalogação da Biblioteca “Orlando Teixeira” da UFERSA**

S237p Santos, Felipe Gonçalves dos.

Plataforma computacional para o ensino e treinamento de profissionais do setor elétrico. / Felipe Gonçalves dos Santos. -- Mossoró, 2013.

80f.: il.

Dissertação (Mestrado em Sistemas de comunicação e Automação: Área de concentração em Sistemas de comunicação e Automação) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Pró-Reitoria de Pós-Graduação.

Orientador: Prof. Dr. Iguatemi Eduardo da Fonseca

1. Simulador de procedimentos. 2. Plataforma educacional. 3. Setor elétrico. 4. Realidade virtual. I. Título.

CDD: 004

Bibliotecária: Vanessa Christiane Alves de Souza  
CRB-15/452

# Dedicatória

Dedico esse trabalho as moças, Francide (mãe) e Maria Isabel (irmã), que me mantêm forte a cada dia.

# Agradecimentos

A Deus, pela condição de poder me aperfeiçoar, por manter-me firme, mesmo nas dificuldades, pois sempre havia alguém para nos trazer a palavra do Senhor, transendo conforto e paz.

Agradecimento especial a minha mãe, por ser um exemplo de pessoa e pelo apoio, suporte e carinho sem os quais esta jornada não teria sido possível e me fazer acreditar no estudo como meio de tornarme melhor e ter uma vida digna.

Ao professor Iguatemi, por suas orientação em momentos de indecisões, paciência e confiança no meu trabalho.

Minha irmã por ajudar em diversos momentos durante esses dois anos com palavra de apoio.

Minha avó por suas palavras de motivação, perseverança e orações por mim.

Aos meus tios, por seus conselhos e broncas ao longo dos anos, e pelo apoio em vários momentos.

Aos amigos Francisco Aelyson, Thiago Reis, Ricardo, José Ricardo, José Jeovane, Erasmo Artur por estarem em sempre presentes em momentos que precisei.

Aos professores que me ajudaram a contruir a base e a sustentção educacional com conselhos em horas de indecisões que me ajudaram a sonhar ainda mais alto a cada dia.

A UFPB e UFERSA por proporcionar estrutura necessária aos projetos que participei durantes a pós-graduação.

Externo meus agradecimentos aos professores Dr. Edson G. Costa e Dr. Tarso Vilela por inúmeras discussões sobre o assunto, o CNPq pela bolsa de estudos que recebi durante praticamente toda minha formação acadêmica.

# Epígrafe

*“Quantas coisas perdemos por medo de perder.”*

Paulo Coelho

# PLATAFORMA COMPUTACIONAL PARA ENSINO E TREINAMENTO DE PROFISSIONAIS DO SETOR ELÉTRICO

Autor: Felipe Gonçalves dos Santos

Orientador(a): Dr. Iguatemi Eduardo da Fonseca

## RESUMO

Essa dissertação apresenta a concepção, projeto e implementação de um ambiente educacional baseado em realidade virtual para estudo e compreensão de operações do setor elétrico, com o intuito de ajudar profissionais que constantemente realizam operações de risco, como troca de isoladores em linha viva. O simulador apresenta um sistema realístico ao operador fazendo alusão a ambientes encontrados em seu cotidiano, apresentando sinais de alerta e mensagens de erro ao praticarem ações prematuras ou precipitadas à ação corrente. Na dissertação também é proposta uma arquitetura com a finalidade de acelerar o desenvolvimento de aplicações de treinamento. Também é apresentada a motivação para o projeto e o processo de atividade do simulador que tem como objetivo principal auxiliar no desenvolvimento de novas aplicações de treinamento utilizando realidade virtual, focando principalmente na prática de procedimentos, com a possibilidade de monitoramento e avaliação de desempenho do operador. Por fim, são discutidos os resultados dos estudos, da pesquisa e da implementação do simulador e são propostos trabalhos futuros no desenvolvimento do simulador.

*Palavras-chave: simulador de procedimentos, plataforma educacional, setor elétrico, realidade virtual.*

# COMPUTATIONAL PLATFORM FOR EDUCATION AND TRAINING PROFESSIONALS POWER SECTOR

Author: Felipe Gonçalves dos Santos  
Leade: Dr. Iguatemi Eduardo da Fonseca

## ABSTRACT

This work presents the conception, design and implementation of an educational environment based on virtual reality to study and understanding of operations of the electric sector, in order to help professionals who constantly perform risky operations such as replacement of insulators live line. The simulator provides a realistic system giving the illusion of environments found user in their daily lives, with warning signs and error messages to the practice or premature actions precipitated the current action. In the dissertation is also proposed an architecture in order to accelerate the development of training applications. Also it is presented the motivation for the project activity and the processor simulator that has as main objective to assist in the development of new applications using virtual reality training, focusing mainly on practical procedures, with the possibility of monitoring and evaluation of these exercised by the operator. Finally, we discuss the results of the studies, research and implementation of the simulator and it proposes future work in developing the simulator.

*Keywords:* simulator procedures, education platform, electrical sector, virtual reality.

# Lista de figuras

1	Ambiente virtual 3D .Fonte: (UNITY, 2010). . . . .	p. 21
2	Imagem Jogo de Age of Empires III. Fonte: (MICROSOFT, 2005). . . . .	p. 24
3	Simulador utilizado para navegação em plataformas de petróleo. Grupo de Simulação e Controle em Automação - GSCAR da UFRJ.Fonte: (GSCAR, 2010). . . . .	p. 25
4	Teclado e o Kinect para Xbox 360. Fonte: (MICROSOFT, 2005). . . . .	p. 26
5	Simulador Legacy 650 produzido pela Embraer.Fonte: (EMBRAER, 2010). . . . .	p. 26
6	Sistema Esope-VR. Fonte: (GARANT, 1995). . . . .	p. 30
7	Visão interna da UHE. Fonte: (MARCOS et al., 2007). . . . .	p. 31
8	Fechamento da válvula. Fonte: (PAMPLONA; CAIO, 2011). . . . .	p. 31
9	Menu principal da aplicação. Fonte: (BELLOC, 2011). . . . .	p. 32
10	Desmontagem da unidade geradora. Fonte: (BELLOC, 2011). . . . .	p. 32
11	Modelo proposto para desenvolvimento de simuladores de procedimentos. . . . .	p. 36
12	Alguns tipos de isoladores usado em linhas de transmissão. Fonte: (ELETROESTERS, 2010). . . . .	p. 46
13	Poste com Isolador (Fonte: (BELLOC, 2011)). . . . .	p. 47
14	Troca de isolador em linha viva. . . . .	p. 49
15	Diagrama de uso do simulador. . . . .	p. 53
16	Diagrama de sequência do simulador. . . . .	p. 54
17	Tela de abertura do simulador ATreVEE 3D. . . . .	p. 55
18	Solicitação de dados do Operador. . . . .	p. 56
19	Modos de operação presentes no simulador. . . . .	p. 56

20	Sala de Ferramentas presente do Modo Sequencial. . . . .	p. 57
21	Visão arquitetural do ARTreVEE 3D. . . . .	p. 57
22	Ativando ação com o cursor. . . . .	p. 59
23	Processo de atividade do Simulador. . . . .	p. 60
24	Interface do editor de cena da Unity 3D. Fonte: (UNITY, 2010). . . . .	p. 64
25	Interface do editor Blender. Fonte: (BLENDER, 1998b). . . . .	p. 64
26	Funcionamento geral das ferramenta Unity 3D. . . . .	p. 65
27	Exemplo do processo de texturização UV em uma malha quadrangular de uma esfera. Fonte: (DINIZ, 2010). . . . .	p. 67
28	Textura do modelo tridimensional do personagem. . . . .	p. 68
29	Processo de construção e texturização da mão. . . . .	p. 69
30	Inicialmente mostra a armadura, e os passos realizados para a modelagem do personagem no Blender (Fonte: (BLENDER, 1998b)). . . . .	p. 70
31	Modelo tridimensional de um dos personagens equipado renderizado no Blender. . . . .	p. 70
32	Alicate utilizado pelo operador. . . . .	p. 78
33	Isolador presente no poste. . . . .	p. 78
34	Isolador presente no poste. . . . .	p. 78
35	Protetor utilizado para proteger o operador do cabo de alta tensão. . . . .	p. 79
36	Arame que prende o fio ao isolador. . . . .	p. 79

# Lista de tabelas

1	Relatório de estatística de acidentes do setor elétrico brasileiro 2011.Fonte: (COGE, 2011). . . . .	p. 17
2	Principais áreas de atuação da RV.Fonte: (AZEVEDO, 2003). . . . .	p. 23
3	Passos para a execução dos procedimentos. . . . .	p. 40
4	Composição das Fontes de Energia no Sistema Elétrico Brasileiro - Capacidade Instalada. Fonte: (GUTIERREZ, 2002). . . . .	p. 45
5	Passos para troca de isolador em linha viva isolador 1. . . . .	p. 49
6	Passos para troca de isolador do meio em linha viva, após a troca do primeiro isolador. . . . .	p. 50
7	Passos para troca do último isolador em linha viva. . . . .	p. 50
8	Passos para troca de isolador em linha desativada. . . . .	p. 51
9	Engines para construção de ambientes virtuais 3D. . . . .	p. 63

# Lista de abreviaturas e siglas

RV – Realidade Virtual

PC – Computador Pessoal

COGE – Comitê de Gestão Empresarial

SGTS – Sistema de Gestão do Trabalho Seguro

CME – Custo Mínimo Estimado

ATreVEE 3D – Ambiente para Treinamento Virtual de Procedimentos do Setor Elétrico usando Simulação Gráfica 3D

3D – Três Dimensões

IHC – Interface Humano Computador

CyberMed – Systems based on virtual reality for medical procedures simulation

USP – Universidade de São Paulo

ANEEL – Agencia Nacional de Energia Elétrica

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

UML – Unified Modeling Language

BVH – Biovision Motion File

# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	p. 15
1.1	Motivação e Relevância . . . . .	p. 16
1.2	Objetivos . . . . .	p. 19
1.3	Metodologia . . . . .	p. 20
1.4	Organização do trabalho . . . . .	p. 20
<b>2</b>	<b>Fundamentação Teórica</b>	p. 21
2.1	Realidade Virtual . . . . .	p. 21
2.2	Tecnologias da Realidade Virtual aplicadas para a Educação . . . . .	p. 22
2.2.1	Técnicas de Interação . . . . .	p. 23
2.2.2	Dispositivos de Interação . . . . .	p. 26
2.2.3	Aplicação da Realidade Virtual . . . . .	p. 27
2.3	Vantagens de Ambientes Virtuais no Processo de Ensino e Aprendizagem	p. 29
2.4	Trabalhos Relacionados ao Setor Elétrico . . . . .	p. 30
<b>3</b>	<b>Projeto ATreVEE 3D</b>	p. 34
3.1	Arquitetura Proposta para Simuladores de Procedimentos . . . . .	p. 34
3.1.1	Base do Conhecimento . . . . .	p. 37
3.1.2	Avaliação de Procedimentos . . . . .	p. 37
3.1.2.1	Procedimentos . . . . .	p. 37
3.1.2.2	Relatório de Desempenho . . . . .	p. 38
3.1.3	Cenário de Treinamento . . . . .	p. 38

3.1.3.1	Modo de Treinamento . . . . .	p. 38
3.1.3.2	Hierarquia de Operações . . . . .	p. 39
3.1.4	Interface com Usuário . . . . .	p. 42
3.1.5	Gerenciador de Objetos estáticos e interativos . . . . .	p. 42
3.1.5.1	Modelo Geométrico . . . . .	p. 43
3.1.5.2	<i>Script</i> . . . . .	p. 44
3.1.5.3	Ações . . . . .	p. 44
3.2	Descrição do Cenário de Treinamento para o Sistema ATreVEE 3D . . . . .	p. 45
3.2.1	Descrição dos Procedimentos . . . . .	p. 47
3.3	Levantamento de Requisitos, Caso de Uso e Atividades do Simulador . . . . .	p. 51
3.3.1	Requisitos . . . . .	p. 51
3.3.2	Visão de Caso de Uso . . . . .	p. 52
3.3.3	Diagrama de Sequência do Simulador . . . . .	p. 52
3.4	Modos de Treinamento do ATreVEE 3D . . . . .	p. 55
3.5	Processo de Atividade do Simulador . . . . .	p. 57
3.6	Interação com o Usuário . . . . .	p. 58
3.7	Sistema de Avaliação do Usuário . . . . .	p. 59
<b>4</b>	<b>Processo de Desenvolvimento do Simulador</b> . . . . .	<b>p. 62</b>
4.1	Tecnologias e Ferramentas Utilizadas . . . . .	p. 62
4.1.1	Linguagem Utilizada no Desenvolvimento do Simulador . . . . .	p. 65
4.2	Definição dos Modelos 3D . . . . .	p. 66
4.2.1	Modelos 3D Estáticos e Animados . . . . .	p. 66
4.2.2	Texturização UV . . . . .	p. 67
4.2.3	Construção e Texturização dos Modelos do ATreVEE 3D . . . . .	p. 67
4.3	Módulos de visualização do ATreVEE 3D . . . . .	p. 70

<b>5 Conclusão e Trabalhos Futuros</b>	p. 72
5.1 Considerações Sobre a Pesquisa . . . . .	p. 72
5.2 Resultados da Pesquisa . . . . .	p. 73
5.3 Trabalhos Futuros . . . . .	p. 74
<b>Referências</b>	p. 75
<b>Anexo A – Imagens dos objetos interativos do Simulador</b>	p. 78

# 1 Introdução

Apesar de existir há mais de duas décadas, a Realidade Virtual (RV) tem tido um crescimento considerável nos últimos anos por diversos fatores, o principal deles era o preço, pois estes equipamentos por serem sofisticados permaneceram com preços altos por muito tempo. Atualmente, com o grande avanço tecnológico e o crescimento da indústria de computadores, a RV deixou de ser inviável financeiramente e empresas de produtos eletrônicos passaram a desenvolver produtos para serem utilizados por ela, fazendo com que as pesquisas nesta área deixassem de ser exclusividade de instituições de pesquisa e/ou governamentais (MACHADO, 1995).

Com este desenvolvimento tecnológico, a RV tornou-se mais viável e barata, sendo possível ser construída e explorada através de um simples computador pessoal (PC). No entanto, o uso de um computador pessoal não significa necessariamente uma experiência de RV. A RV é ocasionada devido a mistura de criações artísticas geradas por software e um grande número de desafios e novidades tecnológicas a serem implementadas as aplicações.

O uso das tecnologias da RV em aplicações de treinamento e capacitação de profissionais para a realização de procedimentos complexos ou de risco tem se tornado cada vez mais comum e apresentando resultados muito positivos quando comparado com os métodos tradicionais de ensino, como apostilas, manuais, vídeos, entre outros.

As vantagens apresentadas pelas soluções em RV promoveram o desenvolvimento de simuladores e aplicações de treinamento em diversas áreas, como na condução de veículos terrestres e aeronaves, manutenção e operação de máquinas industriais, realização de procedimentos médicos, operações militares e tratamentos psicológicos, utilizando-se de dispositivos computacionais que exploram diversos sentidos humanos, como visão, tato e audição (KIRNER, 2007).

Os trabalhos em RV podem pertencer a um ou mais grupos voltados para o treinamento de profissionais, entre eles: i) treinamento de habilidades físicas e motoras (MACHADO, 2003); ii) treinamento de tomada de decisão apresentado no trabalho de (SOUZA, 2003);

permitindo que o usuário execute sequencias reais de montagem de equipamentos; nesta mesma categoria, treinamento por tomadas de decisão (PAMPLONA, 2010), (NILS, 2010), no qual é possível que os técnicos possam interagir com as instruções criadas, de modo a montar e desmontar os equipamentos (nas instruções de manutenção) e acionar as chaves e os comando nas interfaces computacionais (no caso das instruções de operação); iii) treinamento na execução de procedimentos (NILS, 2010), este trabalho consiste de um usuário sem conhecimento de programação de computadores possa criar procedimentos técnicos denominados de instruções técnicas virtuais.

Neste último grupo de aplicações, cuja ênfase está no treinamento de procedimentos utilizando técnicas de RV, a ideia principal desta proposta de dissertação é criar um simulador gráfico, causando uma alusão imersiva e interativo reduzindo as diferenças existentes entre o cenário virtual e a realidade permitindo aos operadores dos sistemas elétricos experimentarem, sem riscos, situações de conflito e perigo que ocorrem comumente durante a operação dos sistemas elétricos de distribuição de energia.

A partir da avaliação de desempenho dos usuários, viabilizada pelo módulo de avaliação da plataforma computacional, os profissionais do setor elétrico poderão aprender com os próprios erros e garantir, como consequência, a eficiência na realização dos procedimentos com reflexo direto na minimização de erros na operação do sistema real.

Tal ferramenta pode contribuir na elaboração de aplicações de treinamento de procedimentos de forma eficaz, reduzindo o investimento necessário para a implantação de tais soluções, ou até mesmo deslocamento de funcionários de uma região para outra, fomentando o uso das tecnologias de RV no cenário nacional.

## 1.1 Motivação e Relevância

O treinamento em ambientes virtuais tem ganhado atenção por apresentar diversas vantagens, e podem ser aplicado para solucionar diferentes estorvos. Em sistemas elétricos de distribuição de energia existem poucas publicações acadêmicas que relatam a criação de aplicações que utilizam a RV para determinados segmentos.

Por possuírem operações complexas, com risco de vida e de patrimônio tangível e intangível, o setor elétrico necessita de profissionais altamente qualificados e com total conhecimento das ações a serem adotadas para o controle e operação do sistema. Não são admitidos erros operacionais, pois podem causar perdas de vidas, além de desligamentos indevidos afetando milhares de pessoas e causando prejuízo à empresa.

No último relatório de estatística de acidentes do setor elétrico brasileiro 2011 como mostra a Tabela 1, realizado pela Fundação COGE (Comitê de Gestão Empresarial) refaz um levantamento importante sobre acidentes no setor elétrico do país.

Os acidentes fatais e com afastamento, ao longo dos anos, têm como causas principais: queda, origem elétrica e veículos,(COGE, 2011). Tais causas podem ser evitadas, especialmente as duas primeiras, que dependem exclusivamente do cumprimento de procedimentos técnicos de trabalho (planejamento da segurança no trabalho, observação das frentes de trabalho, procedimentos de trabalho escritos - o passo a passo, treinamento da força de trabalho, além do compromisso gerencial, etc.), elementos constantes do SGTS - Sistema de Gestão do Trabalho Seguro.

Indicadores	Ano					
	2005	2006	2007	2008	2009	2010
1 - Nº de Empregados (média)	97.991	101.105	103.672	101.451	102.766	104.857
2 - Horas-homem de Exposição ao Risco	196.523.365	200.219.744	201.981.289	203.945.395	201.104.170	207.109.916
3 - Acidentados Típicos das Empresas						
Acidentados com Afastamento	1.007	840	906	851	781	741
Acidentados sem Afastamento	1.026	918	897	901	763	651
Total	2.033	1.758	1.803	1.752	1.544	1.392
Consequência Fatal	18	19	12	15	4	7
Taxa de Frequência	5,12	4,20	4,49	4,17	3,58	3,58
Taxa de Gravidade	759	719	538	568	238	337
4 - Tempo Computado Total (dias)	149.252	144.018	108.756	115.748	47.920	69.853
5 - Nº de Empregados das Contratadas (média)	89.283	110.871	112.068	126.333	123.704	127.584
6 - Acidentados das Contratadas						
Consequência Fatal	57	74	59	60	63	75
7 - Acidentados da População						
Consequência Fatal	305	293	324	331	288	308

Tabela 1: Relatório de estatística de acidentes do setor elétrico brasileiro 2011.Fonte: (COGE, 2011).

No ano de 2010, com 81 empresas e o contingente de 104.857 empregados próprios, desempenhando diariamente suas atividades, com riscos de natureza geral e riscos específicos, foram registrados 741 acidentados relacionados ao setor elétrico típicos com afastamento, acarretando, entre custos diretos (remuneração do empregado durante seu afastamento) e indiretos (custo de reparo e reposição de material, custo de assistência ao acidentado e custos complementares - interrupção de fornecimento de energia elétrica, por exemplo), prejuízos de monta para o Setor de Energia Elétrica, da ordem de centenas de milhões de reais (COGE, 2011).

Em 2010 foram perdidas 558.824 horas em decorrência dos acidentes com lesão, que se comparadas com as 383.360 horas perdidas em 2009, mostram uma aumento de 46%, observando-se que o aumento de horas trabalhadas (3%), não acompanhou esse cresci-

mento. Considerando ainda os acidentes sem perda de tempo e os acidentes com e sem danos materiais, o custo dos acidentes no Setor Elétrico Brasileiro seria da ordem de: R\$ 55.594.164,80 (COGE, 2011).

Calculando o custo mínimo estimado (CME) com os acidentados de 2010, considerando-se as 558.824 horas de trabalho perdidas, obtemos o seguinte:

Custo Mínimo Estimado - CME = 5 (dias perdidos<sup>1</sup> x salário médio/dia no setor)

$$\text{CME 2010} = 5 \times (69.853 \times \text{R\$ } 109,10) = \text{R\$ } 38.104.811,50^2$$

Todo este custo com empregados gerado por acidentes das próprias empresas, representaria um investimento em diversas subáreas do setor como construção de pequenas centrais hidrelétricas, novas redes de distribuição, linhas de transmissão e novas tecnologias para o setor elétrico nacional.

Tendo em vista que esses acontecimentos estão ligados diretamente aos operadores, é motivador pesquisar novas formas e alternativas para alteração dos dados apresentados anteriormente.

Então podemos afirmar que o bom treinamento de profissionais deste setor, e a necessidade constante de mantê-los atualizados com normas e utilizações de novos procedimentos e equipamentos, podem proporcionar uma eficiência e qualidade na realização dos procedimentos.

Logo uma plataforma computacional para execução de procedimentos baseada em simulação gráfica interativa, venha a se tornar uma poderosa ferramenta para garantir a efetividade na manutenção de equipamentos e atualização de novos procedimentos.

Essa plataforma terá por característica, apresentará disponibilidade para formação contínua dos profissionais, ou seja, o operador a qualquer momento poderá recorrer ao simulador é rever seus conceitos e novas instruções impostas pela empresa, proporcionando assim a uma diminuição de erros operacionais e gastos relacionados.

Outro incentivo considerável é a ausência de pesquisas realizadas relacionadas ao treinamento de profissionais em um setor que tanto necessita. Foi observado que poucos trabalhos têm sido publicados detalhando a construção de simuladores virtuais para procedimentos no setor elétrico.

---

<sup>1</sup>dias perdidos = horas de trabalho perdidas (558.824) dividido pela carga horária diária de trabalho (8h/dia).

<sup>2</sup>hipótese conservadora uma vez que foi utilizado o multiplicador 5. A literatura técnica disponível indica que o custo indireto de um acidente pode variar de 5 a 50 vezes o seu custo direto.

## 1.2 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é discutir a utilização de simuladores virtuais no setor elétrico, também é meta desenvolver uma plataforma para o auxílio ao ensino e treinamento de procedimentos no setor elétrico, intitulado ATreVEE 3D ATreVEE 3D (Ambiente para treinamento Virtual de Procedimentos do Setor Elétrico usando Simulação Gráfica 3D), explorando as potencialidades no ensino com RV e propiciando o valor lúdico-didático que lhes está subjacente na representação de um ambiente de simulação gráfica em três dimensões -(3D) .

Este ambiente deve permitir ao operador (usuário) a realização e/ou visualização de procedimentos similares aos realizados em ambientes reais no dia-a-dia com ou sem supervisão, armazenando as ações do operador para uma posterior avaliação de seu desempenho durante o processo.

Dentro destas perspectivas, foram objetivos específicos:

- Desenvolver uma plataforma ou protótipo para o auxílio ao ensino e treinamento de procedimentos no setor elétrico (ATreVEE 3D) multiplataforma;
- Propor uma arquitetura de um simulador de procedimentos para esse fim;
- Mostrar que é possível desenvolver um simulador de procedimentos utilizando a arquitetura proposta pelo trabalho;
- Desenvolver um sistema de avaliação acoplado ao simulador virtual, como apoio ao treinamento ATreVEE 3D;
- Mostrar que é possível desenvolver um simulador de procedimentos com baixo custo, o que tornaria a utilização dessa tecnologia ainda mais interessante e alternativa a empresas do setor;
- Interagir com especialistas na realização das operações executadas pelos operadores, a fim de modelar um sistema adequado para a simulação de interação operador ambiente, observando a modelagem, visualização e representação das propriedades dos objetos e equipamentos de trabalho, dando ao operador uma experiência antecipada à realidade, permitindo que o aprendiz desenvolva o trabalho no seu próprio ritmo, desta forma estimula a participação ativa do operador.

## 1.3 Metodologia

Para alcançar os objetivos específicos desse trabalho, algumas atividades foram realizadas durante o tempo de estudo como:

- Pesquisar arquiteturas e técnicas utilizadas para criar ambientes virtuais de treinamento de procedimentos;
- Realizar uma análise e seleção das melhores técnicas e arquiteturas estudadas;
- Elaborar uma arquitetura flexível, para facilitar e reduzir o custo do desenvolvimento de novos cenários de treinamento;
- Interagir com profissionais da área do setor elétrico para levantamento de requisitos do simulador ou do cenário de treinamento;

## 1.4 Organização do trabalho

Além dessa breve introdução, esta dissertação é composta da seguinte forma:

- Capítulo 2 - Referencial Teórico: são apresentadas as ferramentas, tecnologias da RV aplicadas para a educação, ferramentas para construção de ambientes virtuais e as vantagens desses ambientes no ensino e aprendizagem, e trabalhos utilizando a RV para o setor elétrico;
- Capítulo 3 - É apresentado o projeto do ambiente para treinamento virtual de procedimentos do setor elétrico usando simulação gráfica 3D: É descrito o cenário de treinamento, a descrição dos procedimentos realizados pelo operador, a visão geral da arquitetura proposta, os modos de treinamento do ATreVEE 3D, o levantamento de requisitos realizados para composição do protótipo, o caso de uso, o processo de atividades do simulador, o diagrama de sequência do simulador, a interação com o usuário e o processo do sistema de avaliação do usuário.
- Capítulo 4 - Processo de Desenvolvimento do Simulador: são apresentadas tecnologias e ferramentas utilizadas e técnicas aplicadas durante o processo; e
- Capítulo 5 - Conclusões e Trabalhos Futuros: são levantadas as considerações sobre a pesquisa e projeções para melhoria do trabalho e de outros na mesma área, assim como os resultados encontrados e trabalhos futuros.

## 2 Fundamentação Teórica

Nesta seção faz-se referências as teorias, soluções, aplicações e casos de sucessos do emprego da RV aplicadas ao processo de ensino-aprendizagem utilizando-se de conceitos de interface humano computador (IHC) . Inicialmente remete-se ao tema teorias de aprendizagem, referenciando alguns pesquisadores da RV. No segundo momento, apresenta-se o estudo da arte dos mundos virtuais de aprendizagem, as primeiras aplicações e modelos, casos de sucessos e referência de alguns aplicações voltadas ao setor elétrico.

### 2.1 Realidade Virtual

O termo RV foi cunhado no final da década de 1980 por Jaron Lanier (BIOCCA; LEVY, 1995), artista e cientista da computação que conseguiu convergir dois conceitos antagônicos em um novo e vibrante conceito, capaz de captar a essência dessa tecnologia: a busca pela fusão do real com o virtual como ilustra a Figura 1.



Figura 1: Ambiente virtual 3D .Fonte: (UNITY, 2010).

Na última década aplicações médicas baseadas em Realidade Virtual (RV) vêm sendo cada vez mais utilizadas (BURDEA; COIFFET, 2003) e a tecnologia de RV tem passado do

caráter experimental para o desenvolvimento de sistemas distintos. Hoje a RV encontra-se aplicável em diversas áreas como jogos, educação, treinamento militar, engenharia, indústria petroquímica, arquitetura, medicina e outras. Com o crescente avanço tecnológico associado a equipamentos e aplicações, a RV encontra um campo favorável para tornar-se cada vez mais acessível aos usuários finais, buscando firmar-se como uma importante área acadêmica, científica e tecnológica (BURDEA; COIFFET, 2003).

A RV é, antes de tudo, uma “interface avançada do usuário” para acessar aplicações executadas no computador, tendo como características a visualização e movimentação em ambientes tridimensionais em tempo real e interação com elementos desse ambiente. Além da visualização em si a experiência do usuário de RV pode ser enriquecida pela estimulação dos demais sentidos como tato e audição (KIRNER, 2007).

Reforçando o conceito, (BOWMAN, 2004) diz que a interação do usuário com o ambiente virtual é um dos aspectos importantes da interface e está relacionada com a capacidade do computador detectar e reagir às ações do usuário, promovendo alterações na aplicação. O usuário que está interagindo com um ambiente virtual tridimensional realista proposto, em tempo real, observando as cenas serem modificadas como resposta aos seus comandos, torna a interação mais rica, natural e atraente à utilização, gerando mais engajamento à operação o ajudando em operações complexas e como resultado a eficiência no procedimento.

## 2.2 Tecnologias da Realidade Virtual aplicadas para a Educação

A RV tem se consolidado como uma nova e eficaz maneira de auxiliar o ensino em diversos campos (YOUNGBLUT, 1998) (BLAS; POGGI, 2007). Uma série de aplicações de ambientes virtuais que podem ser desenvolvidos com RV, hoje está presente em diversas áreas, algumas das quais são apresentadas na Tabela 2 (AZEVEDO, 2003).

O uso de um processo sistemático no desenvolvimento dos ambientes e aplicações de realidade virtual teve impactos positivos em termos de produtividade na execução das etapas e fases e em termos de qualidade do produto final obtido (KIRNER, 2007). O processo de descoberta, exploração e observação são de fundamental importância para a construção do conhecimento, a possibilidade de simular procedimentos de uma determinada área para diferentes situações de maneira realística propicia um grande avanço ao processo educacional convencional.

Área	Aplicação
Arte	Efeitos especiais, modelagem criativas, esculturas e pinturas.
Medicina	Exames, diagnósticos, estudo, planejamento de procedimentos.
Arquitetura	Perspectivas, projetos de interiores e paisagismo.
Engenharia	Em todas as suas áreas (mecânica, civil, aeronáutica etc.).
Meteorologia	Previsão do tempo, reconhecimento de poluição.
Astronomia	Tratamento de imagens, projetos de criação.
Segurança Pública	Definição de estratégias, treinamento, reconhecimento.
Indústria	Treinamento, controle de qualidade, projetos.
Turismo	Visitas virtuais, mapas, divulgação e reservas.
Moda	Padronização, estamparias, criação, modelagem, gradeamentos.
Lazer	Jogos, efeitos em filmes, desenhos animados, propaganda.
Processamento de Dados	Interface, projetos de sistemas, mineração de dados.
Psicologia	Terapias de fobia e dor, reabilitação.
Educação	Aprendizagem, desenvolvimento motor, reabilitação.

Tabela 2: Principais áreas de atuação da RV. Fonte: (AZEVEDO, 2003).

### 2.2.1 Técnicas de Interação

A interação entre pessoas existe desde o surgimento das primeiras civilizações humanas utilizando-se diversas formas para a troca de conhecimento, numa evolução contínua que teve início com os primeiros desenhos rupestres nas cavernas, passando pelos sinais de fumaça, os sons dos tambores, as pinturas nas telas, a imprensa escrita e falada, o telefone, a televisão e, finalmente, o computador e toda parafernália tecnológica existente atualmente (TEICHRIEB; KELNER, 2006).

As técnicas de interação segundo (BOWMAN, 2004) incluem tanto componentes de hardware (dispositivos de entrada/saída) quanto de software. As técnicas de interação utilizadas nos componentes de software são responsáveis por mapear a informação de um dispositivo de entrada em alguma ação dentro do sistema, e por mapear a saída do sistema de forma que esta possa ser interpretada pelos dispositivos de saída.

Nas aplicações de RV, técnicas especiais de interação que lidam com o espaço 3D são exigidas, trazendo ao software mais qualidade e servindo como forma de atração ao usuário. A interação pode ocorrer tanto no sentido usuário-aplicação, quanto no sentido aplicação-usuário. Os cenários virtuais utilizados em RV podem dar retorno ao usuário através de dispositivos chamados "hápticos". Neste caso, o usuário sente a reação do mundo virtual e pode reagir de forma diferente dependendo dos estímulos providos pela simulação.

A interação 3D é crucial em sistemas nas quais está aplicada a realidade virtual, para

tal são empregadas técnicas de acordo com a tarefa a ser realizada pelo usuário. Técnicas como seleção e manipulação, navegação, controle do sistema e entrada simbólica, foram definidas por (BOWMAN, 2004), e são utilizadas por pesquisadores da área até os dias de hoje.

**Manipulação 3D:** É necessário que a interação seja realista, o que significa que o usuário, possa realizar movimentos humanísticos, como pular, correr, empurrar objetos virtuais como no mundo real, como ilustrado na Figura 2.



Figura 2: Imagem Jogo de Age of Empires III. Fonte: (MICROSOFT, 2005).

Para (BASTOS; TEICHRIEB; KELNER, 2007) as técnicas de interação para manipulação 3D são apontamento, manipulação direta, mundo em miniatura, agregação e integração e manipulação 3D para os dispositivos.

**Navegação:** (TEICHRIEB; KELNER, 2006) afirma que movimentação física tem uma influência positiva nos níveis de presença relatados por usuários quando há interação em ambientes virtuais, nos quais os usuários, ao navegarem pelo ambiente virtual, podem realizar ações como viajar (explorar) pela cena ou procurar um caminho específico, como localização de controles do sistema evitando caso de risco e saídas de emergência, utilizados atualmente para o treinamento de operários que trabalham em setores de risco como plataformas de petróleo ilustrado na Figura 3.



Figura 3: Simulador utilizado para navegação em plataformas de petróleo. Grupo de Simulação e Controle em Automação - GSCAR da UFRJ. Fonte: (GSCAR, 2010).

Na concepção de (BASTOS; TEICHRIEB; KELNER, 2007) a navegação se decompõe em locomoção física, direcionamento, planejamento de rotas, baseadas em alvo, manipulação manual, *travelby-scaling*, orientação do *viewpoint*, especificação da velocidade e controles integrados da câmera para ambientes desktop 3D.

**Entrada Simbólica:** Técnicas de entrada simbólica para interfaces 3D são acionadas de acordo com entradas específicas como por exemplo um dispositivo capaz de capturar alguns movimentos característicos como o Kinect ou mesmo teclas específicas como o teclado, como mostra a Figura 4. Também estão presentes em plataformas móveis que usam entrada baseada em caneta, na qual o usuário escreve caracteres, símbolos ou outros gestos com uma caneta no dispositivo e é entendido como uma ação.

**Controle de Sistema:** A interação para controle do sistema serve basicamente para modificar o estado atual, normalmente, estas ações são realizadas através de comandos disponíveis na interface. As técnicas de interação para controle do sistema são menus gráficos, painéis para execução de alguma ação, comandos de voz, captura de gestos e volantes ou alavancas, como mostra a Figura 5.

Algumas dessas técnicas já foram usadas em interfaces 3D, utilizando algum tipo de dispositivo para interação.



Figura 4: Teclado e o Kinect para Xbox 360. Fonte: (MICROSOFT, 2005).



Figura 5: Simulador Legacy 650 produzido pela Embraer. Fonte: (EMBRAER, 2010).

## 2.2.2 Dispositivos de Interação

A interação diz respeito à capacidade do computador detectar as entradas do usuário e modificar instantaneamente o mundo virtual e as ações sobre ele. Os dispositivos de interação têm como objetivo oferecer maneiras mais intuitivas de intercâmbio ou prover um maior nível de imersão ao usuário no cenário. Estes dispositivos separam-se em duas categorias que apresentam sua finalidade e suas funcionalidades, sendo caracterizadas como dispositivos de entrada e dispositivos de saída.

Os dispositivos de entrada de dados para sistemas de RV são utilizados para enviar informações sobre ações do usuário para o sistema. Basicamente, eles podem ser de dois tipos: de interação ou de rastreamento. Em ambos os casos, as ações do usuário são

identificadas em um espaço tridimensional (CARDOSO; MACHADO, 2008).

Os dispositivos de saída de dados no contexto da RV convêm a equipamentos que apresentam as interações aos usuários após suas interações, entre eles podemos citar monitor, salas de realidade virtual, óculos de realidade virtual, dispositivos de retorno de força e outros.

### 2.2.3 Aplicação da Realidade Virtual

A realidade virtual é mais do que uma realidade no dia a dia da comunidade científica e, cada vez mais, uma importante aliada para o desenvolvimento tecnológico. Suas aplicações vão desde os conhecidos simuladores de vôo de uso profissional até mesmo às plataformas de entretenimento. As aplicações são arquitetadas com diversos objetivos como mostra a Tabela 2, tais como: ensino, entretenimento, treinamento, dentre outros.

Em (CARDOSO; LAMOUNIER, 2008), são apresentadas vantagens e justificativas para a utilização da RV aplicada na educação em sua pesquisa ele realiza um pequeno levantamento de aplicações em diversas áreas que exploram as potencialidades da RV.

#### Medicina

A Medicina e áreas de saúde relacionadas têm, substancialmente, se beneficiado dos avanços tecnológicos apresentados pela Realidade Virtual, nos últimos anos. Um dos principais problemas para a educação em Medicina, em geral, é como providenciar um senso realístico da inter-relação entre estruturas anatômicas no espaço 3D (CARDOSO; LAMOUNIER, 2008), tentando aprimorar cada vez mais a forma de realismo nos movimentos e reações causadas. Um detalhe importante da RV é que o aprendiz pode repetidamente explorar as estruturas de interesse, separando-as ou agrupando-as com as mais diferentes formas de visualização, imersão e exploração trazendo um conforto ao aluno.

O CyberMed (CYBERMED, 2009) é um sistema baseado em RV para simulação de procedimentos médicos, ele podem fornecer treinamento realista de tarefas específicas, novas técnicas ou novos métodos. O desafio de sistemas de RV para a medicina é oferecer ambientes de computador com características semelhantes ao mundo real. Em seguida, os sistemas devem apresentar objetos realistas (forma, cor, propriedades físicas), explorar os sentidos do usuário e fornecer resposta em tempo real às interações do usuário.

#### Indústria

Dentre as diversas áreas podem-se destacar a área de petróleo e gás. As pessoas que

trabalham na indústria petrolífera, geólogos, geofísicos e engenheiros de reservatórios, trabalham com modelos em 3D dos reservatórios em estudo. Esses modelos, normalmente grandes e complexos, são construídos utilizando informações de muitas fontes diferentes: dados sísmicos, que revelam as características estruturais, como falhas ou horizontes em uma escala de dezenas de milhares de metros e registros do poço, que produzem informações locais em torno do poço sobre a porosidade, permeabilidade e outras propriedades da rocha.

Por meio da utilização de poderosas estações de trabalho gráficas em conjunto com técnicas de RV, um geólogo pode manipular, interrogar e investigar mais facilmente o modelo de um grande reservatório contendo todos esses tipos diferentes de dados, também acelera o ritmo de descobertas, melhora a comunicação, reduz o risco de erros e torna o processo de tomada de decisões mais eficiente.

### **Educação**

O avanço tecnológico e a redução dos custos dos equipamentos para desenvolvimentos de jogos têm dado condições de evolução para criação de simuladores virtuais, com isso são capazes de reproduzirem atividades reais no ambiente virtual. Hoje na educação já se encontra profundamente explorada, como era de se esperar, auxiliando estudantes nos estudos e avaliações das mais diversas áreas da ciência como a Matemática, Biologia, Física e Química e outras disciplinas complementares.

Na disciplina de física tem, igualmente, usufruído dos inúmeros benefícios advindos da Realidade Virtual, oferecendo a possibilidade de utilização de um simulador como recurso pedagógico, apresentando o recurso de simulação educativa de um conteúdo da disciplina de física no contexto de um mundo virtual. Isto porque um dos problemas tradicionalmente apresentado na literatura é o fato de os livros serem em 2D, o que dificulta ao aluno a sensação tridimensional de imersão e profundidade. Tais itens são largamente explorados por sistemas atuais que utilizam técnicas de RV no ensino de diversos assuntos.

Assim, por trabalhar diretamente com o espaço 3D e presenciando as reações causadas pelas ações realizadas, problemas e relações espaciais complexas podem ser compreendidos de forma mais rápida e com mais qualidade do que métodos tradicionais.

## 2.3 Vantagens de Ambientes Virtuais no Processo de Ensino e Aprendizagem

A evolução constante da tecnologia está impulsionando a educação para novos rumos, enfatizando a utilização de novas ferramentas, propiciando uma evolução no processo de ensino/aprendizagem. De acordo com (MORAN, 2003), a construção do conhecimento, a partir do processamento multimídico é mais “livre”, menos rígida, com conexões mais abertas que passam pelo sensorial, pelo emocional e pela organização do racional; uma organização provisória, que se modifica com a facilidade, que cria convergências e divergências instantâneas, que precisa de processamento múltiplo instantâneo e de resposta imediata.

Apesar da realidade virtual também usar múltiplas mídias, ela enfatiza a interação do usuário com o ambiente tridimensional e a geração de imagens em tempo real (TORI, 2007). Estes ambientes têm como proposta ampliar o sentido de educar e reinventar a função da forma de aprendizagem abrindo-lhes novos projetos e oportunidades que forneçam condições de ir além da formação para o consumo e a produção.

Segundo (MACHADO, 2003) a principal vantagem do uso de sistemas baseados em RV sobre métodos tradicionais de ensino, treinamento e assistência relaciona-se à exploração dos sentidos aliada à imersão do usuário ao tema apresentado. Graças aos efeitos tridimensionais, o espectador tem acesso a um novo tipo de experiência mais duradoura e impactante mesmo após a sessão de uso da RV.

A explicação é simples: temos tendência, em geral, a memorizar com mais facilidade aspectos que presenciamos (experiência sensorial) do que aspectos que apenas assistimos (experiência audiovisual), assim nos permite visualização de detalhes de objetos, permite ao aprendiz refazer experimentos de forma atemporal, fora do âmbito de uma aula clássica.

Tendo em vista as tecnologias apresentadas e formas de interações e software capazes de construir ambientes tridimensionais pode-se dizer que qualquer órgão ou instituição que proporcione ensino de alguma atividade exercida por ela, hoje não se vê sem um vínculo com a cultura da informática em diversas atividades, ou seja, essas tecnologias já se encontram no meio ao qual podem ser exploradas, tendo como desafio o de se inventar e descobrir o uso criativo desta de forma educacional.

## 2.4 Trabalhos Relacionados ao Setor Elétrico

Em (GARANT, 1995) é apresentado o sistema Esope-VR que visa a formação dos operadores que trabalham em comutação de energia elétrica ou estações de distribuição, permitindo ao utilizador exercer operações que consistem tipicamente de alterar a topologia das redes de distribuição, abrindo e fechando as linhas de transmissão, isolando equipamentos, a fim de realizar a manutenção ou trabalhos de reparação, proporcionando uma compensação apropriada ou redistribuir a carga.

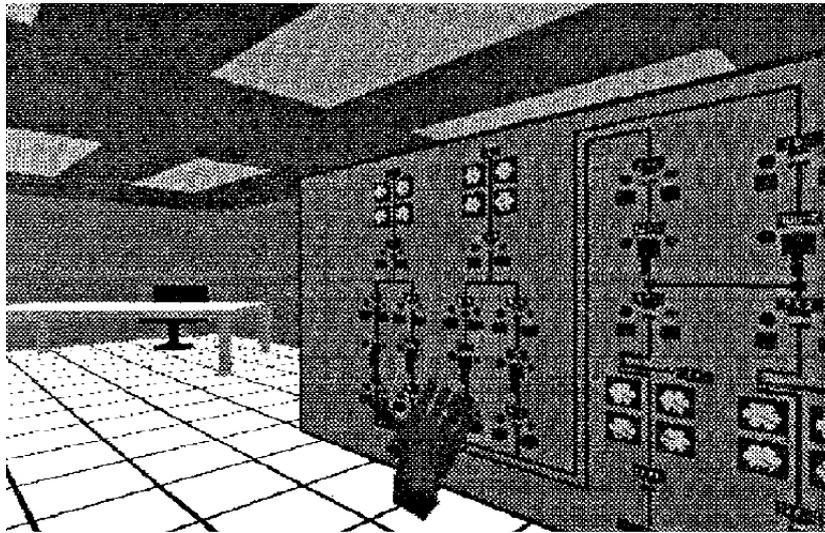


Figura 6: Sistema Esope-VR. Fonte: (GARANT, 1995).

No trabalho de (MARCOS et al., 2007) é apresentado um modelo de treinamento para manutenção de uma Unidade Hidrelétrica de Energia (UHE) utilizando um sistema de realidade virtual desktop, com uma abordagem de aprendizagem baseada totalmente na prática. A ferramenta de treinamento apresenta três modos, automático, guiado e exploratório que são acessados conforme o usuário vai adquirindo conhecimento durante o treinamento, entre eles são realizados os procedimentos de manutenção, mostrando a potencialidade do uso de RV no treinamento em grandes projetos industriais, como ilustra a Figura 7.

Através do Sistema de Autoria para Construção de Instruções Técnicas Virtuais (PAMPLONA; CAIO, 2011) permite que técnicos de uma Usina Hidrelétrica de Energia construam instruções técnicas de operação e manutenção em um ambiente virtual dando aos técnicos a possibilidade de interagir com as instruções criadas de modo a montar e desmontar os equipamentos, simulando instruções de manutenção e operação, como mostra a Figura 8.

A AES Eletropaulo, em parceria com a Universidade de São Paulo (USP) e Ma-

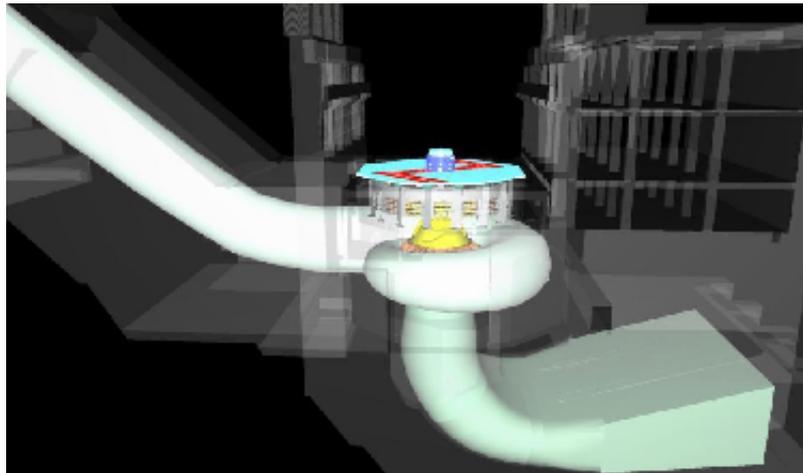


Figura 7: Visão interna da UHE. Fonte: (MARCOS et al., 2007).



Figura 8: Fechamento da válvula. Fonte: (PAMPLONA; CAIO, 2011).

trix (empresa de consultoria em engenharia), criou um simulador exclusivo para capacitar seus eletricitas. A ferramenta utiliza o ambiente virtual para testar os eletricitas sobre os procedimentos de segurança adotados pela empresa. Todos os que fazem o curso de capacitação de eletricitas para linhas energizadas passam primeiro pelo simulador (BELLOC, 2011), AES EletroPaulo 2012, apresentada na Figura 9.

A Furnas Centrais Elétricas também desenvolveu uma aplicação para o treinamento financiado pela Agencia Nacional de Energia Eléctricas (ANEEL) , o objetivo central é enriquecer o material utilizado na capacitação das equipes de manutenção, através da Realidade Virtual (BELLOC, 2011), como mostra a Figura 10.

O uso de aplicações de treinamento na área de manutenção de operações relacionadas a eletricidade é importante, pois os aparelhos e peças manipuladas durante estas atividades são grandes ou exigem certas complexidades. Além disto, o custo de aquisição e instalação destes equipamentos é muito elevado, o que torna inviável aquisição de máquinas apenas para realização de treinamento.

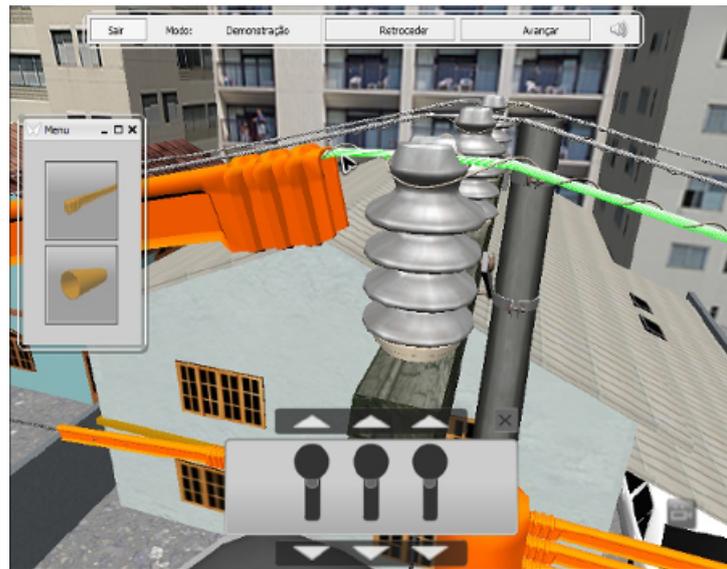


Figura 9: Menu principal da aplicação. Fonte: (BELLOC, 2011).

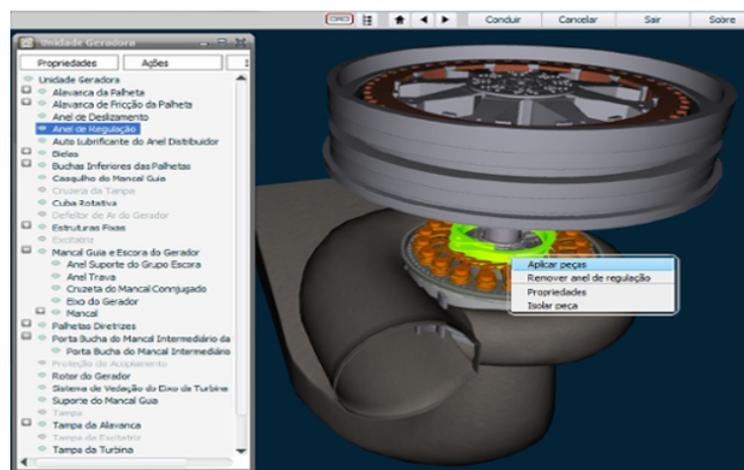


Figura 10: Desmontagem da unidade geradora. Fonte: (BELLOC, 2011).

O aspecto mais importante, porém, é o fato de que operações em linha viva envolvam risco de acidentes e de vida do operador. Assim, partindo-se do princípio de que a preservação da vida humana é fundamental, o investimento no desenvolvimento de ferramentas como estas é plenamente justificado.

Tendo como alicerce aplicações de sucesso, a ferramenta aqui proposta objetiva tornar a abordagem construtiva mais efetiva ao usuário, disponibilizando um ambiente virtual realista com equipamentos e normas de operações executadas em sistemas elétricos de distribuição.

Como diferencial o projeto terá como base a criação de uma arquitetura geral para construção do protótipo, com o objetivo de ajudar o desenvolvimento de simuladores

do setor elétrico. Na arquitetura será apresentada detalhes do funcionamento de cada elemento, como avaliação do usuário, interface com o usuário, como realizar a análise de requisitos para alcançar as alvos desejados pela empresa.

Outro fator importante é mostrar que a utilização de ferramentas alternativas para composição de ambientes virtuais para realização de procedimentos, pode ser uma alternativa viável as empresas do setor elétrico de distribuição, almejando a redução de erros operacionais e como uma forma auxiliar ao treinamento de seus funcionários, não apresentando altos custos ao seu orçamento.

## 3 Projeto ATreVEE 3D

O objetivo deste capítulo é apresentar o Ambiente para Treinamento Virtual de Procedimentos do Setor Elétrico usando Simulação Gráfica 3D intitulado ATreVEE 3D. Nesse capítulo é apresentado um modelo de arquitetura para auxílio na construção de simuladores de procedimentos. E apresentado detalhes sobre o funcionamento para construção do protótipo, a arquitetura proposta para construção de simuladores de procedimentos, análise dos requisitos, visão geral do projeto para o desenvolvimento do sistema, bem como é detalhado o projeto do sistema, com a delimitação e visão da arquitetural.

### 3.1 Arquitetura Proposta para Simuladores de Procedimentos

Para facilitar o processo de constituição de simuladores voltados para o treinamento é apresentado aqui um modelo da arquitetura utilizada para o processo de desenvolvimento de simuladores para o setor elétrico. O modelo proposto tem como base o modelo apresentado por (BELLOC, 2011). O modelo propõe detalhar e incrementando novos módulos, assim como algumas características diferentes. O modelo proposto no trabalho é apresentado a seguir de forma detalhada.

Esses componentes principais apresentam relacionamentos entre eles de forma direta ou indiretamente, iniciando uma ação ou o retorno da ação realizado em algum dos módulos.

O componente cenário de treinamento estabelece a interface com a aplicação. Através desta interface, a aplicação pode controlar todo o processo de treinamento do operador, avaliando-o de acordo com sua evolução, interagindo com todos os objetos interativos do cenário e todos os procedimentos disponíveis para a ação corrente.

Dado o cenário de treinamento devidamente compostos é pronto para utilização, o seu funcionamento acontece através de ações acionadas pelo usuário. Para que este relaciona-

mento aconteça o operador deverá estar em um dos modos de treinamento da aplicação. O relacionamento entre os módulos é apresentado na Figura 11 por setas contínuas e pontilhadas. As setas contínuas representam que o módulo está ativando o funcionamento de outro módulo. As setas pontilhadas representam o retornos específicos como geração de relatório, movimentação de objetos e outros.

O processo é iniciado no módulo de interface com usuário. Este módulo tem como função realizar as operações de entrada e saída, detalhados na seção 2.2.2, a cada interação do usuário com o cenário de treinamento é gerando uma série de relacionamentos entre os módulos principais.

O operador utilizando-se da **Interface com Usuário** aciona um determinado procedimento no **Cenário de Treinamento**. O cenário de treinamento aciona o **Gerenciador de Objetos Ativos e Estáticos** retornando ao cenário movimentações (ações possível dos objetos do cenário) que deverão ser apresentas por algum dispositivo de saída para o usuário do simulador. A cada procedimento realizado no **Cenário de Treinamento** também é acionado o módulo de **Avaliação de Procedimento**, esse módulo tem objetivo avaliar se a ação realizada através da interface com usuário, é ou não válida para sequência de ações que constitui um procedimento.

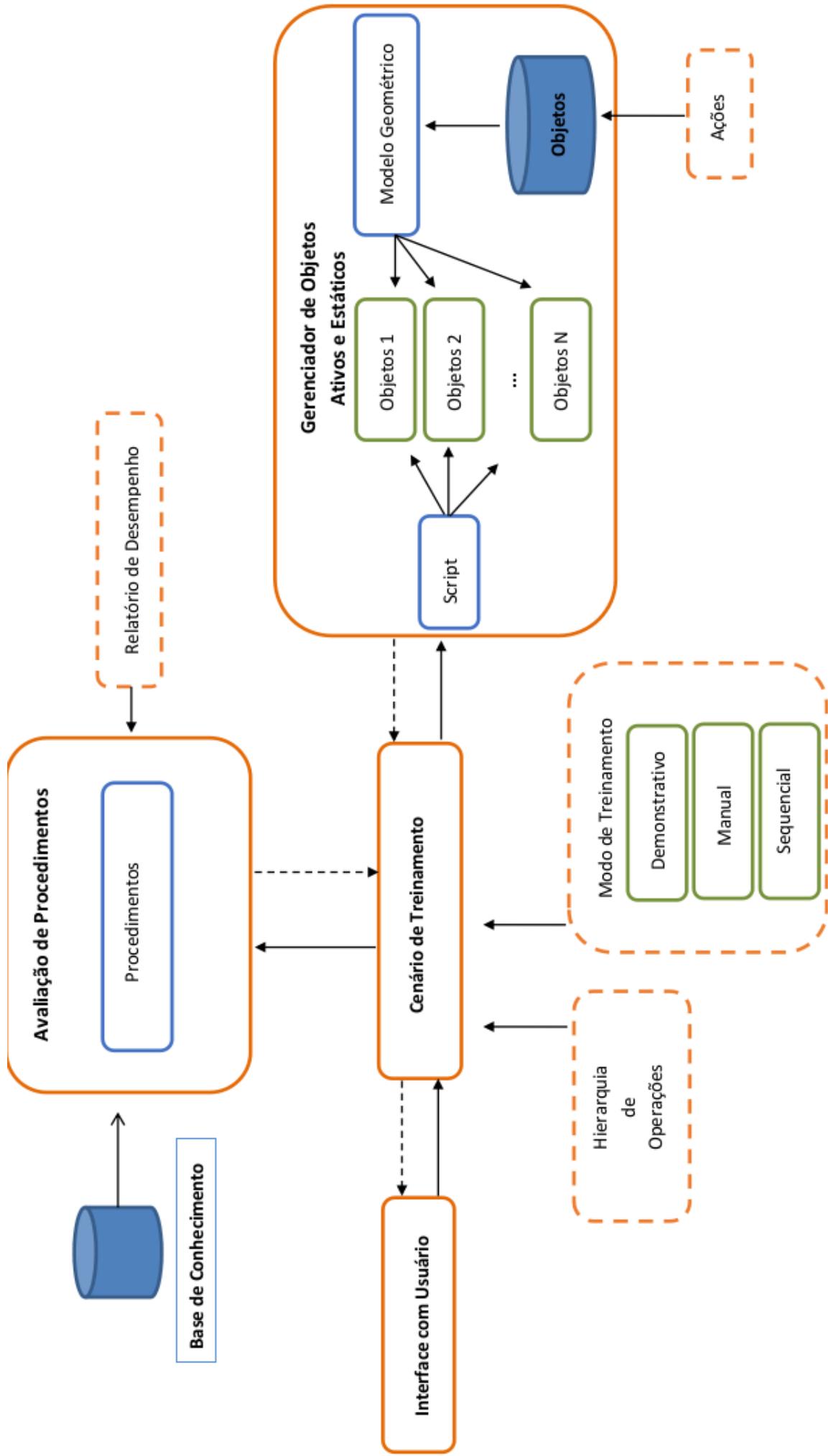


Figura 11: Modelo proposto para desenvolvimento de simuladores de procedimentos.

O modelo proposto no trabalho é detalhado nas seções seguintes apresentando características que os simuladores de procedimentos devem apresentar, tendo como objetivo de auxiliar o desenvolvimento de simuladores em diferentes áreas.

### **3.1.1 Base do Conhecimento**

Como os simuladores de procedimentos tem como um dos objetivos principais auxiliar a o treinamento dos funcionários. A Base de Conhecimento tem como papel representar o repositório de informações e referências que os operadores tenham com antecedência antes de iniciar a utilização do simulador, como o conhecimento de ferramentas e roupas utilizadas nas operações de trabalho e outros.

Entre os benefícios da base de conhecimento podemos citar a maior organização e desempenho do operador, fazendo com que o desenvolvimento da ferramenta foque em documentação relativa aos processos.

### **3.1.2 Avaliação de Procedimentos**

No módulo de Avaliação de Procedimentos é apresentada na arquitetura pode ser definida como a identificação das ações que os colaboradores (operadores) realizam durante determinado procedimentos.

A Avaliação de Procedimentos avalia se as sequencias de ações para realizar determinado procedimento estão em uma ordem correta, validando ou não o procedimento realizado. Tendo como função retornar um relatório de desempenho sobre estas ações executadas no cenário de treinamento.

Assim, Avaliação de Procedimentos é a análise crítica que deve ser feita na defasagem existente no comportamento do operador entre a expectativa de desempenho definida pela organização (empresa de distribuição) e o seu desempenho real.

#### **3.1.2.1 Procedimentos**

O submódulo Procedimento é constituído por uma sequência de ações. Estas ações estão relacionadas ao procedimento que será realizado. Todo procedimento deverá ter apenas uma sequência que deverá ser seguida para sua execução.

### **3.1.2.2 Relatório de Desempenho**

O submódulo Relatório de Desempenho é apresentado ao usuário ao término de um procedimento. Nele é apresentado a sequência de ações realizadas pelo operador, onde é indicado quais ações foram executadas na sequência correta e sua porcentagem.

### **3.1.3 Cenário de Treinamento**

O cenário de treinamento é o elemento principal do modelo proposto, através deste, o operador pode consultar e manipular os objetos ativos e estáticos presentes neste ambiente, e escolher os procedimentos que serão praticados por ele.

O cenário de treinamento logo após ser acionado pelo módulo de interface com usuário, ativar outros módulos como gerenciador de objetos ativos e estáticos e o módulo de avaliação de procedimento, tendo um retorno específico de cada um deles, como explicado na seção 3.1.

No cenário de treinamento são utilizadas técnicas diferentes para descrever as regras de operação dos objetos ou inserir novos modelos para definir os procedimentos. No cenário é possível o operador acessar informações sobre as operações a serem realizadas por ele.

O cenário de treinamento contém um conjunto amplo de rotinas. Para facilitar a compreensão, estas rotinas sequenciadas são divididas em três grupos, as que são para proteção do operador, proteção do ambiente de operação e as usadas para conduzir o processo de treinamento.

A ordem de execução das etapas mencionadas, é importante, pois cada uma delas depende de informações carregadas em passos anteriores. Por exemplo, para o operador trocar o isolador em um poste trifásico em linha viva, primeiramente ele deverá colocar os protetores nos fios em uma sequência correta de acordo com as informações mencionadas nas regras de operações, se caracterizando como Hierarquia de Operações.

#### **3.1.3.1 Modo de Treinamento**

O submódulo Modo de Treinamento tem como função apresentar as formar possíveis de treinamento que o operador possa ter acesso em um simulador. Entre os modos de treinamento estão: Demonstrativo, Manual, Sequencial.

No modo demonstrativo o operador visualiza a sequência de ações a serem realizadas

para execução de um determinado procedimento. Neste modo o operador terá a possibilidade de memorizar as operações antes de ir ao modo manual.

Outra possibilidade desse modo é que o operador pode rever a ação, para que tenha uma melhor absolvição dos movimentos que serão executados por ele. Este modo pode facilitar a aprendizagem dos operadores, pois cada operador pode apresentar um ritmo de aprendizado diferente.

O modo manual o operador terá controle total, visualizando e executando as ações por meio da interface com usuário, nesse módulo o usuário tem a possibilidade de escolher procedimentos específicos para o seu treinamentos. Essas ações realizadas deveram ser avaliadas pelo módulo de Avaliação de Procedimento. No módulo manual o operador deverá ser avaliado de acordo com as regras impostas pela empresa ou por algum órgão regulador.

No modo manual o operador poderá realizar as operações novamente caso não tenha realizado o objetivo específico. Neste módulo o usuário também pode recorrer a regras que poderão ajuda-lo na execução da tarefa.

O módulo sequencial o operador também tem total controle sobre a simulação, executando e visualizando as ações por meio da interface com usuário. Nesse modelo o operador não tem a possibilidade de escolher operações específicas para treinamento, como rever regras, sequência de ações a serem executadas, aumenta a ilusão de uma ambiente real imposta ao operador. O operador inicia a operação a partir da escolha das ferramentas, realiza operação de isolamento de ambiente e outros.

### **3.1.3.2 Hierarquia de Operações**

A hierarquia de operações também pode ser chamada de estrutura de programa, representa a organização de componentes (módulos) do simulador e implica uma hierarquia de controle. Para o simulador, a hierarquia de operações representa os aspectos procedurais do simulador, tais como as sequências dos processos, a ordem das decisões ou repetições de operações que o operador possa a vir a escolher no cenário.

As sequências impostas pelo operador para a execução do procedimento em específico não serão devidamente aceitas pelo modelo de avaliação, como detalhado na seção 3.1. Embora cada cenário disponha de várias ações, apenas uma pode ser executado de cada vez pelo operador.

Na Tabela 3, são apresentado exemplos de passos para conduzir um determinado

Passos	Funções	Descrição
1	iniciarProcedimento(..)	Iniciar procedimento escolhido pelo operador no cenário de treinamento.
2 (Opção 1)	escolherAcao(..)	Modo de Avaliação: Identifica o objeto que o operador deseja manipular, e qual ação será executada no cenário em específico.
3 (Opção 2)	executarAcoes(..); reverAcoes(..)	Modo Demonstrativo: O operador visualiza as ações executadas automaticamente, com a possibilidade de repetir quantas vezes forem necessárias para sua compreensão.
4	executarAcao(..)	Executar a ação determinada pelo operador ou acontecerá à execução automática pela aplicação.
5 (Opcional)	repetirOperacao(..); reverAcoes(..)	Repetir o procedimento em específico para melhor absorção do conteúdo. Disponível para os dois modos de operação.
6 (Opcional)	concluirOperação(..)	Concluir procedimentos, o operador terá liberdade de concluir o procedimento quando ele achar que deve encerrar finalizou a operação corrente.
7	cancelarAcao(..); repetirOperacao(..)	Cancelar operação. O operador terá a liberdade de cancelar/refazer o procedimento em execução, quando ele achar que se precipitou em alguma ação e retornar ao menu de ações.

Tabela 3: Passos para a execução dos procedimentos.

procedimento para a ação corrente no cenário. As funções podem variar de acordo com o modo de funcionamento da aplicação. O módulo de avaliação, é relacionado com os objetos que o operador deve interatuar na operação, estes objetos serão identificados através de suas geometrias no cenário de treinamento virtual.

O módulo de avaliação é relacionado com quais objetos o operador deve interatuar no cenário, estes serão identificados através de suas geometrias no cenário de treinamento virtual. Assim, caso a aplicação utilize um mouse convencional, o operador poderá fazer uso do cursor para apontar para geometrias (objetos) que o mesmo deseje manipular.

As funções apresentadas na Tabela 3, são essenciais para o funcionamento cronológico das operações exercidas no ambiente virtual. Inicialmente a função `iniciarProcedimento(..)` inicia o procedimento que o operador deseja realizar o treinamento ou visualizar, antes desta função ser executada o operador deve escolher qual modo de treinamento.

A função `escolherAcao(..)`, está presente no modo de treinamento, é utilizada para determinar qual o procedimento o operador quer exercer para operação em execução. Esta faz uma busca em uma lista do procedimento solicitado, esta lista armazena todas as diferentes ações objetos ativos presentes na cena de operação.

Como segunda opção de treinamento, são utilizadas no simulador duas funções importantes para o funcionamento do modo demonstrativo, são elas `executarAcoes(..)` e `reverAcoes(..)`. A função `executarAcoes(..)` executa a lista de ações determinadas para ação corrente, neste mesmo momento o operador tem a possibilidade de volta o procedimento em caso de dúvida acionando a função `reverAcoes(..)`, repetindo o procedimento desejado.

A função `repetirOperacao(..)` tem o funcionamento semelhante a função `reverAcoes(..)`, tendo como diferencial a atuação do operador, no momento em que a função é acionada também é reiniciado o modo de avaliação do operador, ou seja, sua atuação no ambiente de operação será novamente avaliada.

Conforme mencionando na Tabela 3, para a conclusão da tarefa em execução no modo de treinamento é acionada a função `concluirOperacao(..)`. Esta função pode ser acionada a qualquer momento durante o procedimento em execução, exigindo automaticamente o conhecimento total dos procedimentos a serem seguidos perante a operação de treinamento. Durante a operação o operador tem a possibilidade de cancelar o treinamento, acionando a função `cancelarAcao(..)`, dessa forma não será avaliada pelo módulo de avaliação.

A Tabela 3 pode ser flexível e apresentar diversas outras funções com diferentes características. A adição de novas funcionalidades irá depender da necessidade do simulador a ser desenvolvido. Outro fato que pode ser citado é que a presença e ausência de algumas funções podem estar relacionado ao modo de treinamento exercido pelo usuário na aplicação.

### 3.1.4 Interface com Usuário

A interface com usuário tem como objetivo tornar a interação do operador o mais simples e eficiente possível, pois os operadores não tem muito contato com dispositivos digitais no aprendizado. Assim, um bom projeto de interface com o operador facilita a conclusão da tarefa naturalmente sem chamar atenção desnecessária para si, equilibrando a funcionalidade técnica e elementos visuais.

A interface com usuário é adaptada de acordo com os dispositivos de entrada e saída que serão utilizados para o funcionamento da aplicação. A interface com usuário tem como objetivo principal a entrada e saída de dados, e acionadas e visualizadas por dispositivos de interação.

### 3.1.5 Gerenciador de Objetos estáticos e interativos

O módulo, Gerenciador de Objetos Interativos e Estáticos da na Figura 11, contém os objetos geométricos e scripts que regulam as regras de funcionamento dos objetos interativos. Os scripts acionam as diferentes movimentações (ações), esses estão relacionados diretamente aos objetos presentes em cada cenário.

Em (BELLOC, 2011), é proposto que todo objeto interativo do cenário esteja relacionado a um determinado *script* de funcionamento (Um *script* contém as regras de operação do objeto e a definição das suas ações). No modelo aqui apresentado é permitindo que todos os objetos presentes no cenário, tenham comportamentos diferentes no ambiente e possam utilizar um ou mais scripts diferentes para a realização de uma ação vinculada a um objeto.

Em uma aplicação de treinamento de procedimentos, um objeto interativo pode ser qualquer elemento da cena que o usuário precise manipular para cumprir com os objetivos do treinamento (BELLOC, 2011).

Toda a interação realizada com um determinado objeto no cenário de treinamento

será apresentado através de uma ação. Para cada objeto existe lista de movimentos que esse objeto pode realizar, assim, o operador manuseia o objeto através destes movimentos vinculados sequencialmente.

Cada objeto contém uma lista de ações definidas de acordo com a ação corrente, onde cada uma destas ações pode estar ou não disponível. Esta definição pode ou não ser imposta por um simulador de procedimentos é importante pois evita que o operador tenha a sua disposição uma ação inconsistente com o estado que se encontra a operação. Por exemplo, o operador não poderá manusear o cabo de alta-tensão sem primeiramente ter retirado a fio que o prende ao isolador.

Com relação a objetos ativos semelhantes, em um mesmo cenário de treinamento esses podem apresentar as mesmas regras de funcionamento ou não. Um exemplo pode ser dado como os protetores utilizados em redes de alta tensão, que tem a mesma regra, mas com movimentações diferentes no mesmo ambiente. Nestes casos, o papel da utilização dos *script* é ainda mais importante, através dele é possível fazer a diferenciação do mesmo objetos vinculando-as a sua interação no cenário.

Os objetos estáticos podem ser definidos como os objetos que compõe a cena, formando assim um ambiente virtual realísticos (casas, ruas, árvores, postes, carros e outros). Apesar de estáticos podem apresentar funcionalidade importante no ambiente de treinamento como a delimitação de área.

### 3.1.5.1 Modelo Geométrico

O modelo geométrico contém todas as informações visuais do ambiente virtual como malhas poligonais, matérias, luzes, texturas, etc. (BELLOC, 2011).

Esses objetos que compõem os cenários tridimensionais assim como ferramentas utilizadas nas operações realizadas pelo operador podem ser realizadas por alguma ferramenta de edição como exemplo podemos citar o Blender ou 3D Max Studio.

Os modelos geométricos devem fornecer uma interoperabilidade entre plataformas, e exigir pouco do poder de processamento do dispositivo utilizado para execução da simulação. No módulo de geometria relaciona um conjunto de recursos como modelagem 3D, texturização, iluminação, animação, pós-processamento de vídeo e desenvolvimento de jogos 3D, integrando todas essas funcionalidades em um único pacote.

Independente da ferramenta utilizada para a construção do cenário de treinamento, o importante é o bom funcionamento do modelo proposto, sendo capaz de representar com

exatidão as operações de treinamento, aplicando as animações e instâncias de maneira correta e de fácil compreensão.

As informações do cenário de treinamento são carregadas de determinados arquivos (objetos modelados) e organizadas na memória do computador para serem enviadas à placa gráfica no processo de renderização da cena. A organização da cena é feita de forma hierárquica (o objeto mais próximo ao observador será visualizado). De acordo com que há a manipulação dos objetos o ambiente virtual vai se modificando de acordo com os movimentos relacionados a cada objeto em cena.

### **3.1.5.2 *Script***

O submódulo *script* tem como função principal manipular ou acionar animações nos objetos no cenário de treinamento, esses scripts podem estar relacionados a mais de objeto. A classificação das formas de animação dos objetos varia de acordo com os aspectos relacionados aos objetos, os métodos de controle do movimentos ou interface com usuário podem ser usados na classificação da técnica de animação utilizada.

Uma das mais poderosas ferramentas de animação é, sem dúvida, a animação por *script*. Um *script* é uma sequência de instruções, em uma linguagem interpretável pelo sistema, para controle dos objetos e suas respectivas propriedades de animação, textura e comportamento (AZEVEDO, 2003).

### **3.1.5.3 *Ações***

As ações é o mecanismo que faz todo o simulador funcionar, pelo qual estas são carregadas, disparadas e descarregadas para visualização do operador através da interface com usuário. Estas ações são organizadas em listas, criadas para todos os objetos ativos que participarão da cena de treinamento.

Estas listas de ações são acionadas pelos *scripts* que se vinculam aos objetos, o *script* tem o papel de tornar estas ações em rotinas, dando como retorno virtual a reação de movimentação/execução da ação em específico.

Quando o operador acionar uma rotina referente ao objeto desejado ao procedimento, esse reagirá através de uma sequência de animações. No entanto outras modificações no aspecto e/ou formato do objeto podem ser alteradas, como variações de textura, cor, posição etc.

As ações executadas no cenário de treinamento podem modificar outros objetos presentes, modificando aspectos citados anteriormente.

### 3.2 Descrição do Cenário de Treinamento para o Sistema ATreVEE 3D

Atualmente o sistema elétrico brasileiro é um sistema hidrotérmico está fortemente relacionado à sua parcela hidrelétrica, devido, principalmente, ao elevado percentual gerado por esta fonte de energia, com predominância de usinas hidroelétricas e longas linhas de transmissão, como mostra a Tabela 4.

<b>Empreendimentos em Operação</b>				
<b>Tipo</b>	<b>Capacidade Instalada</b>		<b>Participação em (%)</b>	
	<b>N.º de Usinas</b>	<b>(kW)</b>		
<b>Hidro</b>		908	81.152.147	66,28
<b>Gás</b>	Natural	97	11.340.594	9,26
	Processo	36	1.781.283	1,45
	Total	133	13.121.877	10,71
<b>Petróleo</b>	Óleo Diesel	855	3.923.722	3,20
	Óleo Residual	32	3.132.207	2,56
	Total	887	7.055.929	5,76
<b>Biomassa</b>	Bagaçõ de Cana	328	6.365.536	5,20
	Licor Negro	14	1.245.198	1,02
	Madeira	41	359.527	0,29
	Biogás	13	69.942	0,06
	Casca de Arroz	6	18.908	0,02
	Total	402	8.059.111	6,59
<b>Nuclear</b>		2	2.007.000	1,64
<b>Carvão Mineral</b>		10	1.944.054	1,59
<b>Eólica</b>		49	928.986	0,76
<b>Importação</b>	Paraguai		5.650.000	5,46
	Argentina		2.250.000	2,17
	Venezuela		200.000	0,19
	Uruguai		70.000	0,07
	Total		8.170.000	6,67
<b>Total</b>		<b>2.393</b>	<b>122.443.004</b>	<b>100</b>

Tabela 4: Composição das Fontes de Energia no Sistema Elétrico Brasileiro - Capacidade Instalada. Fonte: (GUTIERREZ, 2002).

Esta energia distribuída é efetivamente entregue aos consumidores conectados à rede elétrica de uma determinada empresa de distribuição. Essa rede pode ser aérea, supor-

tada por postes, ou por dutos subterrâneos com cabos ou fios, em um complexo sistema de transmissão. Do total da energia distribuída, o setor privado é responsável por 67% (BRASIL, 2012).



Figura 12: Alguns tipos de isoladores usado em linhas de transmissão. Fonte: (ELETROESTERS, 2010).

Depois de percorrer o longo caminho entre as usinas e os centros consumidores nas redes de transmissão, a energia elétrica chega em subestações que abaixam a sua tensão, para que possa ser iniciado o processo de distribuição. Durante esse percurso existem outros elementos importantes das redes de transmissão como os isolantes de vidro ou porcelana, que sustentam os cabos e para-raios que escoam descargas elétricas durante o trajeto, alguns isoladores são apresentados na Figura 12.

Hoje, as falhas em isolamentos têm consequências indesejáveis, desde interferências em sinais de rádio ou televisão, até curtos-circuitos que podem retirar a linha ou subestação de operação. Neste último caso, a interrupção temporária de suprimento acarreta prejuízos às unidades consumidoras e à concessionária de energia. Processos industriais contínuos, de maneira geral, não devem ter suprimento de energia interrompido de forma não programada. Para a concessionária, falhas em isolamentos podem resultar em danos materiais próprios e de terceiros, custos de manutenção, perda de faturamento e, em muitos casos, multas impostas por parte das agências reguladoras (VILELA, 2002).

A atividade de substituição de isoladores em linha ativa e desativada exige a execução de procedimentos demorados e de alto risco tangível e intangível. O procedimento em linha de distribuição em postes trifásicos com tensão de 13,8 kV consiste em realizar a troca dos três isoladores de um poste, sem interromper o fornecimento de energia elétrica aos consumidores da região.

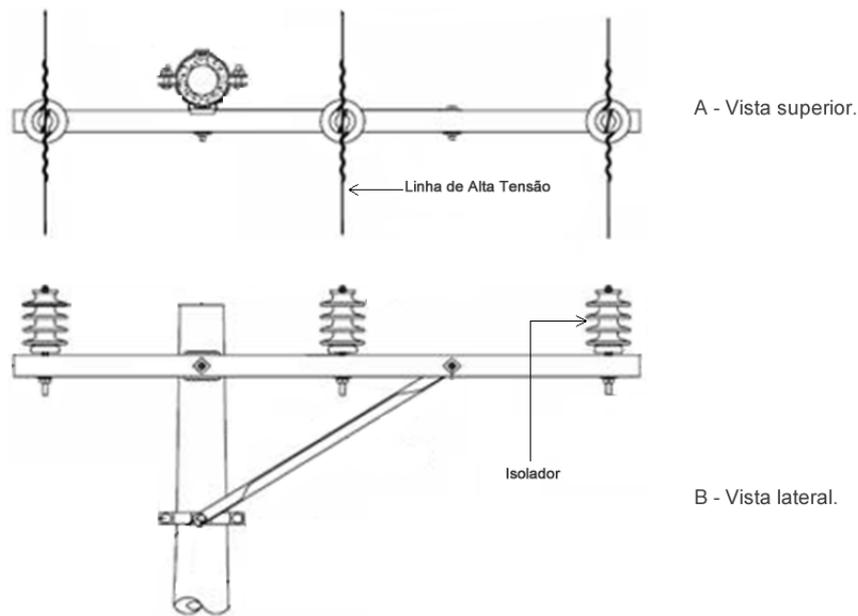


Figura 13: Poste com Isolador (Fonte: (BELLOC, 2011)).

A Figura 13 ilustra um poste comum utilizado para sustentar todas as fases da rede primária, encontrado facilmente no sistema de distribuição urbano e também presente em sistemas de distribuição rural. Em uma rede de distribuição convencional, estas fases não são revestidas por nenhum material isolante e são fixados diretamente em isoladores cerâmicos presos em cruzetas de madeira ou concreto.

### 3.2.1 Descrição dos Procedimentos

A manutenção do poste trifásico pode ser dividida em duas etapas: 1) vestimenta e escolha dos equipamentos de trabalho; 2) realização da troca do isolado para as três cruzetas. Os procedimentos contidos no ambiente virtual executados pelo operador contém informações sobre as atividades que serão praticadas. As principais informações contidas em determinado procedimento real são interpretadas como relações de dependência existentes entre as ações realizadas no cenário, com o objetivo de tornar a experiência realística.

As relações de dependência determinam quais ações o operador deve executar em cada momento para cumprir os objetivos do treinamento, não sendo possível retroceder à ação executada, pois em operações do setor elétrico esse processo pode ser considerado como um erro técnico, ocasionando sérios riscos operacionais.

Nas Tabelas 5, 6, 7 e 8 são apresentadas as listas dos procedimentos que o operador precisa executar no procedimento de troca de isolador em um poste trifásico com três

isoladores, e em linha ativa e desativada. Neste procedimento o bom funcionamento do sistema de distribuição é levando em primeiro lugar, com isso o operador deve mudar os três isoladores do poste evitando acontecimentos posteriores no mesmo (falha em equipamentos não substituídos).

Na Tabela 5 é apresentado os procedimentos realizados para troca do primeiro isolador de um poste trifásico. Esta é a primeira operação executada pelo operador em linha viva. A operação um é constituída de quinze procedimentos executados sequencialmente.

A Tabela 6 mostra os procedimentos realizados para troca do segundo isolador de um poste trifásico. Esta é a segunda operação executada pelo operador em uma rede linha viva. A operação um é constituída de treze procedimentos executados sequencialmente.

Na Tabela 7 apresenta os procedimentos realizados para troca do terceiro e último isolador de um poste trifásico. Esta é a terceira operação executada pelo operador em uma rede linha viva. A operação um é constituída de dezoito procedimentos executados sequencialmente pelo operador, é o procedimento com mais operações.

Para execução da troca dos três isoladores em linha viva, são realizados um total de quarenta e seis procedimentos, uma grande quantidade de ações exercidas pelo operador em um ambiente de risco contínuo. Essa grande quantidade de ações podem gerar dúvidas em suas execuções, seja na ordem em que elas são realizadas é também como serão realizadas no ambiente real.

Na Tabela 8 são apresentados os procedimentos realizados para troca de isoladores de um poste trifásico. As operações listadas na tabela são executadas pelo operador em linha desativada. A operação em linha desativada é comum para todos os isoladores do poste, constituindo de trinta procedimentos executados sequencialmente pelo operador, é uma operação de risco menor em relação aos procedimentos executados em linha viva, porém é executado um grande número de procedimentos.

As atividades a serem executadas fazem referência aos objetos interativos presentes no cenário e estabelecem relacionamento direto com as ações reais exercidas pelo operador.

Os procedimentos detalhados nas tabelas são realizados em sistemas de distribuição aérea convencional. Algumas das atividades realizadas para troca de isoladores em linha viva envolve a manipulação de protetores e matérias de isolação fundamentais para isolar condutores e outras equipamentos do ambiente, para que não haja o contato direto com o operador, garantindo a segurança em todo o procedimento como mostra a Figura 14.



Figura 14: Troca de isolador em linha viva.

Numeração	Procedimentos
1	Colocar o protetor 1 cabo de alta tensão do lado direito do isolador.
2	Colocar o protetor 2 cabo de alta tensão do lado esquerdo do isolador.
3	Colocar o protetor 3 cabo de alta tensão do meio do lado direito do isolador.
4	Colocar o protetor 4 cabo de alta tensão do meio do lado esquerdo do isolador.
5	Colocar protetor cilíndrico entre os isoladores.
6	Retirar fio que prende o cabo de alta tensão ao isolador lado direito.
7	Retirar fio que prende o cabo de alta tensão ao isolador lado esquerdo.
8	Mover cabo de alta tensão para cima do protetor cilíndrico.
9	Retirar fio antigo do isolador.
10	Retirar isolador antigo.
11	Colocar novo isolador.
12	Colocar novo fio que fixa o isolador ao cabo de alta tensão.
13	Colocar cabo de alta tensão em cima do isolador.
14	Apertar o fio lado direito.
15	Apertar o fio lado esquerdo.
16	Encerrar procedimento.

Tabela 5: Passos para troca de isolador em linha viva isolador 1.

Numeração	Procedimentos
1	Retirar fio que prende o cabo de alta tensão ao isolador lado direito.
2	Retirar fio que prende o cabo de alta tensão ao isolador lado esquerdo.
3	Mover cabo de alta tensão para cima do protetor cilíndrico.
4	Retirar fio antigo do isolador.
5	Retirar isolador antigo.
6	Colocar isolador novo.
7	Colocar novo fio que fixa o isolador ao cabo de alta tensão.
8	Colocar cabo de alta tensão em cima do isolador.
9	Apertar o fio lado direito.
10	Apertar o fio lado esquerdo.
11	Retirar protetor cilíndrico.
12	Retirar protetor lateral esquerdo do cabo de alta tensão.
13	Retirar protetor lateral direito do cabo de alta tensão.
14	Encerrar procedimento.

Tabela 6: Passos para troca de isolador do meio em linha viva, após a troca do primeiro isolador.

Numeração	Procedimentos
1	Colocar o protetor 1 cabo de alta tensão do lado esquerdo do isolador.
2	Colocar o protetor 2 cabo de alta tensão do lado direito do isolador.
3	Colocar protetor cilíndrico entre os isoladores do poste trifásico.
4	Retirar fio que prende o cabo de alta tensão ao isolador lado direito.
5	Retirar fio que prende o cabo de alta tensão ao isolador lado esquerdo.
6	Mover cabo de alta tensão para cima do protetor cilíndrico.
7	Retirar fio antigo do isolador.
8	Retirar isolador antigo.
9	Colocar novo isolador.
10	Colocar novo fio que fixa o isolador ao cabo de alta tensão.
11	Colocar cabo de alta tensão em cima do isolador.
12	Apertar o fio lado direito.
13	Apertar o fio lado esquerdo.
14	Retirar protetor cilíndrico entre os isoladores.
15	Retirar protetor direito do meio do cabo de alta tensão.
16	Retirar protetor esquerdo do meio do cabo de alta tensão.
17	Retirar protetor lateral direito do cabo de alta tensão.
18	Retirar protetor lateral esquerdo do cabo de alta tensão.
19	Encerrar procedimento.

Tabela 7: Passos para troca do último isolador em linha viva.

Numeração	Procedimentos
1	Retirar fio lado direito do isolador.
2	Retirar fio lado esquerdo do isolador.
3	Mover cabo de alta tensão para cima do protetor cilíndrico.
4	Remover fio antigo do isolador.
5	Remover isolador antigo.
6	Colocar novo isolador.
7	Colocar novo fio no isolador.
8	Colocar cabo de alta tensão em cima do isolador.
9	Apertar o fio lado direito do isolador.
10	Apertar o fio lado esquerdo do isolador.
11	Encerrar procedimento.

Tabela 8: Passos para troca de isolador em linha desativada.

### 3.3 Levantamento de Requisitos, Caso de Uso e Atividades do Simulador

Uma vez concluída a definição do sistema, foram elaborados documentos para a descrição do projeto do mesmo. Esses documentos orientaram o desenvolvimento do sistema de acordo com as visões de casos de uso, requisitos, visão geral do simulador e atividades do simulador.

#### 3.3.1 Requisitos

Os requisitos de software são atributos que desejamos implementar em um sistema. Eles refletem as necessidades dos usuários, esses devem descrever o entendimento dos objetivos do operador e traduzir esses objetivos em funcionalidades para o simulador.

Com relação aos requisitos do sistema, destacam-se os visuais. Sobre os requisitos visuais, o sistema precisa ser foto realista, fornecendo uma visualização adequada das estruturas no ambiente de treinamento, de forma que o operador possa perceber na simulação características importantes presentes no exame real.

Assim os requisitos visuais na simulação devem buscar prover situações que simulem sensações realísticas. Essas sensações são importantes e devem ser percebidas pelo operador através da visualização. Uma vez que a sensação é notadamente mais difícil de ser simulada do que outros sentidos.

Outro fator que pode ser descrito como um dos requisitos do sistema é a sua utilização em plataformas computacionais populares como desktop, tablete e smartphones. Esse

requisito visa tornar o sistema o mais abrangente possível, para que possa ser aplicado nas mais diversas situações e para o maior número de pessoas do seu público-alvo (estudantes da área de saúde, notadamente medicina e enfermagem) (DINIZ, 2010).

O levantamento de requisitos para o desenvolvimento do ATreVEE 3D contou com a participação de especialistas da área, para entender o funcionamento e os detalhes de cada procedimento exercidos por um operador no mundo real. Isso foi possível através de reuniões com os especialistas do setor elétrico, identificando e realizando definição do ambiente e dos passos a serem realizados nas operações, descritos e detalhados a partir na seção 3.2.1.

Para apresentar um cenário com os aspectos e processos reais foram seguidas as normas exigidas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) , como quais as vestimenta e equipamentos usadas na realização da operação ou procedimento.

### 3.3.2 Visão de Caso de Uso

O manuseio do simulador tem como objetivo ser simples visando operabilidade e a capacidade de oferecer todos os aparatos de ajuda e funcionamento aos operadores. Do ponto de vista do operador é possível o acesso a funcionalidades do sistema, como: a escolha de operação, a realização das etapas visual e controle manual das operações, a movimentação do personagem repetir ação, cancelar operação, a indicação de conduta adequada e a obtenção de relatório de avaliação do operador e outros. Na Figura 16 pode-se observar as funcionalidades do ATreVEE 3D relacionadas em um diagrama de casos de uso.

É importante observar que certas funcionalidades do simulador, como a aquisição de relatório de avaliação do operador, estão ligadas à emissão de impressões por parte do operador, ou seja, a ação parte do operador. Para tanto, é requisitado ao operador qual sua escolha dentro de um menu em específico, que represente sua opção desejada.

### 3.3.3 Diagrama de Sequência do Simulador

O Diagrama de sequência (ou Diagrama de Sequência de Mensagens) é um diagrama usado em *Unified Modeling Language* (UML) , representa a sequência de processos realizados no simulador ((mais especificamente, são troca de mensagens entre objetos) num programa de computador (PRESSMAN, 1995).

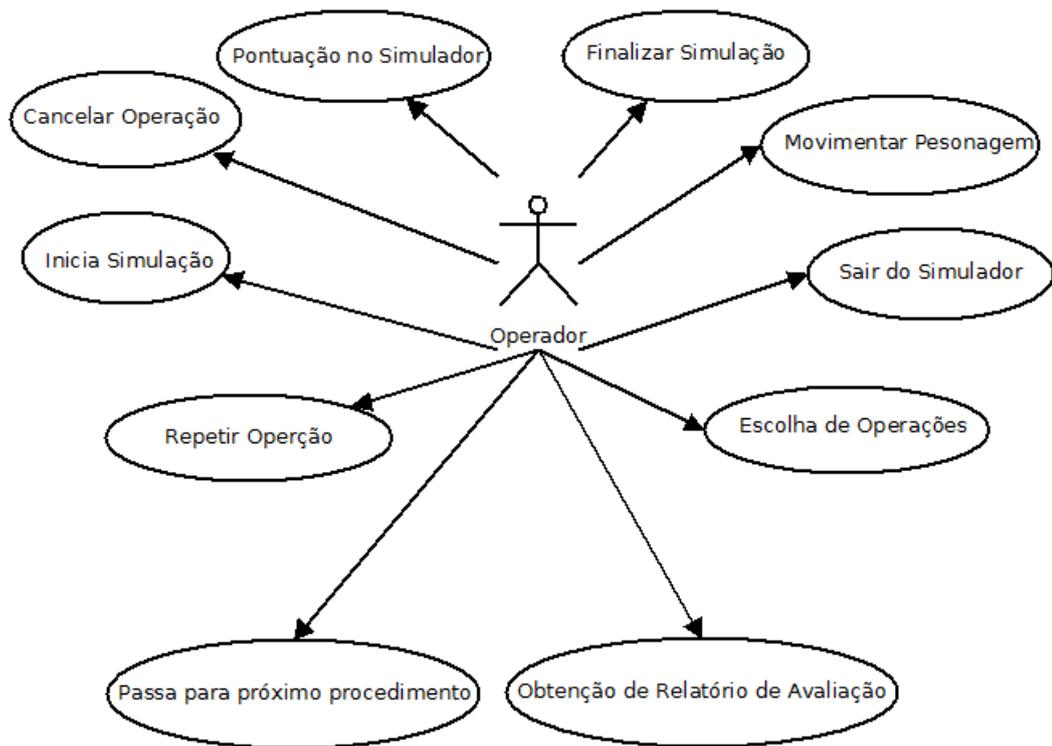


Figura 15: Diagrama de uso do simulador.

Alguns projetos podem apresentar uma grande quantidade de métodos em classes diferentes, com isso, pode ser difícil determinar a sequência global do comportamento entre eles. O diagrama de sequência tem como objetivo representar essa informação de uma forma simples e lógica.

A Figura 16 que expõe o diagrama de sequência do ATreVEE 3D, nela é detalhada claramente as operações possíveis pelo operador. As setas contínuas representam uma ação executada do operador. O retorno das ações do operador são apresentadas pelas setas pontilhadas.

No simulador ATreVEE 3D primeiramente o operador inicia o simulador, então é exibido a ele os modos de simulação possíveis do simulador, são eles: demonstrativo, manual e sequencial.

Logo após o modo treinamento ser escolhido é apresentado ao operador dois submodos para execução do treinamento no ATreVEE 3D: ativo, onde a linha de transmissão está ativa, ou seja, passa corrente elétrica; e desativada, onde a linha de transmissão não está ativa. Escolhido é apresentado o cenário ao operador é iniciado o processo de execução das operações, ou seja, a simulação está em execução. Como retorno é exibido o ambiente virtual de treinamento.

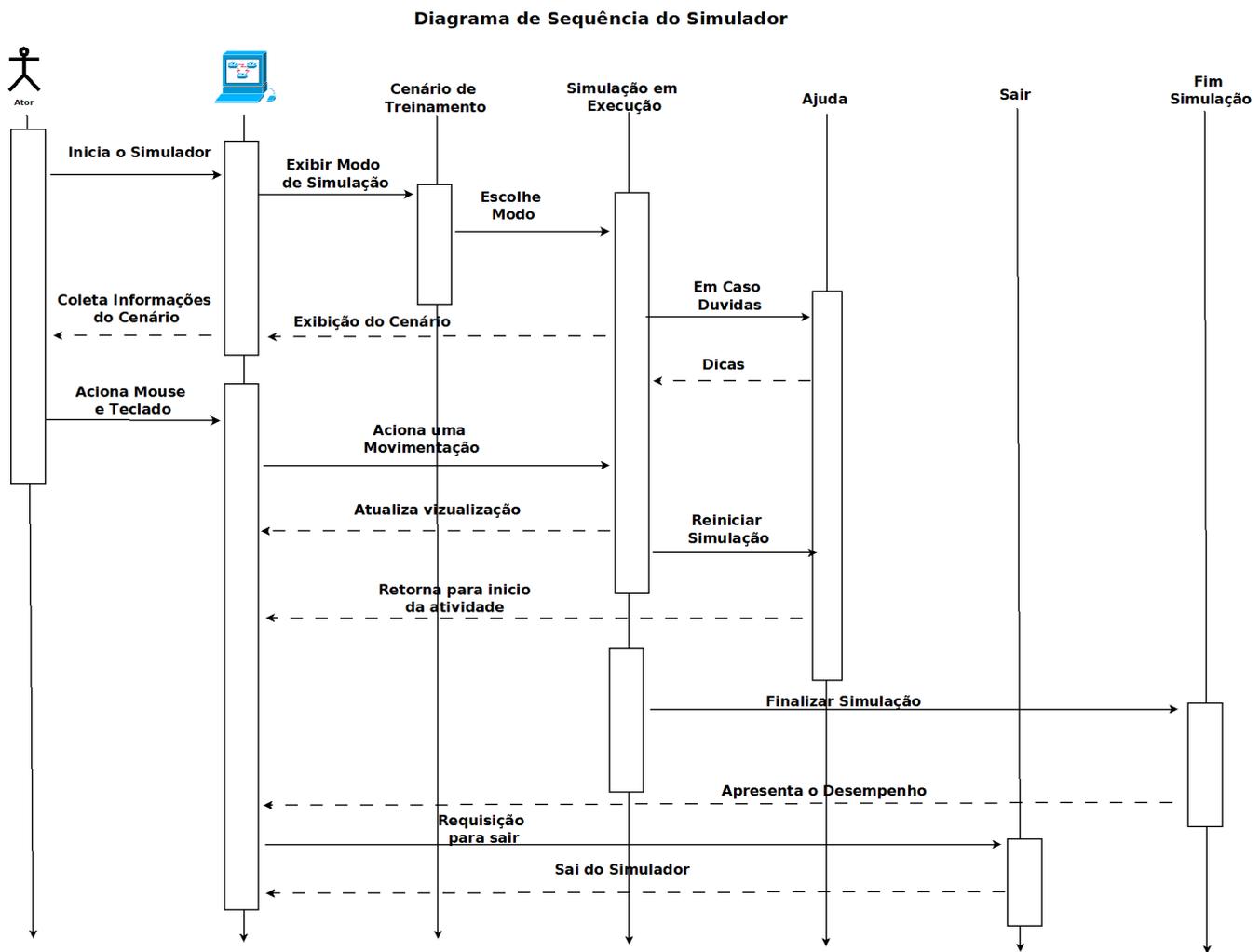


Figura 16: Diagrama de sequência do simulador.

No ambiente virtual o operador coletadas as informações visuais sobre o cenário de procedimento, é pode acionar os comandos de execução através do mouse ou teclado.

Ao acionar esses comandos são geradas uma movimentações no cenário, essas representaram a ação escolhida pelo operador, assim é atualizada a visualização do operador, neste momento é visualizada a operação no ambiente (execução da ação é visualizada).

Dado que o operador esteja a simulação em execução, o simulador dispõem do recurso de dicas, em caso de uma possível dúvida que o operador venha a apresentar durante o procedimento. Ele também pode contar com o recurso que reinicia a operação que está treinando ao achar que realizou alguma operação fora de sua sequência retornando assim para o início da atividade.

Com a simulação em execução o operador tem como opção finalizar a operação quando achar que realizou todas as ações para o treinamento escolhido, retornando a ele o de-

sempenho referente a operação finalizada. Caso o operador não deseje mais realizar o treinamento ele poderá sair do no cenário de treinamento retornando ao menu principal da aplicação.

### 3.4 Modos de Treinamento do ATreVEE 3D

O modo de treinamento do protótipo ATreVEE 3D tem como fundamento a arquitetura proposta no trabalho. O simulador de treinamento foi elaborado com uma interface gráfica simples e de fácil compreensão, permitindo que os operadores mesmo não familiarizados com aplicações complexas possam manuseá-lo facilmente. Na Figura 17 é apresentado a tela inicial do ATreVEE 3D, nessa tela o operador tem acesso as informações que podem ser executadas em cada procedimento existente no simulador, também é presente a possibilidade de iniciar o simulador e sair do simulador. Ao iniciar, o operador entrar com alguns dados básicos como nome e idade conforme apresentado na Figura 18, após o operador terá que escolher o modo de funcionamento do simulador de procedimentos. Os modos disponíveis são: Modo Demonstrativo, Modo Manual e o Modo Sequencial.



Figura 17: Tela de abertura do simulador ATreVEE 3D.

Logo ao escolher o modo demonstrativo ou manual disponíveis no simulador, é apresentada ao operador outra tela onde ele deve escolher se a operação a ser realizadas será em linha viva ou linha desativada como ilustra a Figura 19.

No modo demonstrativo, o operador observa os procedimentos passivamente podendo rever e pausar a operação caso tenha alguma dúvida como citado na Seção 3.7. Neste modo,



Figura 18: Solicitação de dados do Operador.



Figura 19: Modos de operação presentes no simulador.

a intervenção do operador é facultativa, o mesmo pode apenas visualizar a execução do procedimento escolhido.

No modo manual, o operador vai adquirindo conhecimento durante as etapas da simulação, como quais equipamentos utilizar, a roupa para operação, controle da cesta aérea, troca de isoladores, normas e questões de segurança. Estas telas são acessadas conforme sua avaliação no treinamento realizado ao fim de cada etapa.

O modo sequencial apresenta os passos desde a chegada do operador ao estabelecimento de trabalho e a escolha das ferramentas e vestimentas referentes a operação que irá realizar. Neste modo o operador é apresentado a um grande número de ferramentas e algumas dessas não podem ser utilizadas para o a operação escolhida. Caso o operador escolha ferramentas que não utilizará na operação é acionado um som de alerta e uma mensagem alertando-o que a ferramenta não é a correta pra operação, na Figura 20 é mostrada a sala de ferramentas.

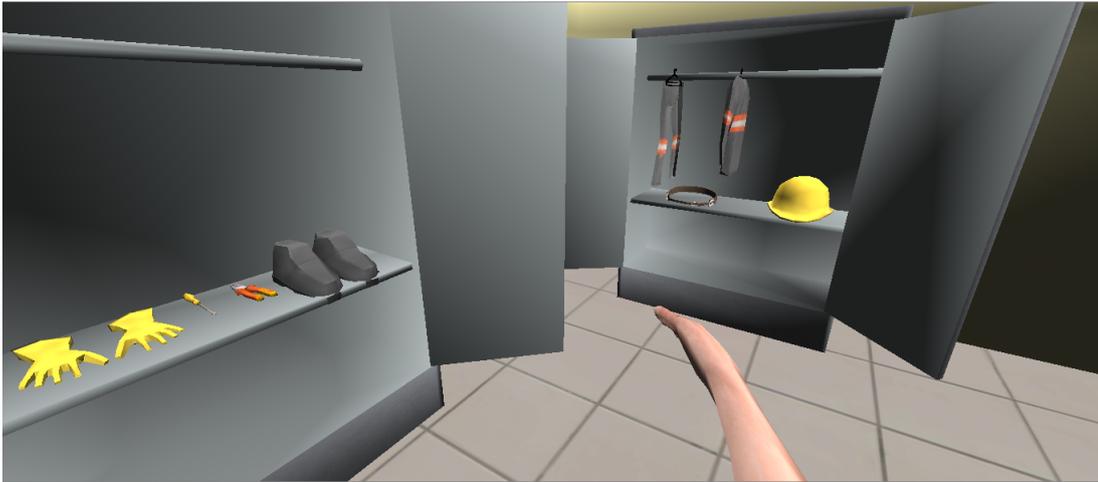


Figura 20: Sala de Ferramentas presente do Modo Sequencial.

O operador precisa executar todo o procedimento, escolhendo manualmente as ações disponíveis em cada objeto. Neste modo todas as ações executadas pelo usuário serão colocadas em um relatório, permitindo que seu desempenho seja avaliado em seguida.

### 3.5 Processo de Atividade do Simulador

Na Figura 21, pode-se analisar a visão arquitetural do ARTreVEE 3D. Nela pode observado a divisão do sistema em módulos e o detalhe de suas relações e os fluxos de informações. A figura apresenta elementos importantes para a execução das atividades no ambiente de simulação, como gerente de operações, módulo de interação, módulo de visualização e módulo de avaliação.

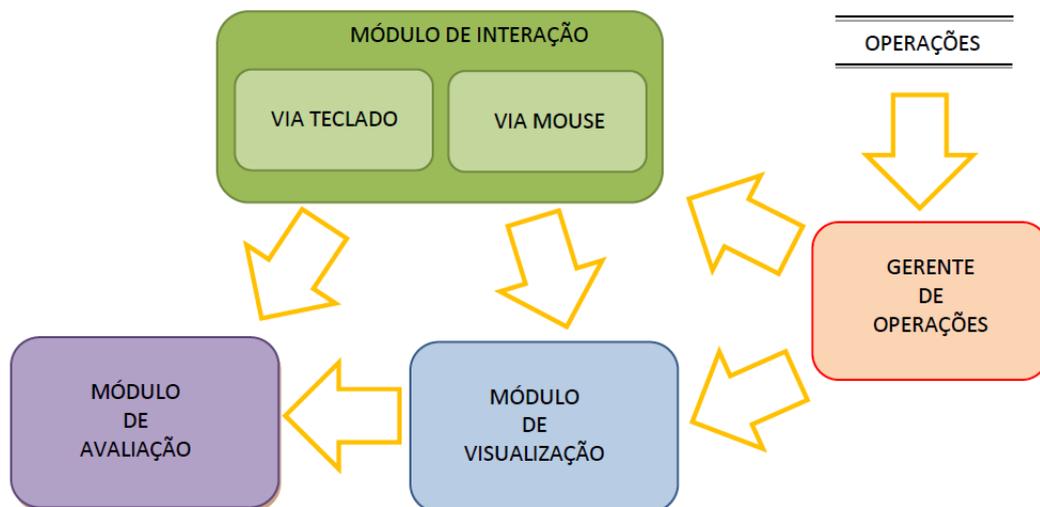


Figura 21: Visão arquitetural do ARTreVEE 3D.

O módulo gerente de operações tem como função administrar quais as operações que serão executadas pelo operador no ambiente de treinamento. Também é responsável por gerir os dispositivos de interação utilizados durante a execução dos procedimentos.

O módulo de interação é desmembrado em dois submódulos: o submódulo de interação teclado e o submódulo de interação via mouse. O primeiro é acionado quando existe entradas de dados feita pelo operador, como movimentação do personagem, entrada dos dados pessoais do operador, pode ser utilizado no ambiente 2D e 3D do simulador ATreVEE 3D. Esse módulo é acionado sempre que há a interação com o teclado, como movimentação do personagem e na fase de vestimenta e escolha dos equipamentos necessário para o operador antes da operação.

O submódulo via mouse é responsável pela criação de menus do sistema e pelo gerenciamento do comportamento do mouse do sistema nos ambientes bidimensionais ou tridimensionais.

O módulo de interação está incluso ao módulo de visualização, que tem por função realizar a interação com o usuário na entrada e saída de dados.

O módulo de avaliação explana o sistema de avaliação utilizado no ATreVEE 3D. Esse módulo é responsável por supervisionar os movimentos do operador (ações realizadas no módulo de visualização) e outros parâmetros associados a eles para a elaboração de um relatório de desempenho que é exibido ao operador após o fim de cada interação.

O módulo de avaliação tem a função de registrar informações relevantes acerca das operações durante suas várias etapas, também observa as interações do operador apresentado com mais detalhes na Seção 3.6. A avaliação da interação do operador é realizada de acordo com o procedimento apresentado pelo simulador.

## 3.6 Interação com o Usuário

Uma vez que o ATreVEE 3D abrange a utilização de dispositivos convencionais, a interação no sistema precisou ser pensada de forma que o operador obtivesse suas metas de interação com o simulador de forma simples e agradável. O protótipo apresentado no trabalho faz a junção de duas das técnicas apresentas na seção 2.2.1: manipulação e entrada de símbolos.

No ATreVEE 3D são realizadas interações tais como: reiniciar o modo atual, mudar de modo, retornar ao menu inicial, avançar etapas do simulador ou sair da execução de um

procedimento, movimentação do personagem no ambiente e outras, são possíveis através do teclado ou de botões que são considerados como entrada de dados.

Ao operador passar o cursor do mouse sobre o botão, a sua cor é alterada, indicando que existem ações disponíveis. Durante o treinamento, o operador deve proceder conforme mostra a Figura 22, para cada procedimento desejado o operador clica com o cursor do mouse no botão que ilustra a ação ou objeto a ser manuseada e a ação é realizada de acordo com o andamento da operação.



Figura 22: Ativando ação com o cursor.

No decorrer das ações podem ocorrer erros de sequencias, esses serão informados ao operador e ao avaliador apenas no relatório, após dar a operação como concluída. Nesta versão o operador pode realizar novas tentativas, pois não há limite de erros em nenhum modo de funcionamento da ferramenta. No entanto, o módulo de avaliação registra todos os erros cometidos pelo operador no relatório.

### 3.7 Sistema de Avaliação do Usuário

A avaliação de procedimentos pode ser definida como a identificação e mensuração das ações que os operadores realizaram em cenário de operação durante determinado período. A avaliação de desempenho tem como objetivo diagnosticar e analisar o desempenho individual dos operadores, promovendo o crescimento profissional, bem como um melhor desempenho no aprendizado do conteúdo imposto.

Nesta seção é apresentado o processo de atividades do simulador tendo como objetivo principal auxiliar no desenvolvimento de aplicações de treinamento em realidade virtual, focando principalmente na prática de procedimentos e avaliação dessas executadas pelo operador.

Assim, o treinamento de procedimentos não impõe requisitos elevados na elaboração de mecanismos sofisticados de interação, o que reduz o investimento necessário para o desenvolvimento e na implementação destas soluções (BELLOC, 2011).

Em (SHARABI, 2007), diz que a possibilidade de monitorar as ações que o usuário faz no sistema torna-se fundamental, pelo fato das ações do usuário corresponderem ao que ele compreende no mundo virtual. Isto permite 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.

A Figura 23 ilustra o processo seguido durante a execução dos procedimentos no simulador, tendo como objetivo a avaliação das ações executadas pelo operador no cenário de treinamento. Na etapa inicial o operador deverá escolher o Modo de Treinamento que se divide em demonstrativo e manual, detalhada na Seção 3.4. No módulo Ação do Operador é escolhido o cenário de operação, o jogador extrai os requisitos do cenário de operação, em seguida, executa a ação desejada, explanado na Seção 3.1.3.

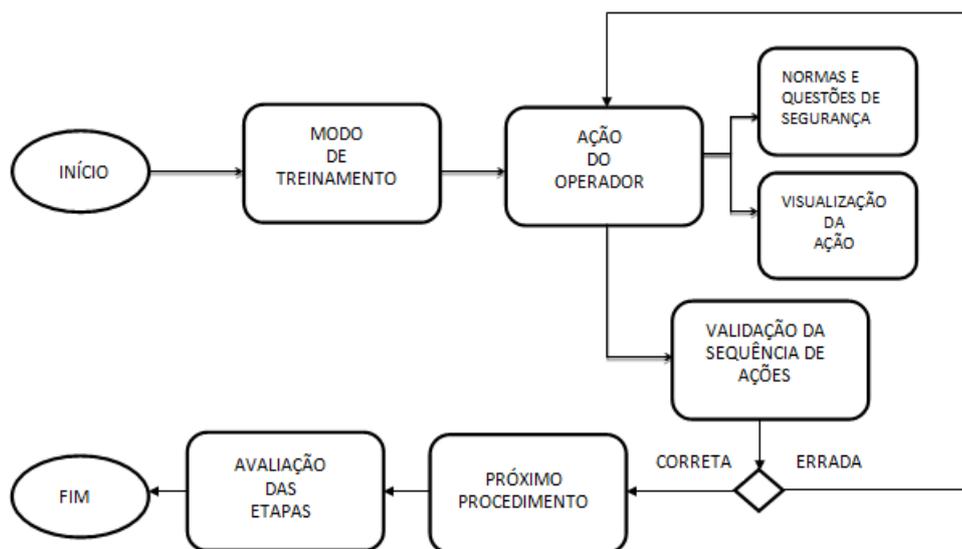


Figura 23: Processo de atividade do Simulador.

A medida que estas ações são executadas no simulador, caso o operador apresentar alguma dúvida sobre a ação a executar, poderá recorrer ao menu de Norma e Questões de Segurança que lhe apresentará dicas sobre a ação a ser realizada ou ao recurso de

Visualização da Ação que reproduz como poderá ser executada a operação.

No módulo Validação da Sequência de Ações, os dados referente as ações realizadas pelo operador durante o procedimento são absorvidos e submetidos a avaliação automática, caso aprovado, o operador irá para o próximo procedimento (essa exigência é depende a empresa), onde ocorrerá o ciclo de operações apresentado anteriormente, finalizando o processo o módulo de Avaliação das Etapas onde são avaliados todas as etapas do ciclo de um procedimento específico.

Por fim é apresentada ao operador sua nota final em um relatório contendo seu nome e a porcentagem para cada operação executada, sendo aprovado caso tenha um aproveitamento de 100%, aplicando o conceito educacional de forma rigorosa, pois no setor elétrico os operadores devem evitar erros de operação.

## 4 Processo de Desenvolvimento do Simulador

O objetivo deste capítulo 4 é mostrar como foi composto o ambiente ATreVEE 3D, demonstrando quais as tecnologias e ferramentas utilizadas.

### 4.1 Tecnologias e Ferramentas Utilizadas

Quando se pretende construir um ambiente tridimensional com determinadas características para ser inserido num produto educativo ou comercial, há necessidade de recorrer a um conjunto de ferramentas específicas na área 3D. Atualmente, pode-se encontrar no mercado diversos softwares de desenho nas versões livres e comerciais que permitem desenvolver desde pequenas estruturas tridimensionais a complexos jogos em ambiente 3D.

Na esperança de avançar com um protótipo elaborado numa tecnologia tridimensional para este projeto, há a necessidade de estudar algumas ferramentas de trabalho nesta área para realizar a construção de ambientes virtuais.

Em (GUIMARAES, 2007) e (BENTO, 2011) é realizado um estudo detalhado das ferramentas hoje disponíveis para criação de ambientes e/ou personagens 3D, avaliando-as e comparando várias características, tendo alguns critérios como custo do software, se este pertence à classe de software proprietário (com o respectivo valor de aquisição) ou software livre.

Foi então realizado uma nova pesquisa que proporcionou a adição de novas ferramentas, o resultado apresenta as seguintes *engines*, mostrados na Tabela 9.

Engines	Tempo de Renderização Baixo	Aplicações Multiplataforma	Linguagens de Programação Conhecida	Software Proprietário	Software Livre
3ds Max 2011	X			X	
Anvil Engine		X		X	
Avalanche Engine				X	
Blender	X	X	X		X
C2 Engine	X			X	
Cinema 4d				X	
CryENGINE		X		X	
EGO Engine	X	X		X	
Geo-Mod Engine					X
Havok Engine			X		X
IW Engine	X		X	X	
Maya 2011		X	X	X	X
Panda 3D	X	X			X
RAGE Engine		X			X
SketchUP Pro 8	X	X		X	X
The Dead Engine				X	
Unity 3D	X	X	X	X	X
Unreal Engine	X			X	
Vue Infinite	X		X	X	

Tabela 9: Engines para construção de ambientes virtuais 3D.

A escolha das *engines* (motor de jogo) da Tabela 9, utilizadas para realizar uma aplicação educativa que simule alguma operação é importante, apesar de algumas dessas ferramentas sejam para tal fim, há especificidades que podem adequar-se com maior ou menor eficiência ao projeto que estamos desenvolvendo.

A Unity 3D Figura 24 e o Blender Figura 25 pelas características desejadas para o protótipo foram as ferramentas que mais se enquadram no nosso objetivo, permitindo criar, com facilidade, conteúdos interativos em três dimensões, que podem ser jogos, conteúdos educativos ou simulações em áreas de ciência.

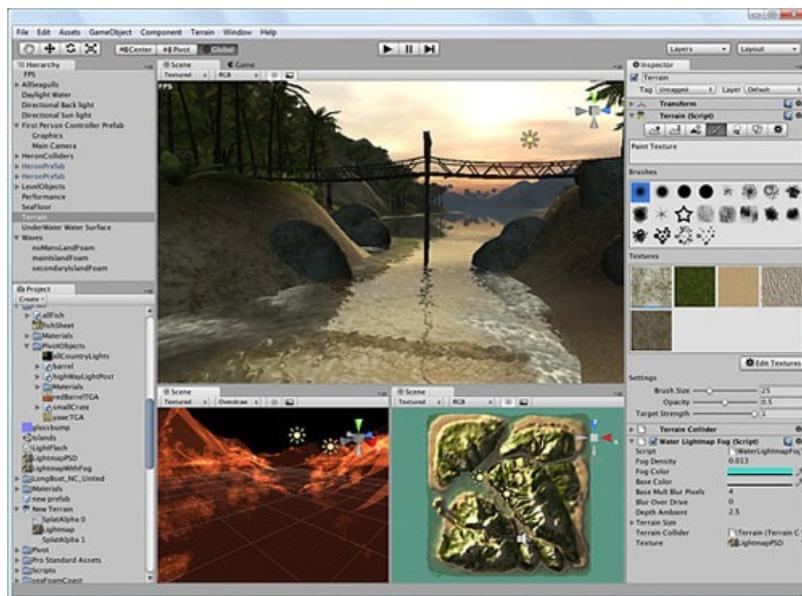


Figura 24: Interface do editor de cena da Unity 3D. Fonte: (UNITY, 2010).

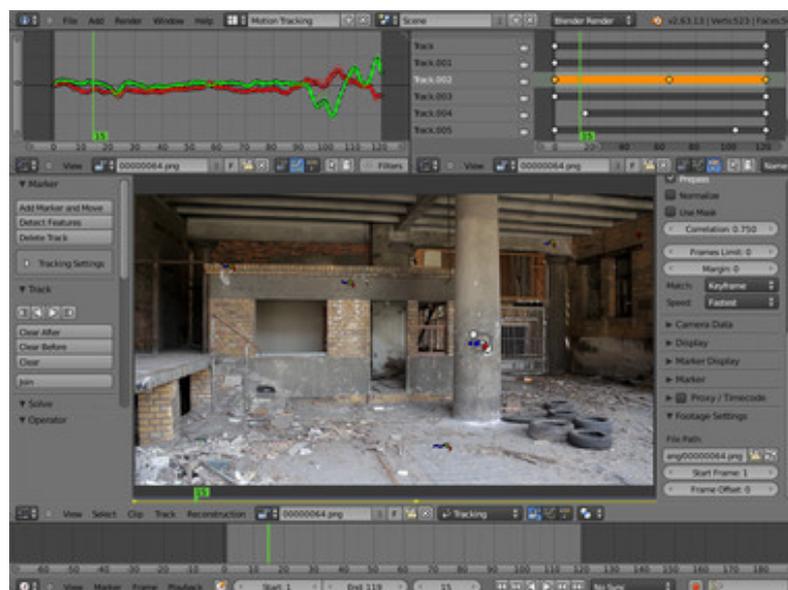


Figura 25: Interface do editor Blender. Fonte: (BLENDER, 1998b).

A Unity 3D é um software que simplifica o processo de criação de jogos 3D ou outras aplicações através de uma ferramenta de edição, fácil de usar, que permite inserir elementos pré-fabricados, que facilitará na concepção de ambientes realísticos ao cenário de treinamento. O software se enquadra para iniciantes e usuários avançados na programação de jogos, esta ferramenta torna-se bastante acessível permitindo desenvolver com facilidade aplicações que podem funcionar em vários ambientes, *on-line* ou *off-line*, Mac, PC, iPhone e IPAD, tv e consoles de jogos como mostra a Figura 26.

Com o Blender é realizada a modelagem dos objetos e ferramentas utilizadas nas operações realizadas pelo operador, que fornece uma arquitetura aberta, interoperabilidade entre plataformas, extensibilidade, exigindo muito pouco do poder de processamento, assim, gerando um fluxo de trabalho totalmente integrado e rápido, contando com um amplo conjunto de recursos de modelagem 3D, texturização, iluminação, animação e pós-processamento de vídeo e desenvolvimento de jogos 3D, integrando todas essas funcionalidades em um único pacote.

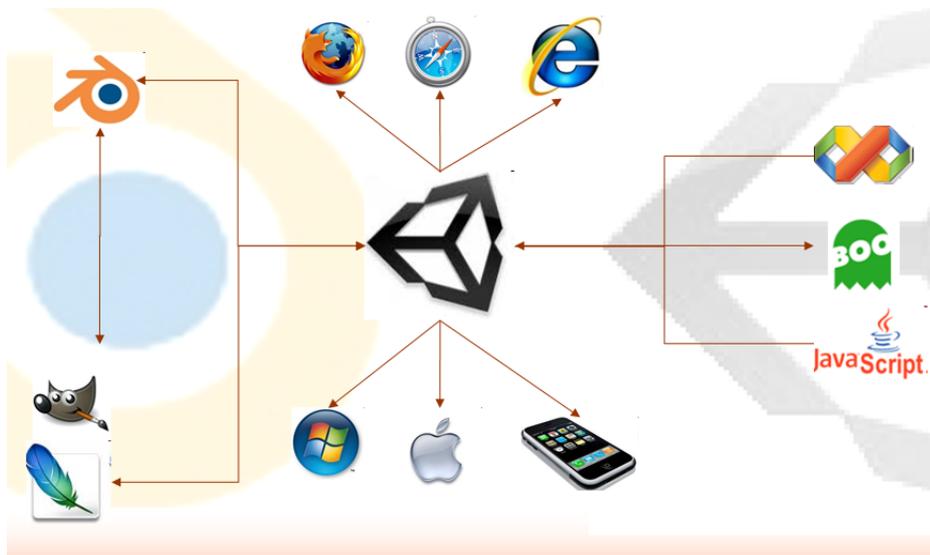


Figura 26: Funcionamento geral das ferramenta Unity 3D.

#### 4.1.1 Linguagem Utilizada no Desenvolvimento do Simulador

A escolha de uma linguagem de programação padronizada que permita novas experiências e bom suporte é essencial na criação de uma plataforma computacional.

A Unity 3D, engine utilizada no trabalho, tem como opções de linguagem o JavaScript, Boo e C#, dando maior suporte a linguagem C#, apresentando recursos avançados e outras utilidades resultado da grande comunidade que a utiliza com a engine.

A linguagem C# é também mais próxima a CIL (Common Intermediate Language), sendo CIL é uma linguagem de programação de baixo nível do ambiente de programação da Microsoft. Isto significa que escrevendo o código em C# pode vir a melhorar o desempenho da aplicação, a linguagem também pode ser escrita em editores externos a Unity 3D como Microsoft Visual Studio.

A linguagem de programação C# foi escolhida também por ser uma linguagem segura, padronizada, amplamente utilizada em outras áreas, e por possuir material e grupos de discussão disponíveis e ativos. Além disso, esta linguagem ainda é projetada para atender projetos de grande porte.

## 4.2 Definição dos Modelos 3D

### 4.2.1 Modelos 3D Estáticos e Animados

A modelagem de objetos 3D é uma técnica utilizada para criar representações abstratas (virtuais) para uso em sistemas computacionais. Ela pode ser entendida como a representação computacional dos objetos de um ambiente e determina a arquitetura geral e detalhada de objetos virtuais que representam objetos reais. A modelagem de objetos virtuais normalmente é baseada em polígonos, nas quais um objeto é formado pela união e combinação de vários desses polígonos (BURDEA; COIFFET, 2003).

Para a renderização de objetos mais próximos ao observador, uma representação tridimensional com a geometria completa é selecionada, geralmente empregando-se a abordagem de modelos de fronteira. Tal modelo consiste na representação de formas a partir da aproximação de seus limites utilizando uma coleção de faces conectadas de forma conveniente (JUNIOR, 2013).

A edição dos objetos tridimensionais foi uma tarefa importante no desenvolvimento do ATreVEE 3D, visto que estes precisavam representar adequadamente as estruturas e ferramentas (objetos interativos) envolvidas no procedimento de troca de isolador.

Neste trabalho, o modelo tridimensional é baseado no formato OBJ (é um formato de arquivo de definição de geometria desenvolvido primeiramente por Wavefront Technologies para seu pacote de animação do visualizador avançado) e FBX (desenvolvido pela de Kaydara) desenvolvidos com a ferramenta Blender, melhor elucidado na Seção 4.2.3, amplamente utilizada em jogos. Apesar de serem originalmente desenvolvido para modelos animados, os formatos FBX e OBJ é também eficiente para modelos estáticos.

## 4.2.2 Texturização UV

A aplicação de texturas é uma técnica importante que é utilizada para adicionar realismo às cenas geradas por computador sem que seja exigida uma sobrecarga de processamento no sistema. Por meio da aplicação de textura é possível a simulação de vários objetos (árvores, gramados, tecidos e outros) e situações (como sombreamento e iluminação estáticos) (DINIZ, 2010). Para a concepção das texturas mais realistas no ATreVEE 3D foi empregada a técnica de texturização UV.

O processo de texturização UV consiste na aplicação de um mapa de textura 2D em um objeto 3D. Para tanto, é necessária a definição de um conjunto de coordenadas para a descrição do mapa de textura em função das coordenadas cartesianas X,Y e Z do objeto tridimensional (MULLEN, 2009).

O processo de mapeamento UV requer a conclusão de três etapas: a abertura da malha, a criação da textura e a aplicação da textura. A abertura da malha consiste na criação das coordenadas UV para cada vértice da malha tridimensional. A definição dessas coordenadas pode ser feita através do desdobraamento da malha poligonal em função de costuras definidas na malha tridimensional. Estas costuras podem ser feitas manualmente ou por meio da utilização de alguma técnica computacional. O desdobraamento da malha faz com que os polígonos da malha sejam projetados em uma imagem 2D, denominada Mapa UV. Uma vez que a malha está aberta, a textura pode ser criada individualmente para cada polígono, com o mapa UV sendo usado como modelo. Quando a cena é renderizada a textura é aplicada em cada triângulo de forma adequada (MULLEN, 2009).

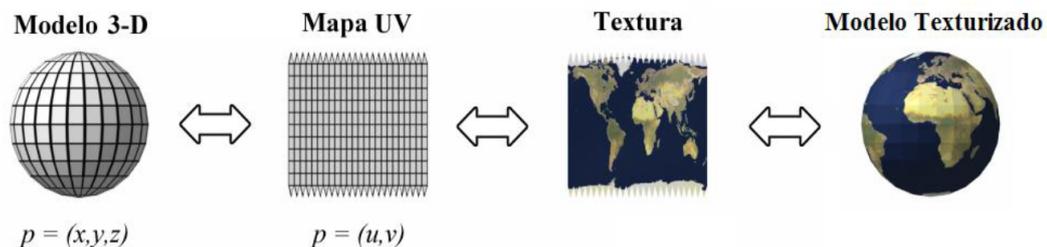


Figura 27: Exemplo do processo de texturização UV em uma malha quadrangular de uma esfera. Fonte: (DINIZ, 2010).

## 4.2.3 Construção e Texturização dos Modelos do ATreVEE 3D

Nesta seção, será apresentada a construção e texturização dos principais modelos utilizados no simulador, para a representação das várias situações possíveis de serem

visualizadas na realização dos procedimentos.

Antes de começar a construção de um personagem ou objeto que fará parte do cenário, é necessário planejá-los. E o planejamento é feito com escolhas como tamanho, formato, cor, luz do cenário, textura, roupas, entre outras coisas, em que um personagem bem planejado fará bem mais simples de ser modelado e animado, facilitando a vida do produtor e trazendo bons resultados ao meio digital ao qual está atrelado.

Estes foram devidamente associados às matérias utilizadas no setor, como luva, chave, bota, cinto de segurança mãos do personagem, pois a imagem a ser apresentada para eles visam sempre ser a mais realística possível. Assim, o operador terá a percepção de que está no ambiente de operação.

Com grande quantidade de faces e originalmente em formatos FBX ou OBJ, os objetos foram adequadamente convertidos com o auxílio da ferramenta Blender técnicas presentes em (BLENDER, 1998b), (BLENDER, 1998a), os modelos apresentados no simulador possuem texturização UV com resolução de 512x512 (Figura 28).



Figura 28: Textura do modelo tridimensional do personagem.

O processo de composição e texturização da mão é ilustrado detalhadamente na Figura 29. Na Imagem A, é mostrado todo o processo de construção da mão do operador, em que inicialmente a mão é modelada com a ferramenta de modelagem. Na Imagem B o objeto já passou pelo processo de texturização UV apresentado na Seção 4.2.2. Já na Imagem C, o objeto recebe outra textura, utilizando também a técnica de texturização UV, representando a mão do operador com um equipamento de trabalho.

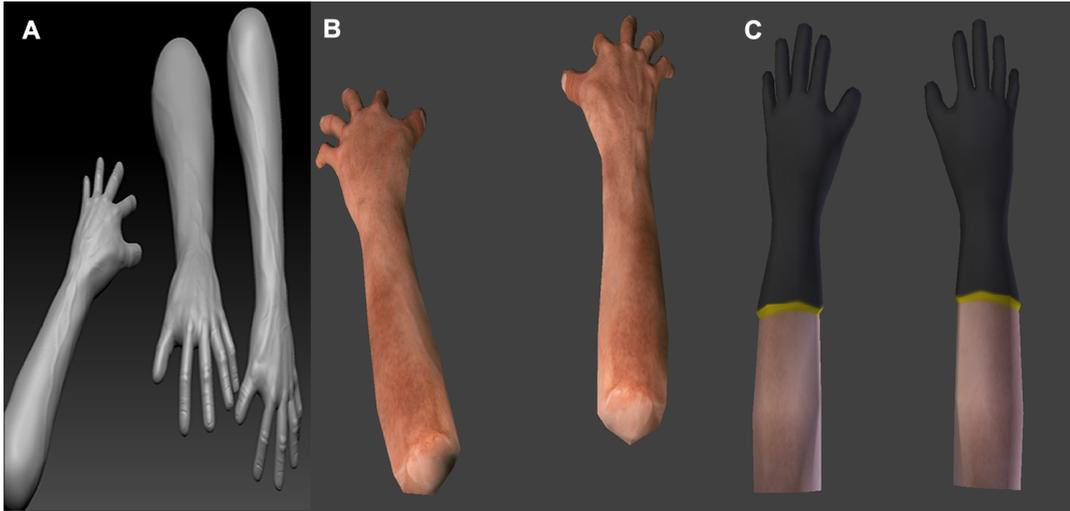


Figura 29: Processo de construção e texturização da mão.

A Figura 30, apresenta os passos para modelagem e animação do personagem, na Imagem A, apresenta um armadura simples do corpo do personagem, na Imagem B, mostra a composição do corpo com objetos primários sobre a armature (é um tipo de objeto usado para aparelhamento, o objeto armadura empresta muitas idéias a partir de esqueletos reais. (BLENDER, 1998b)), a Imagem C ocorre a junção do armature com o objetos primários, na Imagem D, inicia-se o processo de suavização do objetos primários que compõem o personagem e correção de algumas falhas de junção note que neste passo os objetos ainda estão separados uns dos outros. Na Imagem E estes objetos são agrupados por vértices das extremidades dos objetos se tornando uma única malha.

O ciclo da animação destes objetos que compõem o cenário reúne uma série de arquivos no formato Biovision Motion File (BVH ). O arquivo contendo o movimento capturado (caminhar humano, movimentação das mãos, e outros) foi importado no Blender, convertido em armadura (forma de animar semelhante a skinned bones) (Figura 30) e, por fim, aplicado à malha encapsulando o movimento nos frames do arquivo do modelo final.

O processo de texturização UV é suportado pela ferramenta de modelagem 3D Blender. O Blender aceita a definição das costuras pelo usuário, cria automaticamente o mapa UV de acordo com as texturas definidas, permite a exportação do mapa UV para edição em

sação de imersão que é a técnica utilizada pelo trabalho, é quando o operador tem a sensação parcial de esta no ambiente simulado.

O modo de visualização se refere à perspectiva gráfica que segue do ponto de vista do personagem controlado pelo operador, talvez o gênero mais notável a fazer uso dessa perspectiva seja em primeira pessoa, onde a perspectiva gráfica causa um grande impacto na jogabilidade, dando ao operador quatro graus de liberdade de movimento (para à esquerda/à direita, para frente/para trás). Em duas das fases que apresenta o personagem é possível mudar o modo de visualização do operador, e operador o personagem com os quatro graus de liberdade. A mudança de visualização em procedimento pode ser adicionada futuramente, as trocas de visualização existentes estão presentes em situações simples, como a chegada do operador ao trabalho e a locomoção do personagem até o primeiro procedimento, com o intuito de mostra o personagem com as roupas e ferramentas de operação presentes apenas no modo sequencial.

## 5 Conclusão e Trabalhos Futuros

Neste trabalho foram apresentados estudos sobre a utilização de RV na construção de simulações com foco no ensino e treinamento de procedimentos do setor elétrico, foi apresentado simulador utilizando RV para estudo e treinamento em troca de isoladores e outras operações executadas pelos operadores e um sistema de avaliação acoplado a este simulador.

No capítulo são detalhadas considerações sobre a pesquisa desenvolvida, evidenciam-se os resultados alcançados a partir do desenvolvimento deste trabalho, bem como, se tratar os principais desdobramentos antevistos em trabalhos futuros.

### 5.1 Considerações Sobre a Pesquisa

Alguns benefícios proporcionados pelos simuladores virtuais aplicados ao ensino de operações do setor podem ser diretos, como os avanços imediatamente discerníveis no desempenho individual e de equipes. A maioria dos benefícios ao contrário dos custos associados à criação/utilização dos simuladores virtuais relativamente pequenos comparados com outras formas de treinamento, não são diretos, nem de fácil avaliação (DINIZ, 2010).

Apesar deste fato, é importante ressaltar que o sistema atual de educação, treinamento e manutenção de proficiência em conhecimentos do setor elétrico pode ser agregado e obter resultados ainda mais satisfatórios com relação ao ensino aos seus operadores, tendo como base o relatório apresentado em (COGE, 2011).

O projeto apresentou o desenvolvimento de uma plataforma de treinamento aberta de procedimentos para o setor elétrico tendo inicialmente a execução de três operações de risco realizadas pelo setor, sendo possível a adição de novas operações (*plugins*) em estudos futuros.

Inicialmente a plataforma será submetido a uma bateria de testes que serão realizados com profissionais do setor, com objetivo o retorno melhor aproveitamento com relação

aos métodos de aprendizado empregados à profissionais do setor, os quais não foram aplicados pela falta de tempo para agendamento com as companhias da região.

O ensino deste setor e prática em procedimentos pode ser melhorado se as sociedades e a comunidade da área tornarem-se mais envolvidas no design, na implementação e na avaliação das tecnologias de RV. Esse aumento no envolvimento contribuiria não só para o desenvolvimento de aplicações de RV avançadas, mas também para a concepção de componentes tecnológicos, tais como dispositivos de visualização, sensores hápticos e de retorno de força, que podem potencializar os efeitos dos simuladores no ensino do setor elétrico, aumentando o realismo empregado no treinamento de operadores do setor.

## 5.2 Resultados da Pesquisa

Como resultado, o presente trabalho apresenta um estudo sobre o emprego de simuladores virtuais para ensino e treinamento de procedimentos do setor elétrico. Investigou-se a importância e relevância dos simuladores para procedimentos do setor elétrico. Propomos, assim, uma arquitetura para acelerar o desenvolvimento de aplicações de treinamento e facilitar a introdução de novos procedimentos.

Foi demonstrado que o desenvolvimento de um simulador para o setor elétrico pode ser desenvolvido com baixo custo, utilizando tecnologias acessíveis que possa vir a agregar e melhorar o trabalho final. Como consequência do trabalho também foi detalhado o desenvolvimento de um simulador virtual para ensino e treinamento de operadores do setor e um sistema de avaliação acoplado a este simulador.

No contexto da avaliação de habilidades de operadores em procedimentos do setor elétrico, sabe-se que há algumas dificuldades destes serem avaliados de forma padronizada nas mesmas condições. O que observamos, hoje, é que a relação entre aluno e professor é caracterizada por estreita supervisão em uma série de situações, onde os princípios e procedimentos ensinados muitas vezes são baseados, exclusivamente, nas interpretações particulares de professores sobre a prática atual (COSMAN et al., 2002).

Outro fator importante é que as práticas que ocorrem em sala não apresentam dificuldades para medir objetivamente o desempenho e o nível de conhecimento dos operadores (SUEBNUKAN, 2009). Já em condições reais, presentes no cotidiano destes, obstáculos e objetos não permanecem estáticos ao longo do tempo.

Com relação aos poucos trabalhos presentes na literatura, o simulador representa um

# Referências

- AZEVEDO, E. *Computação Gráfica - Teoria e Prática*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Elsevier, 2003.
- BASTOS, N. C.; TEICHRIEB, V.; KELNER, J. Interação com Realidade Virtual e Aumentada. *Realidade Virtual e Aumentada Conceitos, Projetos e Aplicações*, IX Symposium on Virtual and Augmented Reality, p. 52–70, 2007.
- BELLOC, O. R. Um arcabouço para o Desenvolvimento de Simuladores de Procedimentos em Realidade Virtual. *Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo 2011.*, 2011.
- BENTO, J. J. F. Desenvolvimento e avaliação de um ambiente de aprendizagem 3D. *Dissertação de Mestrado*, Instituto Politécnico de Bragança ? IPB Superior de Educação de Bragança, 2011.
- BIOCCA, F.; LEVY, M. Communication in the Age of Virtual Reality. *Lawrence Erlbaum Associates*, 1995.
- BLAS, N.; POGGI, C. *European Virtual Classrooms: how to build effective virtual educational experiences*. Springer London: Virtual Reality:Special Issue on Virtual Reality in the e-Society, 2007. [Http://www.springerlink.com/content/r264167mt8654q81](http://www.springerlink.com/content/r264167mt8654q81).
- BLENDER. *Editing Blender*. 1998. Disponível em: <<http://wiki.blender.org/index.php/Dev:Ref/Requests/Editing>>. Acesso em Julho 20, 2012.
- BLENDER. *Guide Blender*. 1998. Disponível em: <<http://www.blender.org/>>. Acesso em Julho 9, 2012.
- BOWMAN, D. A. *3D User Interfaces: Theory and Practice*. [S.l.: s.n.], 2004.
- BRASIL, G. do. out. 2012. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/sobre/economia/energia/setor-eletrico/distribuicao>>. Acesso em Dezembro 9, 2012.
- BURDEA, C. G.; COIFFET, P. *Virtual Reality Technology*. 2th. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2003.
- CARDOSO, A.; LAMOUNIER, E. Aplicações na Educação e Treinamento. *X Symposium on Virtual and Augmented Reality*, Edição Sociedade Brasileira de Computação - SBC, 13 de Maio, João Pessoa-PB, p. 353–368, 2008.
- CARDOSO, A.; MACHADO, L. dos S. Dispositivos para Sistemas de Realidade Virtual. Realidade Virtual e Aumentada - Uma abordagem tecnológica. *Symposium on Virtual and Augmented Reality*, Edição Sociedade Brasileira de Computação - SBC, p. 21–45, 2008.

- COGE. *Relatório de Estatísticas de Acidentes no Setor Elétrico*. [S.l.], 2011.
- COSMAN, P. H. et al. Virtual reality simulators: current status in acquisition and assessment of surgical skills. In: . [S.l.]: ANZ Journal of Surgery, 2002. v. 72, p. 30-34.
- CYBERMED. *About CyberMed*. jun. 2009. Jun., 2009. Disponível em: <<http://cybermed.sourceforge.net/>>. Acesso em Abril 9, 2012.
- DINIZ, A. S. *Simulação Médica Baseada em Realidade Virtual para Ensino e Treinamento em Ginecologia*. Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Informática, João Pessoa 2010, 2010.
- ELETROESTERS. *Isoladores de B.T.* 2010. Disponível em: <<http://www.eletoesters.com.br/>>. Acesso em Outubro 10, 2012.
- EMBRAER, S. Simulador de voo do legacy 650 da embraer operado pela flight-safety é certificado por faa, anac e easa. 2010. Disponível em: <<http://www.embraer.com.br/pt-BR/ImprensaEventos/Press-releases/noticias/Paginas/Simulador-de-voo-do-Legacy-650-da-Embraer-operado-pela-Flightsafety.aspx>>. Acesso em Outubro 9, 2012.
- GARANT, E. A virtual reality training system for power-utility personnel. IEEE Pacific Rim Conference, p. 296–299, 1995.
- GSCAR. *Grupo de Simulação e Controle em Automação e Robótica*. 2010. Disponível em: <<http://www.coep.ufrj.br/gscar/>>. Acesso em Agosto 21, 2012.
- GUIMARAES, M. P. Fundamentos de Realidade Virtual e Aumentada. Livro do Pré-Simpósio, VIII Symposium on Virtual Reality, p. 108–128, 2007.
- GUTIERREZ, C. E. C. *ELIMINAÇÃO DO RUÍDO POR ENCOLHIMENTO DE WAVELETS: Uma aplicação à série de Preço Spot de Energia Elétrica do Brasil*. Dissertação (Mestrado) — Pós-graduação em Sistemas de Energia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica da PUC-Rio, Rio de Janeiro Agosto de 2002, 2002.
- JUNIOR, E. A. da S. *Método Dinâmico para Troca de Representação em Sistemas Híbridos de Renderização de Multidões*. Dissertação (Projeto de Diplomação) — Pós-graduação em Ciência da Computação do Departamento de Computação da UFC, Fortaleza - Ceará, Março de 2013., 2013.
- KIRNER, R. T. C. Fundamentos de Realidade Virtual e Aumentada. *Livro do Pré-Simpósio*, VIII Symposium on Virtual Reality, p. 2 – 39, 2007.
- MACHADO, L. Conceitos básicos da realidade virtual. *MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS*, 1995.
- MACHADO, L. A Realidade Virtual no Modelamento e Simulação de Procedimentos Invasivos em Oncologia Pediátrica. *Tese de Doutorado*. Março de 2003. *Escola Politécnica da Universidade de São Paulo*, 2003.
- MARCOS, P. A. S. et al. Um Ambiente de Treinamento de Manutenção em uma Unidade Hidráulica de Energia Usando Realidade Virtual Desktop. IX Symposium on Virtual and Augmented Reality, p. 286–294, 2007.

- MICROSOFT, G. S. *Microsoft Game Studios*. 2005. Disponível em: <<http://www.ageofempires.com/>>. Acesso em Agosto 04, 2012.
- MORAN, J. M. Ensino e aprendizagem inovadores com tecnologias audiovisuais e telemáticas. *Novas tecnologias e medição pedagógica*. 2003.
- MULLEN, T. *Mastering Blender*. 1th. ed. [S.l.]: Wiley, John & Sons, Incorporated, 2009.
- NILS, A. B. P. Projetos e Implementação de um Sistema de Autoria para Animações, Simulações e Treinamentos em Realidade Virtual. *Dissertação de Mestrado. Setembro de 2010. Campus Universitário do Guamá.*, 2010.
- PAMPLONA, A. J. Avaliação do Sistema de Autoria de Instruções Técnicas Virtuais. SVR 2010, 2010.
- PAMPLONA, A. J.; CAIO, M. R. F. Um Ambiente de Treinamento de Manutenção em uma Unidade Hidráulica de Energia Usando Realidade Virtual Desktop. 2011. Disponível em: <http://www.aeseletropaulo.com.br/imprensa/releases/Paginas/AESEletropaulotreinaeletricistasemsimulador3D.aspx> Acesso em jul. 2012.
- PRESSMAN, R. s. *Engenharia de Software*. 3<sup>a</sup> ed.. ed. [S.l.]: Makron Books do Brasil Editora Ltda, 1995.
- SHARABI, C. Immersedata Analysis: Four Case Studies. *IEEE Computer*, v. 40, p. 42–45, 2007.
- SOUZA, M. P. A. Maintenance and assembly training in a hydroelectric unit of energy virtual reality desktop. *IEEE Revista IEEE America Latina*, v. 6, n. 5, p. 484–491, 2003.
- SUEBNUKAN, S. Intelligent tutoring system for clinical reasoning skill acquisition in dental students. In: . [S.l.]: Journal of dental education, 2009. v. 10, p. 105–114.
- TEICHRIEB, V.; KELNER, J. Técnicas de Interação para Ambientes de Realidade Virtual e Aumentada. *Realidade Virtual e Aumentada Conceitos, Projetos e Aplicações*, SBC - Sociedade Brasileira de Computação, 2006.
- TORI, C. K. R. Fundamentos de Realidade Virtual e Aumentada. VIII Symposium on Virtual Reality, p. 2–39, 2007.
- UNITY. *Editing Unity 3D*. 2010. Disponível em: <<http://unity3d.com/>>. Acesso em Julho 03, 2012.
- VILELA, T. F. *ESTIMAÇÃO INTELIGENTE DA POLUIÇÃO DE ISOLAMENTOS ELÉTRICOS BASEADA NOS VECSE DO RUÍDO ULTRASSÔNICO*. Tese (Doutorado) — Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande Abril de 2011, 2002.
- YOUNGBLUT, C. *INSTITUTE FOR DEFENSE ANALYSES*. [S.l.]: IDA-INSTITUTE FOR DEFENSE ANALYSES, 1998. 65 p.

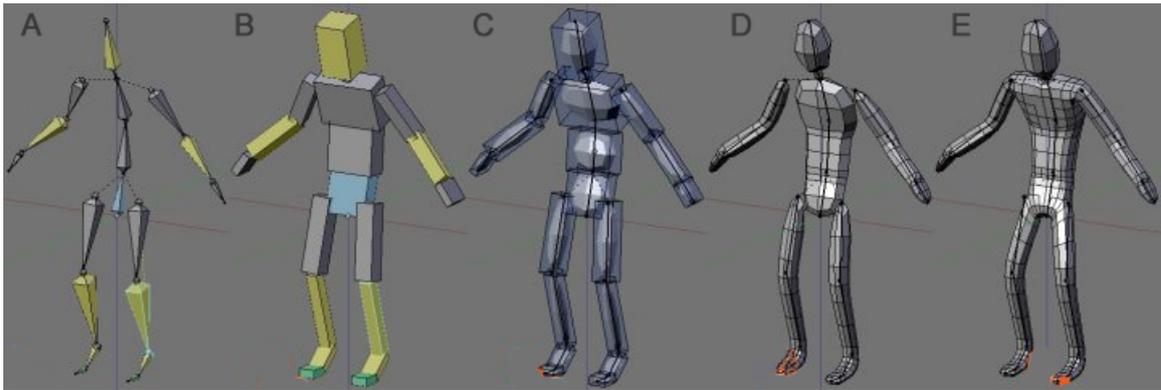


Figura 30: Inicialmente mostra a armadura, e os passos realizados para a modelagem do personagem no Blender (Fonte: (BLENDER, 1998b)).



Figura 31: Modelo tridimensional de um dos personagens equipado renderizado no Blender.

uma ferramenta gráfica externa (como Paint ou Photoshop) e realiza a renderização do objeto tridimensional texturizado, como ilustrado na Figura 31.

Todos os objetos que compõem os cenários e as ferramentas utilizadas nas operações realizadas pelo operador, passaram pelo mesmo processo no Blender, como casas, prédios, postes, transformadores e personagem, todas ferramentas utilizadas por ele no treinamento contendo seis graus de liberdades cada, a Figura 31 apresenta o personagem principal.

### 4.3 Módulos de visualização do ATreVEE 3D

Um sistema que utiliza a realidade virtual é classificado conforme o nível de interação/imersão que ele oferece. Esta imersão é quando o usuário é transportado predominantemente para o domínio da aplicação por meio dos dispositivos disponíveis, já a sen-

personagem ativo, executando as operações no cenário virtual dando ideia ao operador de um ambiente real e de como ele deve se portar em uma operação do seu dia a dia. O sistema de avaliação apresentado no simulador é rigoroso, procurando o aperfeiçoamento do operador, visando, principalmente, o aprendizado das sequências operacionais a serem realizadas. Também foi posto um cenário para escolha das ferramentas utilizadas na operação, em específico, antes da realização das operações. Outro fator importante é o modo demonstrativo, que serve de auxílio a operadores que tenham dificuldade com relação à sequência de ações.

### 5.3 Trabalhos Futuros

Como trabalhos futuros se pretende prosseguir a fase de avaliação do sistema com a participação de mais especialistas e técnicos da área. Esta estimativa deve servir para que sejam analisadas possíveis alterações, correções e/ou melhorias na plataforma de simulação atual.

Além disso, almeja-se obter resultados de comparações entre grupos que tenham realizado o treinamento simulado e de operadores que tenham efetuado o treinamento tradicional. Através desta comparação, é possível identificar os reais benefícios do uso do simulador na transmissão de conhecimento.

Futuramente, pretende-se investigar quais os melhores dispositivos hápticos que se adéquem ao simulador como luvas sensoriais e/ou camboard pico e o próprio Kinect para o manuseio e montagem das peças (objetos virtuais); assim aumentando a sensação de imersão e realismo da simulação e tornar, desta forma, a execução dos procedimentos ainda mais realísticos ao operador. Além disso, estender o software para operações que são realizadas por mais de um operador, realizadas em rede, utilizando o mesmo ambiente 3D e dando alusão a operações realizadas em conjunto.

Dentro destas perspectivas de trabalho, pretende-se também fazer a modelagem dos campos elétricos e magnéticos de dispositivos e equipamentos presentes na rede elétrica e em subestações. Incluindo aos equipamentos aspectos físicos dos dispositivos e componentes do AtreVEE 3D. Com isso aumentar o realismo empregado no treinamento com uso de componentes tecnológicos, tais como: dispositivos de visualização, sensores hápticos e de retorno de força.

## ANEXO A – Imagens dos objetos interativos do Simulador



Figura 32: Alicates utilizados pelo operador.



Figura 33: Isolador presente no poste.



Figura 34: Isolador presente no poste.



Figura 35: Protetor utilizado para proteger o operador do cabo de alta tensão.

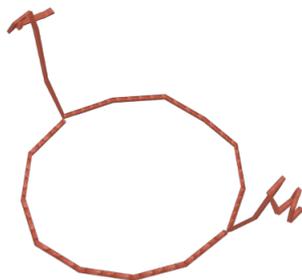


Figura 36: Arame que prende o fio ao isolador.