

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

FRAMEWORK PARA CRIAÇÃO DE LABORATÓRIOS VIRTUAIS: DIMINUINDO A
LACUNA ENTRE TEORIA E PRÁTICA EM ENGENHARIA ELÉTRICA

PEBERTLI NILS ALHO BARATA

TD: 04/2015

UFPA / ITEC / PPGEE
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DO GUAMÁ
BELÉM-PARÁ-BRASIL
2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

PEBERTLI NILS ALHO BARATA

FRAMEWORK PARA CRIAÇÃO DE LABORATÓRIOS VIRTUAIS: DIMINUINDO A
LACUNA ENTRE TEORIA E PRÁTICA EM ENGENHARIA ELÉTRICA

TD: 04/2015

UFPA / ITEC / PPGEE
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DO GUAMÁ
BELÉM-PARÁ-BRASIL
2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

PEBERTLI NILS ALHO BARATA

FRAMEWORK PARA CRIAÇÃO DE LABORATÓRIOS VIRTUAIS: DIMINUINDO A
LACUNA ENTRE TEORIA E PRÁTICA EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Tese submetida à Banca
Examinadora do Programa de
Pós-Graduação em
Engenharia Elétrica da UFPA
para a obtenção do Grau de
Doutor em Engenharia
Elétrica na área de
Computação Aplicada

UFPA / ITEC / PPGEE
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DO GUAMÁ
BELÉM-PARÁ-BRASIL
2015

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFPA

Barata, Pebertli Nils Alho, 1984-

Framework para criação de laboratórios virtuais:
diminuindo a lacuna entre teoria e prática em engenharia
elétrica / Pebertli Nils Alho Barata. - 2015.

Orientador: Manoel Ribeiro Filho.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do
Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Belém,
2015.

1. Realidade virtual. 2. Engenharia elétrica
- ensino auxiliado por computador. 3.
Laboratórios experimentais. 4. Estratégias de
aprendizagem. I. Título.

CDD 22. ed. 006.8

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

FRAMEWORK PARA CRIAÇÃO DE LABORATÓRIOS VIRTUAIS: DIMINUINDO A
LACUNA ENTRE TEORIA E PRÁTICA EM ENGENHARIA ELÉTRICA

AUTOR: PEBERTLI NILS ALHO BARATA

TESE DE DOUTORADO SUBMETIDA À AVALIAÇÃO DA BANCA
EXAMINADORA APROVADA PELO COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO
PARÁ E JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM
ENGENHARIA ELÉTRICA NA ÁREA DE COMPUTAÇÃO APLICADA

APROVADA EM ____/____/____

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Manoel Ribeiro Filho
PPGEE-UFPA (ORIENTADOR – UFPA)

Prof. Dr. Marcus Vinícius Alves Nunes
PPGEE-UFPA (MEMBRO INTERNO)

Prof. Dr. Roberto Célio Limão de Oliveira
PPGEE-UFPA (MEMBRO INTERNO)

Prof. Dr. Eloi Luiz Favero
PPGCC-UFPA (MEMBRO INTERNO)

Prof. Dr. Bianchi Serique Meiguins
PPGCC-UFPA (MEMBRO INTERNO)

Prof. Dr. Marcelo da Silva Hounsell
PPGCA-UDESC (MEMBRO EXTERNO)

VISTO:

Prof. Dr. Evaldo Gonçalves Pelaes
(COORDENADOR DO PPGEE/ITEC/UFPA)

AGRADECIMENTOS

Agradeço

A Deus pela contínua oportunidade da vida.

Pelo amor do meu pai, mãe e irmão que em vez de me levarem, ensinaram-me a chegar até lá.

À toda minha família pelo suporte incondicional.

À minha companheira Paula por lutar conquistar junto comigo.

Aos amigos, sempre trazendo alegria à minha casa.

Aos colegas de trabalho pela compreensão nesses 4 anos de luta.

Ao excepcional professor Manoel Ribeiro Filho pela amizade e confiança em 11 anos de parceria.

Ao sempre prestativo professor Marcus Vinícius Alves Nunes pela ajuda na carreira acadêmica, especialmente no doutorado.

À UFPA e ao PPGEE pela oportunidade de seguir em frente.

Ao CNPQ pela fundamental ajuda financeira.

Ao parceiro e amigo Messias José Amador no Nascimento pelas grandes ideias.

SUMÁRIO

Capítulo 1 - Introdução	1
1.1 Contextualização e Motivação	1
1.2 Hipótese	3
1.3 Objetivos	4
1.3.1 Objetivo Geral	4
1.3.2 Objetivos Específicos	4
1.4 Contribuição e relevância	4
1.4.1 Publicações	5
1.5 Escopo	6
1.6 Estrutura da tese	7
Capítulo 2 - Referencial Teórico	8
2.1 Métodos de Ensino e Aprendizado	8
2.1.1 Active Learning	8
2.1.2 Problem-Based Learning	9
2.1.3 Game-Based Learning	11
2.2 Realidade Virtual	14
2.2.1 Características	14
2.2.2 Realidade Aumentada	17
2.3 Engenharia Elétrica	17
2.3.1 Curso acadêmico	18
2.3.2 Carreira profissional	19
2.3.3 Equipamentos elétricos: Transformadores	19
2.3.4 Instalações elétricas: Subestações	21
2.3.5 Equipamentos elétricos: Hidrogeradores	23

2.4	Ferramentas de Autoria.....	25
Capítulo 3 - Revisão bibliográfica		27
3.1	Revisão Sistemática	27
3.2	Atividade: Planejamento	28
3.2.1	Identificação da necessidade de revisão.....	28
3.2.2	Desenvolvimento do protocolo	28
3.3	Condução	29
3.3.1	Selecionar estudos primários	29
3.3.2	Extração dos dados.....	30
3.3.3	Síntese dos dados	30
3.4	Resultados	30
3.4.1	Visão geral dos estudos.....	30
3.4.2	Discussão das pesquisas	37
3.4.3	Discussão das pesquisas: Questão Secundária 1	39
3.4.4	Discussão das pesquisas: Questão Secundária 2.....	41
3.4.5	Discussão das pesquisas: Questão Secundária 3.....	43
3.4.6	Discussão das pesquisas: Questão Secundária 4.....	45
3.4.7	Discussão das pesquisas: Questão Secundária 5.....	47
3.4.8	Discussão das pesquisas: Questão Secundária 6.....	48
3.4.9	Discussão das pesquisas: Questão Principal	50
Capítulo 4 - <i>Framework</i> para criação de laboratórios virtuais		52
4.1	Visão geral	52
4.2	Definição do laboratório	54
4.2.1	Papéis	57
4.2.2	Implementação	57
4.3	Criação do laboratório virtual	59
4.3.1	Papéis	63

4.3.2	Implementação	64
4.4	Execução	73
4.4.1	Papéis	75
4.4.2	Implementação	76
4.5	Medição	79
4.5.1	Papéis	80
4.5.2	Implementação	81
Capítulo 5 - Experimentos		85
5.1	Experimento 1: Conversão de energia elétrica, transformadores e subestação elétrica.....	85
5.1.1	Definição do laboratório	86
5.1.2	Criação do laboratório virtual	88
5.1.3	Execução	94
5.1.4	Medição.....	101
5.2	Experimento 2: Turbina Hidrogeradora e Usina Hidrelétrica.....	106
5.2.1	Definição do laboratório	106
5.2.2	Criação do laboratório virtual	109
5.2.3	Execução	112
5.2.4	Medição.....	116
Capítulo 6 - Conclusão		119
6.1	Comprovação da hipótese e perguntas.....	119
6.2	Trabalhos futuros	122

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Ensino PBL ilustrado em passos resumidos	9
Figura 2.2 - Soldado treinando técnicas de infantaria em um simulador RV.....	15
Figura 2.3 - Uso do Microsoft HoloLens para manutenção virtual de uma moto.....	17
Figura 2.4 - Esquema do autotransformador com os enrolamentos conectados em série	20
Figura 2.5 - Equipamentos de uma subestação. (a) Transformadores. (b) Disjuntores. (c) Seccionadoras	22
Figura 2.6 - Subestação de Vila do Conde	22
Figura 2.7 - Esquema de uma turbina hidrogeradora.	24
Figura 3.1 - Protocolo da revisão sistemática adaptada de Kitchenam, (2004).....	27
Figura 3.2 - Publicações sobre RV e educação em Engenharia Elétrica.....	31
Figura 3.3 - Publicações por país relacionadas a Realidade Virtual e Engenharia Elétrica entre 2006 e 2014	31
Figura 3.4 - Publicações em Realidade Virtual considerando a área de atuação em Engenharia Elétrica.....	32
Figura 3.5 - Publicações por campo da educação.....	33
Figura 3.6 - Metodologia de ensino por publicação em trabalhos envolvendo ensino em Engenharia Elétrica e Realidade Virtual	33
Figura 3.7 - Aplicações de RV por publicação em trabalhos envolvendo ensino em Engenharia Elétrica.....	34
Figura 3.8 - Equipamentos usados nos experimentos por publicação envolvendo ensino em Engenharia Elétrica e Realidade Virtual	34
Figura 3.9 - Modo de desenvolvimento por publicação envolvendo Realidade Virtual e Engenharia Elétrica.....	35
Figura 3.10 - Tipos de avaliação em publicações envolvendo Realidade Virtual e Engenharia Elétrica.....	37
Figura 3.11 - Experimento com linhas de campo magnético em (MATSUTOMO et al., 2012)	40
Figura 3.12 - Ferramenta de autoria para procedimentos de reparo, disponível em (GIMENO et al., 2012).....	42
Figura 3.13 - Montagem de uma peça com auxílio de RA.....	42
Figura 3.14 - Visualização dinâmica da velocidade do rotor de uma turbina hidrogeradora. Disponível em (DE SOUSA et al., 2012).....	44

Figura 4.1 - Macro visão do <i>framework</i> proposto	53
Figura 4.2 - Etapa de definição do laboratório	55
Figura 4.3 - Atribuições dos papéis na etapa de definição do laboratório.....	57
Figura 4.4 - Etapa de Desenvolvimento do laboratório virtual	63
Figura 4.5 – Papéis da etapa de Desenvolvimento do laboratório virtual	64
Figura 4.6 - Coleta de texturas até a modelagem. (a) Textura capturada do equipamento real. (b) Textura editada (c) Textura aplicada no modelo 3D	66
Figura 4.7 - Exemplo de equilíbrio no detalhamento de objetos 3D. (a) Modelo 3D detalhado. (b) Modelo 3D simples	68
Figura 4.8 - Interface principal do Sistema ITV	69
Figura 4.9 - Arquivo ITV simples em formato XML.....	72
Figura 4.10 - Arquitetura do Sistema ITV	72
Figura 4.11 - Diagrama de atividades dos passos de uma ITV	73
Figura 4.12 - Detalhamento da etapa de Execução do <i>framework</i>	74
Figura 4.13 – Papéis e atribuições para a etapa de Execução.....	76
Figura 4.14 - Modo de treinamento do Sistema ITV.....	79
Figura 4.15 - Detalhamento da etapa de medição	80
Figura 4.16 - Papéis e atribuições para a etapa de Medição.....	81
Figura 5.1 - Modelo 3D do avatar e esqueleto para animações.....	90
Figura 5.2 - Efeito gerado com sistema de partículas para este experimento	90
Figura 5.3 - Modelo 3D de um transformador.(a) Modelo detalhado.(b) Modelo simples.....	91
Figura 5.4 - Desenvolvimento de interações para telas virtuais no Sistema ITV.....	95
Figura 5.5 - ITV de comutação do tap com paralelismo ativado. (a) Introdução. (b) Alarme de desativação do paralelismo. (c) Controle do paralelismo via SAGE. (d) Controle da tensão via SAGE. (e) Eventos indicativos da atuação dos tap's. (f) Confirmação de alteração	99
Figura 5.6 - Interação do aluno na ITV de manutenção do tap. (a) Bancada de ferramentas para escolha pelo aluno. (b) No modo guiado, o Sistema ITV dá a dica de qual ferramenta deve ser usada naquele momento. (c) O aluno escolhe o paquímetro corretamente e a manute.....	100
Figura 5.7 - Relatório de execução da ITV	100
Figura 5.8 - Porcentagem de alunos que obtiveram a nota relacionada no curso de Conversão de Energia para os grupo de 2012 (Convencional) e o grupo de 2013 (ITV).	103
Figura 5.9 - Modelagem da barragem da UHE Tucuruí em detalhe	110
Figura 5.10 - Animação de abertura das palhetas do distribuidor	112

Figura 5.11 - ITV de manutenção no gerador. (a) Verificação dos equipamentos de proteção individual. (b) Verificação dos equipamentos de proteção coletiva. (c) Acionamento da comporta para estar de acordo com as pré-condições. (d) Retirada da tampa para acesso ao gerador. (e) Inspeção inicial das peças do gerador. (f) Organização das peças retiradas e ferramentas. (g) Inspeção final para checagem da montagem correta. (h) Gerador pronto para operação..... 115

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 - Publicações relacionadas à tese.....	6
Tabela 2.1 - Comparação entre métodos de ensino tradicional, treinamento tradicional, treinamento em ambiente real e GBL.....	13
Tabela 3.1 - Ferramentas de Realidade Virtual usadas em publicações envolvendo Engenharia Elétrica.....	36
Tabela 5.1 - Instruções Técnicas utilizadas como roteiro para o experimento de ensino de Conversão de Energia.....	87
Tabela 5.2 - Características de cada ITV desenvolvida no Experimento 1.....	92
Tabela 5.3 - Distribuição dos horários considerando os dois semestres.....	96
Tabela 5.4 - Estatísticas de execução das sessões para o experimento 1.....	97
Tabela 5.5 - Resultado do questionário aplicado aos 90 estudantes deste experimento. Os dados referem-se ao número/porcentagem de respostas para cada opção. Dados em negrito são os máximos.	102
Tabela 5.6 - Instruções Técnicas utilizadas como roteiro para o experimento de treinamento na UHE Tucuruí.....	109
Tabela 5.7 - Características de cada ITV desenvolvida no Experimento 2.....	111
Tabela 5.8 - Estatísticas de execução das sessões para o experimento 2.....	114
Tabela 5.9 - Resultado do questionário aplicado aos 40 profissionais da UHE Tucuruí participantes deste experimento. Dados em negrito são os máximos.....	116

LISTA DE ABREVIATURAS

CAD – *Computer Aided Design*

GBL – *Game-Based Learning*

IT – Instrução Técnica

ITEC – Instituto de Tecnologia

ITV – Instrução Técnica Virtual

LARV – Laboratório de Realidade Virtual

PBL – *Problem-Based Learning*

RA – Realidade Aumentada

RV – Realidade Virtual

SAGE – Sistema Aberto de Gerenciamento de Energia

UFPA – Universidade Federal do Pará

UHE – Usina Hidrelétrica

UHG – Unidade Hidrogeradora

XML – eXtensible Markup Language

RESUMO

Dentro do campo de estudo de Engenharia Elétrica, o entendimento de alguns equipamentos pode ser frustrante e desmotivador devido à falta de uma visão clara de como estes equipamentos funcionam e operam em um ambiente real. Tanto estudantes quanto profissionais têm dificuldades para conhecer ou treinar com estes equipamentos, por fatores como segurança, custo para manter um laboratório ou impedimentos para treinamento em instalações reais. Diversas formas de ensino e aprendizado têm sido utilizadas para melhorar este aspecto prático do aprendizado em Engenharia Elétrica. Dentre essas formas, o uso de realidade virtual tem tido bons resultados por fornecer um ambiente seguro, controlado e barato em relação a um laboratório real. Porém, ainda há lacunas que podem ser sanadas nesses experimentos, como por exemplo, atender tanto alunos como profissionais, facilidade de criação dos laboratórios e reproduzir situações reais dos equipamentos e assim aproximar a teoria da prática. Assim, esta tese propõe um *framework* conceitual para criação de laboratórios virtuais para preencher estas lacunas. Uma revisão sistemática foi conduzida para reunir características, oportunidades e desafios da neste tema. O *framework* apresenta métodos, técnicas e melhores práticas para a definição, criação, execução e medição de experimentos de Realidade Virtual aplicados à Engenharia Elétrica. São apresentados experimentos que foram conduzidos para validar o *framework*. Um experimento demonstra o ensino do funcionamento de transformadores elétricos em subestações para estudantes de graduação de Engenharia Elétrica. Outro experimento treina profissionais para operação e manutenção de uma turbina hidrogeradora em uma usina hidrelétrica. Os resultados mostram que o *framework* possibilitou o melhor estudo prático ao mostrar cenários e situações reais dos conceitos apresentados e melhorou aspectos de ensino e aprendizado como notas, motivação e obtenção do conhecimento, tanto para alunos e profissionais quanto para o professor.

PALAVRAS-CHAVES: Engenharia Elétrica. Ensino e Aprendizado. Realidade Virtual. Ferramenta de Autoria.

ABSTRACT

Within the Electrical Engineering field of study, the understanding of some equipment can be frustrating and demotivating due to lack of a clear vision of how these devices work and operate in a real environment. Both students and professionals find it difficult to meet or train with this equipment, by factors such as safety, cost of maintaining a laboratory or impediments to training in real installations. Various forms of teaching and learning have been used to enhance this practical aspect of learning in Electrical Engineering. Among these forms, the use of virtual reality has had good results by providing a safe, controlled environment and inexpensive compared to an actual laboratory. However, there are still gaps that can be addressed in these experiments, for example, serve both students and professionals, ease of creation of laboratories and play real situations of equipment, nearing the theory of the practice. Thus, this thesis proposes a conceptual framework for creating virtual labs to fill these gaps. A systematic review was conducted to collect characteristics, opportunities and challenges of this issue. The framework presents methods, techniques and best practices for defining, creating, implementing and measuring virtual reality experiments applied to Electrical Engineering. Experiments are presented which were performed to validate the framework. An experiment demonstrates the teaching of operating electrical transformers in substations for undergraduate students of Electrical Engineering. Another experiment trains professionals to operation and maintenance of a hydro generator turbine at a hydroelectric plant. The results show that the framework enabled the best practical study to show actual scenarios and situations of the concepts presented and improved aspects of teaching and learning as notes, motivation and retention of knowledge for both students and professionals as to the teacher.

KEYWORDS: Electrical Engineering. Teaching and Learning. Virtual Reality.

Authoring tool

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização e Motivação

O estudo e treinamento de máquinas e instalações elétricas de grande porte ainda é desafiador, especialmente quando uma abordagem prática é importante (SAAVEDRA MONTES; CASTRO; RIVEROS, 2010). Áreas de estudo do estudante e do profissional de Engenharia Elétrica passam por transformadores, disjuntores, subestações, usinas de geração, entre outros. Logo, possuir uma visão clara e tangível desses equipamentos e componentes, suas operações e disposição no sistema elétrico, manutenção e requisitos de segurança envolvidos, são pontos fundamentais que o profissional da área deve ter.

Contudo nesse contexto, o estudo e treinamento prático sofre de muitas dificuldades:

- Alto custo dos equipamentos para montagem de um laboratório.
- Segurança no manuseio dos equipamentos e trânsito nos locais de instalação como subestações e usinas.
- Logística de transporte da turma a ser treinada.
- Dificuldade de abertura e insuficiência de janelas de manutenção para visitas aos locais de instalação.
- Conflito entre a agenda de estudantes, funcionários e instrutores para treinamento.
- Alguns eventos ou fenômenos reais não podem ser visualizados na prática.

A lacuna entre a teoria e a prática não é exclusiva do ensino de Engenharia Elétrica, a exemplo de treinamento para paramédicos, enfermagem e design (HOOK et al., 2013; MICHAU et al., 2009; SCULLY, 2011), porém ela pode se tornar crítica quando envolve a necessidade de se conhecer equipamentos visualmente e experimentar seu funcionamento real. Em algumas disciplinas do curso de graduação em Engenharia Elétrica, como Conversão Elétrica, Máquinas Elétricas, Transmissão e Distribuição Elétrica, Instalações e Equipamentos Elétricos, essa necessidade é latente.

O profissional que atua nessas áreas também precisa conhecer os equipamentos e seu funcionamento. Seu treinamento é ainda mais crítico pois envolve o ambiente industrial, onde o alto e constante risco de morte e a possibilidade de prejuízos financeiros com a parada de um sistema elétrico de grande porte são só algumas das ocorrências que podem ser evitadas com um bom treinamento. O treinamento tradicional desses profissionais é feito com roteiros

textuais ou em vídeos, fotos e desenhos CAD (do inglês: *computer aided design*) (OZANNE, 2011). Esses roteiros são chamados de Instruções Técnicas (IT) e seus principais tipos são instruções de operação e instruções de manutenção. A produção de uma IT envolve especialistas das áreas relacionadas ao procedimento descrito. Possuir uma IT de um certo procedimento significa que operações e manutenções envolvidas serão normatizadas e funcionarão exatamente como um roteiro no ambiente de trabalho para otimizar a segurança dos profissionais, velocidade de execução dos procedimentos, taxa de acertos e erros e economia de recursos. Também não é raro que uma IT precise de revisão ou mesmo novas sejam criadas, necessitando outra vez do envolvimento dos especialistas e treinamento dos operadores e mantenedores que as utilizarão.

Foram propostas diversas formas de melhorar o aprendizado em cursos de Engenharia como um todo usando ferramentas de Tecnologia da Informação, (BANDAY; AHMED; JAN, 2014). Em geral essas propostas procuram melhorar o aspecto prático do ensino com metodologias de ensino não tradicionais como *Problem-Based Learning* (PBL) (HOSSEINZADEH; HESAMZADEH, 2012; HOSSEINZADEH; HESAMZADEH; SENINI, 2009; WANG et al., 2012) ou *Game-Based Learning* (AREVALILLO-HERRÁEZ; MORÁN-GÓMEZ; CLAVER, 2012; JONG et al., 2013; LARRAZA-MENDILUZE et al., 2013). Muitas destas propostas usam Realidade Virtual (RV), interface avançada e de alta imersão entre humano e máquina, para proporcionar um ambiente mais controlado e seguro para os experimentos (AYDOGAN et al., 2011; BAETA MIRANDA, 2010; GAVISH et al., 2013, 2013; HÄFNER; HÄFNER; OVTCHAROVA, 2013; MARTÍN-GUTIÉRREZ et al., 2014; MARTIN-GUTIERREZ; GUINTERS; PEREZ-LOPEZ, 2012; SHAOHUA; CHENGLEI, 2010; WEBEL et al., 2013).

Um estudo sobre diferentes propostas de melhoria da educação em Engenharia pode ser encontrado em (LITZINGER et al., 2011), onde destacam-se ganhos em aspectos do aprendizado como obtenção de conhecimento e motivação, e reforça ainda o ganho da capacidade de se resolver problemas práticos. Em (POPESCU et al., 2009) há uma comparação entre experimentos reais, virtuais e remotos para Engenharia Elétrica, analisando a melhoria no aprendizado com cada técnica.

Diante do cenário descrito, surgem problemas na criação, utilização prática, ensino e treinamento com experimentos em Engenharia Elétrica e mesmo em outras grandes áreas da Engenharia:

- A criação dos experimentos não é rápida;
- Servem quase em sua maioria somente para estudantes mas não para profissionais;
- Muitos são caros, mesmo aqueles que usam técnicas de Realidade Virtual;
- São voltados exclusivamente ao problema alvo;
- Não aceitam facilmente mudanças, correções ou customizações;
- Muitos experimentos não abordam situações reais da profissão;

Um *framework* define pressupostos, conceitos, valores e práticas, incluindo orientações para a execução do processo propriamente dito, de acordo com (TOMHAVE, 2005). Define-se ainda um *framework* vertical como especialista, confeccionado através da experiência obtida em um determinado domínio específico ou de um especialista, tentando resolver problemas de um determinado domínio de aplicação e *framework* horizontal quando pode ser aplicado em diferentes domínios (CRUZ, 2013).

Considerando o cenário e tentando diminuir essas lacunas, foi proposto um *framework* conceitual de criação e aplicação de laboratórios em Realidade Virtual para superar os problemas citados no ensino e treinamento de Engenharia Elétrica, tanto para estudantes como para profissionais. Este *framework* inclui etapas de modelagem dos equipamentos estudados, definição dos laboratórios, desenvolvimento dos softwares em realidade virtual para criação e execução dos treinamentos e metodologias para aplicação dos laboratórios em sala de aula e ambiente profissional.

1.2 Hipótese

Visto que ainda pode-se diminuir a lacuna entre teoria e prática no aprendizado de Engenharia Elétrica para estudantes e profissionais, esta tese de doutorado testa a seguinte hipótese:

Laboratórios em realidade virtual para treinamentos de operação e manutenção em equipamentos elétricos, melhoram a prática do estudante e do profissional de Engenharia Elétrica.

Esta hipótese permite o levantamento de questões importantes (Q):

- **Q01:** Que características os laboratórios virtuais devem ter para validar a hipótese?
- **Q02:** Que aspetos metodológicos podem ajudar a unir teoria e prática no ensino com laboratórios virtuais?

- **Q03:** Como avaliar a melhoria do conhecimento prático que a hipótese sugere?
- **Q04:** É possível criar uma metodologia para desenvolvimento e aplicação de laboratórios virtuais para ensino de Engenharia Elétrica?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Apresentar um *framework* para criação e execução de laboratórios virtuais para ensino e aprendizado em Engenharia Elétrica, buscando melhorar os aspectos práticos e reforçar a teoria envolvida em equipamentos e sistemas elétricos, tanto para estudantes quanto para profissionais.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Revisar a bibliografia relacionada a experimentos em Engenharia Elétrica e analisar suas contribuições e principais resultados quanto à melhoria da prática.
- Descrever o *framework* proposto com todos os elementos que o compõe, justificando a escolha de cada um deles.
- Apresentar a ferramenta Sistema ITV, importante elemento do *framework*, para execução e criação dos laboratórios virtuais.
- Sugerir e descrever como uma IT real de operação ou manutenção pode se tornar um laboratório virtual.
- Mostrar como os laboratórios virtuais criados com o *framework* aliam conceitos com situações práticas reais.
- Mostrar como IT's tradicionais convertidas em IT's virtuais pelo *framework*, podem melhorar o ensino a estudantes e profissionais da área.
- Analisar resultados do uso do *framework* tanto em disciplinas de Engenharia Elétrica quanto no ambiente profissional.

1.4 Contribuição e relevância

Relaciona-se a seguir pontos relevantes e novos desenvolvidos nesta tese, para superar os problemas e limitações citados na Seção 1.1:

- Criação de um *framework* conceitual de criação e execução de laboratórios virtuais para ensino e treinamento que agiliza, flexibiliza e barateia a criação e aplicação dos experimentos.
- O *framework* proposto permite a aplicação dos laboratórios virtuais em diferentes metodologias pedagógicas.
- Demonstrar como os experimentos propostos e criados como laboratórios virtuais, são baseados em procedimentos de operação e manutenção reais, aproximando o aluno à prática e ao mesmo tempo atendendo à necessidade de treinamento dos profissionais da área.
- O *framework* proposto permite a criação de laboratórios virtuais de diferentes áreas da Engenharia Elétrica e não somente de uma área ou assunto específico.
- Apresentação de uma ferramenta de autoria, o Sistema ITV, como uma alternativa para desenvolvimento rápido e flexível de laboratórios virtuais, dando a oportunidade de estudo e treinamento em um ambiente controlado, seguro e customizável sem necessidade de conhecimentos de programação.

Sabendo-se que a integração de novos métodos de ensino em universidades e treinamentos em empresas é um processo difícil (LITZINGER et al., 2011), especialmente relacionados à Engenharia, esta tese contribui ainda com o estudo e resultados de aplicações do *framework* proposto. Assim, estudos semelhantes podem aproveitar conclusões e resultados aqui apresentados.

1.4.1 Publicações

A Tabela 1.1 mostra as publicações relacionadas ao tema da pesquisa e produzidas durante o curso de doutorado. A publicação 1 está na fila para publicação e foi aceita em nove de janeiro de 2014. Ela trata da investigação do uso do *framework* proposto neste trabalho em ambiente acadêmico, mostrando resultados satisfatórios em diversos aspectos do aprendizado em uma disciplina de Engenharia Elétrica. A publicação 2 também está na fila para publicação e foi aceita em 13 de novembro de 2014. Esta publicação aplica o *framework* para auxílio do estudo de conceitos de transformadores e suas operações, quando instalado em uma subestação de energia elétrica.

Tabela 1.1 - Publicações relacionadas à tese

Número	Referência	Tipo
1	“Consolidating Learning in Power Systems: Virtual Reality Applied to the Study of the Operation of Electric Power Transformers” ¹ - <i>IEEE Transactions on Education</i>	<i>Journal</i>
2	“Virtual reality applied to the study of the integration of transformers in substations of power systems” - <i>International Journal of Electrical Engineering Education</i>	<i>Journal</i>

1.5 Escopo

O foco maior desta tese é demonstrar o uso de laboratórios virtuais para auxílio no ensino e aprendizado de Engenharia Elétrica, propondo um *framework* para criação e execução desses laboratórios e avaliando experimentos e aplicações da proposta. Dessa forma, muitos conceitos relacionados à tese poderão ser citados mas não abordados com detalhes. É importante então, listar o escopo de alguns desses conceitos:

- **Ensino e aprendizado:** novos métodos e resultados serão abordados, mas não é pretendido realizar um *survey* (reunião e análise de estudos de uma certa área de conhecimento) desses métodos. Somente os métodos mais relevantes para áreas de Engenharia e que ressaltam a parte prática, serão detalhados. Também não será abordado um histórico ou origens de métodos já consolidados.
- **Engenharia Elétrica:** algumas áreas de estudo de Engenharia Elétrica serão abordadas para verificar a importância e a forma do ensino prático. Alguns equipamentos, componentes, instalações elétricas e funcionamento físico serão abordados para contextualizar os experimentos realizados na pesquisa da tese. Além disso, algumas áreas profissionais serão relacionadas ao conteúdo de cada laboratório virtual.
- **Realidade Virtual:** conceitos e variações de realidade virtual serão abordados para contextualizar as pesquisas relacionadas na revisão bibliográfica, porém o maior foco será nos conceitos de realidade virtual utilizados no software que compõe o *framework* proposto.

¹ <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=7027870>

- **Ferramenta de autoria:** Serão apresentados conceitos e tipos de ferramentas de autoria, mas nenhum tipo de avaliação ou *survey* será feito com as ferramentas citadas nesta tese.
- **Engenharia de software:** diagramas serão utilizados para detalhar o *framework*, mas não haverá preocupação em explicar como os diagramas, em geral, funcionam.

1.6 Estrutura da tese

Neste capítulo introdutório, foram apresentados o problema motivador desta tese de doutorado e a hipótese gerada como resposta a esse problema. Os objetivos da tese para validar a hipótese também foram apresentados. A relevância e o escopo da pesquisa deste trabalho também foram descritos, além das publicações científicas alcançadas com ele. O restante desta tese está organizado da seguinte maneira:

Capítulo 2. Apresenta o referencial teórico para melhor compreensão dos assuntos abordados por toda a tese. Subdivide-se em Técnicas de Ensino e Aprendizado, Realidade Virtual, Engenharia Elétrica e Ferramentas de Autoria.

Capítulo 3. Revisão Bibliográfica para identificação de trabalhos relevantes na área de ensino e aprendizado em Engenharia Elétrica, onde será feita uma análise das contribuições de cada um para a área.

Capítulo 4. Apresenta o *framework* proposto com todos os seus elementos. Cada elemento será descrito e situado no fluxo de execução do *framework*. Também serão descritas as ferramentas utilizadas na aplicação deste *framework*.

Capítulo 5. Descreve os experimentos realizados com o *framework* e seus resultados, bem como uma discussão da contribuição dele em cada cenário dos experimentos. Este capítulo apresenta dois experimentos: Experimento com laboratório de transformadores e Experimento com Turbina Hidrogeradora.

Capítulo 6. Conclui e apresenta uma discussão final dos resultados confrontando com a hipótese e questões levantadas, além de desdobramentos futuros da pesquisa.

CAPÍTULO 2 - REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo são mostrados conceitos de Ensino e Aprendizado, Realidade Virtual, Engenharia Elétrica e Ferramentas de Autoria, importantes para o entendimento da tese.

2.1 Métodos de Ensino e Aprendizado

Os alunos aprendem por muitas maneiras: vendo ou ouvindo; refletindo ou atuando; por raciocínio lógico ou intuitivamente; memorizando ou entendendo e por aprendizado sequencial ou global. Os métodos de ensino também variam. Alguns professores usam palestras, outros demonstram ou discutem; alguns focam em princípios e outros em aplicações; alguns enfatizam memória e outros compreensão (KOLB, 1976). O quanto o aluno aprende em sala pode ser dado em parte pela sua habilidade nativa e pela sua preparação anterior, mas também pelo estilo de aprendizado e ensino usados.

O ensino em engenharia exige, em muitos casos, estilos de ensino mais experimentais (HAMES; BAKER, 2013), sob penalidade do estudante ficar entediado e desatento em sala, ter notas ruins, ficar desencorajado para o curso e até mesmo desistir dele. Professores, por sua vez, podem acabar tendo alunos com notas ruins, desmotivados ou hostis, fraca frequência e até mesmo desistências.

Treinamento difere do ensino acadêmico a medida que se torna mais específico e voltado para propósitos profissionais, além de possuir instruções passo-a-passo e *feedback* em tempo real quanto às ações tomadas pelo treinando (AGUINIS; KRAIGER, 2009). Os desafios relatados para ensino geral não são diferentes para profissionais em treinamento, apresentando ainda alguns agravantes: experiências anteriores, conhecimento empírico já adquirido e insatisfação na empresa podem dificultar o aprendizado de normas, novos conceitos e tecnologias (OXFORD, 2011).

2.1.1 Active Learning

Active learning pode ser definido como qualquer método que tenta engajar o aluno no processo de aprendizado ao requerer dele atividades de aprendizado significativas e refletir no que ele está fazendo, mas não somente fazer (BONWELL; EISON, 1991). Embora esta definição inclua atividades tradicionais como atividades para casa, na prática *active learning* refere-se a atividades feitas em sala de aula.

Active Learning contrasta com métodos tradicionais nos quais o aluno recebe a informação passivamente, embora *active learning* não signifique abandonar o formato de palestra. Professores usualmente mesclam o método tradicional com *active learning* a cada 15 minutos para assim dar aos alunos alguns minutos para trabalhar com a informação que está fornecendo. Eles podem pedir aos alunos para responder a uma pergunta, para resumir conceitos importantes por escrito, ou comparar as notas com um colega.

Um grupo de métodos que usam *Active Learning* em que os alunos trabalham juntos para resolver um problema comum e são avaliados também em conjunto, é chamado de *collaborative-learning* (GOODSELL, 1992). Em outro grupo colaborativo, chamado de *cooperative learning*, por sua vez, os alunos são avaliados individualmente (MILLIS; COTTELL, 1997). Porém, em ambos os grupos de métodos, o foco principal é a cooperação e não a competição entre os alunos.

Os muitos métodos de *active learning* têm sido aplicados no ensino e aprendizado de engenharia. Alguns estudos que avaliam a eficácia desses métodos podem ser encontrados em (ALEXANDER P. MAZZOLINI; SCOTT DANIEL, 2014; GUERRERO et al., 2011; LEHTOVUORI et al., 2013; LITZINGER et al., 2011; MUNOZ et al., 2013; PRINCE, 2004).

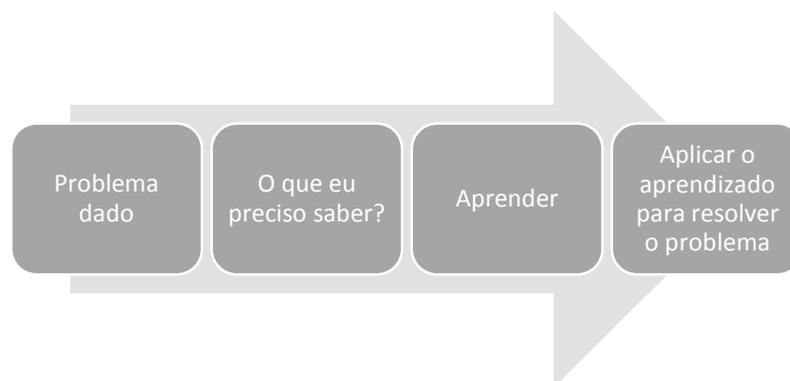


Figura 2.1 - Ensino PBL ilustrado em passos resumidos

2.1.2 Problem-Based Learning

Problem-Based Learning, ou PBL, é uma alternativa ao ensino e aprendizado tradicional, onde a partir de um problema dado, o aluno deve descobrir, buscar e estudar o conteúdo que permitirá resolver este problema (NEWMAN, 2005). PBL é um tipo de *active learning* onde o conhecimento deve ser buscado e não simplesmente recebido.. A Figura 2.1 mostra resumidamente os passos do ensino com PBL, onde é dado um problema para que o aluno busque informações de como resolvê-lo.

O principais aspectos do ensino e aprendizado que o PBL tenta alcançar, segundo (BOUD; FELETTI, 1998) são: resolução de problemas, auto avaliação, retenção de conteúdo, trabalho em grupo e colaboração, criatividade e *self-directed learning* (aprendizado autodidata). Para isso, PBL apresenta as características descritas a seguir (NEWMAN, 2005):

- **Professor como um facilitador:** o professor ajuda no processo cognitivo, orientando as ideias e em raros casos tirando dúvidas do conteúdo. O termo “facilitador” talvez possa indicar equivocadamente um papel passivo no processo de aprendizado, mas na verdade seu nível de intrusão se dá pela maturidade da turma ou dificuldade do problema. O professor deve sempre estimular o processo cognitivo da turma.
- **Organização do processo de aprendizado:** PBL não pretende, primariamente, ensinar a resolver problemas. Os problemas são apenas estopins para o processo principal de aprendizado. Por isso, o processo tradicional de ensino e aprendizado ainda está embutido no PBL, como lista Wolff em oito passos (WOLFF, 2000): explorar o problema, identificar o que o aluno já sabe, identificar o que o aluno precisa saber, identificar tarefas de aprendizado para o grupo, buscar o conhecimento pertinente para a resolução, compartilhar o conhecimento adquirido, aplicar o conhecimento adquirido e refletir sobre o que foi aprendido.
- **O problema como um cenário:** o problema dado em PBL serve para contextualizar o conhecimento estudado, revelar a aplicabilidade da teoria, definir um escopo sobre as informações a serem buscadas e estímulo ao estudo.
- **Grupos pequenos:** o trabalho em grupo e a colaboração também são importantes no PBL para melhorar habilidades no aluno como tolerância e flexibilidade em aceitar outros pontos de vista, relações interpessoais e auto avaliação. Porém trabalhar em grupo também acarreta em conflito, competição não saudável e exclusão. Desta forma, pequenos grupos podem ser melhores gerenciados quanto a essas vantagens e desvantagens.
- **Avaliação em PBL:** a avaliação do desempenho do aluno em PBL pode ser feita em diferentes formas, questões objetivas, observação do aluno durante as aulas, teste tradicional ou auto avaliação, onde o próprio aluno deve dar sua nota final (REEVES; LAFFEY, 1999).

PBL é usado em muitos cursos de graduação, inclusive em Engenharias e cursos de tecnologia, onde na verdade tem maior sucesso devido ao caráter prático dos cursos (GARCIA-

ROBLES et al., 2009; HOSSEINZADEH; HESAMZADEH, 2012; KIM, 2012). O sucesso do método tem sido atestado por muitos autores, (HOMMES et al., 2014; YOON et al., 2014; YU et al., 2014) os quais relatam ganho no aumento da motivação dos alunos, melhoria em habilidades cognitivas e melhor preparo para resolução de problemas na atuação profissional.

Por outro lado, há autores que relatam falhas no modelo puro de PBL (AZER, 2011; KIRSCHNER; SWELLER; CLARK, 2006; SWELLER, 2006) e destacam, em especial, duas desvantagens em usá-lo:

- **Carga cognitiva:** os alunos podem sentir um rigor no processo de resolução de problemas, principalmente quando estão acostumados aos métodos tradicionais de ensino. Além disso, a quantidade de conhecimento que precisa ser adquirida na resolução do problema pode ser um entrave para alunos novos no PBL.
- **Dificuldade de implantação:** é um impacto implantar PBL em um curso acostumado a métodos tradicionais, visto que alunos, professores e diretores precisam conhecer o método. Dessa forma, usar PBL sem preparo inicial pode acabar por piorar o desempenho dos alunos.

Outros métodos de aprendizado semelhantes ao PBL são: *Project-Based Learning* (SCARBROUGH et al., 2004), que espera um produto ou algo tangível como resultado da solução do problema; *Team-Based Learning* (HILLS, 2001), que difere do PBL quanto ao nível de colaboração (maior no TBL) e intrusão do professor (menor no TBL); *Case-Based Learning* (SRINIVASAN et al., 2007) onde os problemas ou casos apresentados podem ter soluções muito mais abrangentes do que no PBL.

2.1.3 Game-Based Learning

Um requisito fundamental para o aprendizado é a motivação. Um estudante motivado consegue superar os desafios mais facilmente (VOS; VAN DER MEIJDEN; DENESSEN, 2011). Uma das formas de manter o aluno motivado é entretê-lo usando jogos, já que está é uma das principais formas de entretenimento atualmente. Pensando nisso, o método de ensino e aprendizado *Game-Based learning*, (GBL) usa jogos, como ferramentas para ensino, em geral jogos digitais. Reformulando ainda a definição, pode-se dizer que jogos digitais são usados para fins educacionais.

GBL é também uma forma de *active learning*, e pode-se dizer que é semelhante ao PBL de modo que os problemas a serem resolvidos estão embutidos em um jogo. O jogo em si,

possui muitas características semelhantes à solução de um problema: múltiplas formas de resolver, resultados inesperados, contextualização, colaboração, desafio, descoberta e satisfação quando o problema é resolvido. Os jogos do GBL podem ensinar de várias formas, como lista (PRENSKY, 2007):

- Pela história contada dentro do jogo: falas dos personagens ou acontecimentos retratados.
- Pelo ambiente retratado dentro do jogo: objetos, cenários e avatares visualizados no jogo.
- Pelas interações dentro do jogo: o modo de jogo pode ensinar, como simuladores de avião que possuem comandos virtuais para operá-lo.

As vantagens do GPL são investigadas discutidas em muitas aplicações acadêmicas (AREVALILLO-HERRÁEZ; MORÁN-GÓMEZ; CLAVER, 2012; CALLAGHAN et al., 2010; COLLIER; SCOTT, 2009; JONG et al., 2013; LARRAZA-MENDILUZE et al., 2013; TERZIDOU et al., 2012; VOS; VAN DER MEIJDEN; DENESSEN, 2011).

Uma importante característica do GBL está em permitir também o aprendizado de habilidades (e não somente de conceitos), devido ao seu caráter interativo. Por isso GBL também tem vasto uso em aplicações profissionais não acadêmicas, em áreas como aviação, médica, militar, etc. Podendo ser para treinamento em algum cenário específico (CHATHAM, 2007; MCDOWELL et al., 2006) ou para execução de tarefas de modo lúdico (KIM et al., 2009; LANGE et al., 2010; LYYTINEN et al., 2007).

A tabela 2.1 apresenta características e vantagens de GBL sobre o ensino tradicional, treinamento tradicional com texto, treinamentos em ambiente real, segundo (KAPP, 2012).

Tabela 2.1 - Comparação entre métodos de ensino tradicional, treinamento tradicional, treinamento em ambiente real e GBL

Característica	Ensino tradicional	Treinamento tradicional (texto, imagens e animações)	Treinamento em ambiente real	GBL
Bom Custo-benefício	X	X		X
Baixo risco de morte	X	X		X
Fácil avaliação de desempenho dos alunos	X	X		X
Motivador			X	X
Ritmo adaptável para cada aluno			X	X
Feedback imediato			X	X
Pequena lacuna entre teoria e prática			X	X
Boa visualização de fenômenos físicos				X
Pouca intrusão do professor				X

Alguns autores também citam desvantagens do uso de GBL (ANNETTA et al., 2009; DEUBEL; DEUBEL, 2006; POHL; RESTER; JUDMAIER, 2009; REYNOLDS; CAPERTON, 2011):

- Dificuldade de adaptação por alunos pouco familiarizados com interação digital.
- O conteúdo lúdico pode ser uma distração.
- Falta de interação interpessoal.
- Os jogos não podem ser facilmente modificados para atender casos específicos.

2.2 Realidade Virtual

Há muitas definições de diferentes autores para Realidade Virtual (RV). Sherman e Craig (SHERMAN; CRAIG, 2002) definem como um meio composto de simulações computacionais interativas e em tempo real, onde o participante que interage, tem a percepção dos seus sentidos substituídas pelo mundo virtual simulado. Burdea define como uma simulação onde um computador provê um mundo virtual realístico e interativo (BURDEA; COIFFET, 2003).

2.2.1 Características

As definições diferem porém as características são as mesmas, onde pode-se destacar os três I's de RV (BURDEA; COIFFET, 2003), imersão, interação e imaginação :

- **Imersão:** percepção do participante em estar dentro do mundo virtual. Esta percepção pode-se dar por qualquer um dos sentidos humanos, mas especialmente pela visão, audição e tato. Quanto mais sentidos são imersos, menos ruídos do mundo se percebe e mais natural é a percepção do mundo virtual.
- **Interação:** o participante realiza ações que influenciam ou se refletem no mundo virtual. Por exemplo, movimentar a cabeça permite alterar o ângulo de visão do mundo virtual. Desse modo, é fundamental que a geração ou renderização do ambiente virtual seja em tempo real, para que o participante perceba uma real consequência das suas ações na cena virtual, embora exista interação também em mídias pré-renderizadas.
- **Imaginação:** refere-se ao modo ou grau que o participante está engajado com a atividade em RV. Um engajamento maior indica que o participante poderá adquirir mais informações do mundo real.

A Figura 2.2 mostra um exemplo de aplicação em RV onde o participante interage com um dispositivo que simula uma arma e recebe imagens do campo de batalha com um óculos de RV enquanto pode-se ver a imagem que ele tem da simulação no monitor.



Figura 2.2 - Soldado treinando técnicas de infantaria em um simulador RV

É importante definir também termos comumente associados à RV e frequentemente usados para identificar algum tipo de aplicação (MERCHANT et al., 2014). As características de Ambiente Virtual, Simulação e Jogo Digital são apresentadas na lista abaixo:

- **Ambiente Virtual:** Para que a percepção de imersão ocorra, o ambiente virtual que o participante está deve parecer com o mundo real em aspectos suficientes. Para isso, o participante deve perceber a profundidade do ambiente virtual de RV possuindo 3 dimensões (3D), assim como o mundo real. O ambiente virtual também deve ser realisticamente modelado para que o participante entenda onde ele está somente olhando para o cenário.
- **Simulação:** simulações em RV são ambientes virtuais interativos onde cenários e comportamentos imitam um ou mais processos ou situações do mundo real. Simulações são usadas para provar resultados ou treinar participantes em ambientes mais econômicos, seguros e controlados que simulações em ambientes reais.
- **Jogo digital:** um jogo é uma categoria especial de simulação, onde o participante possui uma identidade, uma história, objetivos, desafios, conquistas e recompensas. Em jogos para ensino, estas características são ainda mais importantes para que o participante se sinta motivado em jogar, aprender e resolver os problemas.

RV também pode ser diferenciada em imersiva e não-imersiva, ao definir o grau de imersão do participante no ambiente virtual. Realidade Virtual imersiva tenta atingir muitos sentidos humanos com alto grau de intensidade (BURDEA; COIFFET, 2003). Por exemplo, uma aplicação com som, óculos estereoscópico (“Rift”, 2015) e feedback háptico (ROBLES-DE-LA-TORRE, 2006) deixa o participante ainda mais inserido no mundo virtual que se quer retratar ao alcançar o sentido da visão, audição e do tato. Para alcançar um alto grau de imersão, equipamentos computacionais especializados são utilizados para melhorar a fidelidade retratada aos sentidos, a exemplo dos sistemas de som 3D, óculos estereoscópicos como o *Oculus Rift*, luvas para interação, como a *Dexmo* (“Dexta Robotics”, 2015) ou salas de imersão como as CAVE’S (CRUZ-NEIRA et al., 1992). Assim, RV imersiva acaba por ser custosa em relação à não-imersiva, exatamente pelo uso de equipamentos não convencionais e até mesmo pelo custo de desenvolvimento de softwares mais imersivos (CAMPORESI; KALLMANN, 2013). Outra desvantagem é o desconforto físico e psicológico relatado pelos usuários de RV imersiva, que podem sentir stress ergonômico, lesão por repetição de movimento, tontura, alucinação e desorientação (MERCHANT et al., 2014). É claro que a imersão representa um potencial aumento na interação e representação do ambiente virtual, o que pode representar também um aumento no aprendizado dos participantes.

RV não-imersiva refere-se à aplicações com baixa intensidade de imersão no ambiente virtual. Em geral, essas aplicações usam dispositivos convencionais para estímulos dos sentidos, como monitores comuns e caixas de som estéreo. A interação com a cena também é feita de forma convencional, geralmente usando mouse, teclado, *joystick* ou toque. RV não-imersiva é chamada de RV Desktop quando usa dispositivos convencionais e é executada em um computador de propósito geral como um computador pessoal. O baixo custo dos equipamentos e maior facilidade para o desenvolvimento das aplicações, compensa a baixa imersão deste tipo de RV (MERCHANT et al., 2012).

As características de RV se alinham às necessidades típicas do ensino e aprendizado em engenharia (JONG; LINN; ZACHARIA, 2013): segurança do ambiente virtual; custos menores em relação a experimentos reais; fenômenos muito rápidos ou microscópicos, impossíveis de se ver no ambiente real, podem ser visualizados no ambiente virtual. Segundo (ABULRUB; ATTRIDGE; WILLIAMS, 2011), Realidade Virtual pode melhorar o ensino e treinamento em Engenharia nos seguintes aspectos:

- Diminuição de custos e otimização de recursos em equipamentos;

- Reduzir o risco do manuseio de materiais e procedimentos perigosos;
- Oportunidade de acesso a locais inacessíveis ou restritos;
- Oportunidade de acesso a alunos com necessidades especiais;
- Aumento de motivação e atitude para aprender mais
- Permite a exploração e experimentação livre dos ambientes e equipamentos virtuais

2.2.2 Realidade Aumentada

Enquanto RV substitui o ambiente real por um virtual, a Realidade Aumentada (RA) é a combinação visual do ambiente real com elementos virtuais (FEINER; MACINTYRE; SELIGMANN, 1993). Geralmente usa-se um visor semitransparente para permitir a sobreposição da imagem real com a imagem virtual. A Figura 2.3 mostra o *Microsoft HoloLens* (“Microsoft HoloLens”, 2015) em uso, onde o participante interage com um elemento virtual sobreposto à imagem do ambiente real. Também pode ser visualizada em uma tela comum, onde as imagens apresentadas são resultado das imagens de uma câmera com a adição de elementos virtuais.



Figura 2.3 - Uso do Microsoft HoloLens para manutenção virtual de uma moto

2.3 Engenharia Elétrica

Engenharia Elétrica lida com a geração, a transmissão, o transporte e a distribuição da energia elétrica. O engenheiro eletricitista planeja, supervisiona e executa projetos nas áreas de eletrotécnica, relacionadas à potência da energia. Ele está habilitado a construir e a aplicar sistemas de automação e controle em linhas de produção industrial, no desenvolvimento de componentes eletroeletrônicos, na operação e manutenção de equipamentos em hospitais e clínicas e em projetos de instalações elétricas em indústrias, comércios e residências. Também

participa do projeto e da construção de usinas hidrelétricas, termelétricas e nucleares. Além das concessionárias de energia, o profissional com essa graduação pode trabalhar em empresas de telecomunicações (desde fábricas de celulares até operadoras de sistemas de comunicação), indústrias de equipamentos, automação, fábricas de motores e geradores, consultorias ou em empresas prestadoras de serviços em computação (“ENGENHARIA ELÉTRICA”, 2015).

2.3.1 Curso acadêmico

Engenharia Elétrica é a área da engenharia que trata da geração, transmissão e distribuição de energia elétrica em qualquer escala. O curso de engenharia elétrica é considerado difícil por envolver matemática e física avançadas. Dados coletados entre 1999 e 2009 no curso de graduação da UFRGS, indicam evasão de 49% dos alunos por ano (LODER, 2009). Dentre os motivos específicos para essa evasão são relatados por professores e alunos, falta de infraestrutura no curso, dificuldade das disciplinas, falta de preparo para o mercado de trabalho e despreparo didático dos professores (BARBOSA; MEZZOMO; LODER, 2011).

Algumas disciplinas do curso de graduação são relacionadas abaixo e citadas principalmente pelo seu caráter prático e por oportunidades didáticas de experimentos em laboratório:

- **Conversão de Energia:** estuda a transformação de energia elétrica e equipamentos relacionados como transformadores e autotransformadores.
- **Distribuição de Energia:** estuda conceitos associados a sistemas de distribuição, além de subestações e redes de distribuição e introdução a operações nestes sistemas.
- **Geração de Energia Elétrica:** estuda características e equipamentos componentes de um sistema gerador, como turbinas e reguladores de velocidade. Estuda operações simples como regulação de tensão e potência.
- **Instalações Elétricas:** Estuda instalações de alta tensão, componentes e proteções nestas instalações, como proteção contra sobrecarga e curto-circuito.
- **Máquinas Elétricas:** Estudo de máquinas rotativas, considerações tecnológicas e de fabricação sobre elas.
- **Proteção de Sistemas de Energia:** Estudo de falhas e proteções a sistemas e equipamentos elétricos. Operação e instalação de relés de proteção.
- **Sistemas de Energia Elétrica:** Estudo do sistema elétrico brasileiro. Análise do sistema desde a geração, transformação, distribuição e carga.

2.3.2 Carreira profissional

O profissional engenheiro eletricitista pode trabalhar em áreas como a geração e abastecimento de energia elétrica, telecomunicações e indústria eletroeletrônica. As indústrias dos mais variados ramos necessitam deste profissional, sejam elas têxteis, mecânicas, metalúrgicas, siderúrgicas ou automobilísticas.

A natureza da profissão e o ramo de trabalho escolhido exigem do profissional habilidades de analisar e solucionar problemas concretos, elaborar projetos e propor soluções técnicas economicamente competitivas, além de coordenar, planejar, operar e manter sistemas na área de Engenharia Elétrica. Deve ser capaz de absorver novas tecnologias, de comunicação e liderança para trabalho em equipes multidisciplinares.

Como conclui (LODER, 2009), é imprescindível que o aluno tenha formas de conhecer a prática do curso, conhecer problemas e ser instigado a resolvê-los para que, na profissão, ele seja capaz de tomar as ações corretas. O treinamento pós-acadêmico é também fundamental, visto que o aspecto multidisciplinar de qualquer engenharia exige, muitas vezes, treinamento específico na área profissional escolhida.

O treinamento dos profissionais em operações na indústria pode se dar na operação remota dos equipamentos usando interfaces de computador, por relés de controle e proteção ou mesmo atuando localmente nos equipamentos envolvidos (OZANNE, 2011).

2.3.3 Equipamentos elétricos: Transformadores

Transformadores são equipamentos usados para transmissão e distribuição de energia elétrica responsáveis pela alteração de valores de tensão, corrente e impedância. Um transformador é formado por dois ou mais enrolamentos ao longo de um núcleo, como mostrado na Figura 2.4. Quando os enrolamentos são fisicamente conectados em série, o transformador é chamado de autotransformador, equipamento muito comum em sistemas elétricos.

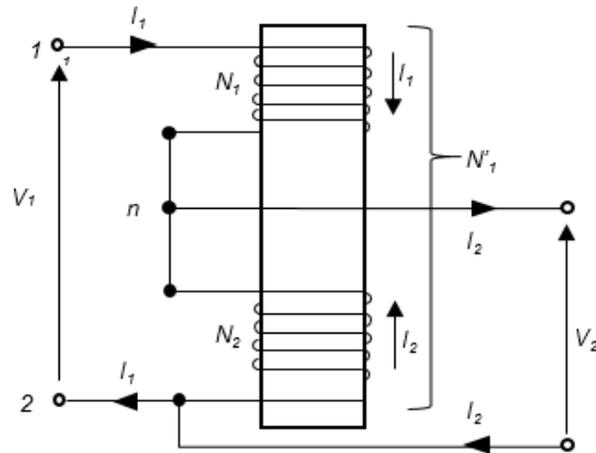


Figura 2.4 - Esquema do autotransformador com os enrolamentos conectados em série

Este enrolamento é coletado em vários pontos para fornecer uma porcentagem da tensão do primário (V_1) no enrolamento secundário (V_2). Transformadores podem diferir quanto ao número de enrolamentos (dois ou mais), tipos de núcleos (ar ou ferromagnético), propósito (transformação de corrente ou tensão), aplicação (transmissão ou distribuição) e número de fases.

Uma forma de regular o valor de tensão na saída do transformador é usar o comutador de *tap*, que atua alterando a relação de espiras que compreendem os enrolamentos do transformador. A relação entre (V_1, V_2) e a corrente (I_1, I_2) no autotransformador com enrolamentos (N_1, N_2) é mostrada em (1) e (2), respectivamente, de acordo com a Figura 2.4.

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1 + N_2}{N_2} \quad (1)$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1 + N_2} \quad (2)$$

Nos autotransformadores, parte da energia disponível no secundário é transmitida eletromagneticamente, o restante é transferido eletricamente do primário ao secundário pela conexão física entre eles, diferentemente de transformadores convencionais onde toda energia é transferida do primário para o secundário na forma eletromagnética.

Transformadores e autotransformadores tem princípios de operação similares. A diferença básica está exatamente na conexão física entre os enrolamentos de um autotransformador, enquanto em um transformador convencional, estes enrolamentos estão separados. Por essa razão, uma redução no custo, tamanho e peso aliados a uma maior

eficiência, são, em geral, vantagens de um autotransformador. A penalidade é exatamente a falta de isolamento entre os enrolamentos, exigindo precauções extras quanto a curto-circuito e abertura de circuitos (CHAPMAN, 2001).

Para distribuição e transmissão, sistemas elétricos usam transformadores usualmente em esquemas monofásicos ou trifásicos, em corrente alternada. Comumente, eles operam em carga variável e condições de manutenção variáveis, podendo até mesmo apresentar defeitos internos. Essas condições afetam a temperatura dos equipamentos que necessitam de monitoramento contínuo.

2.3.4 Instalações elétricas: Subestações

Uma subestação elétrica é uma instalação ou conjunto de equipamentos que faz parte de um sistema maior composto de geração, transmissão e distribuição. Podem existir muitas subestações entre a geração e o consumo da energia. Isso por que uma subestação pode ter funções de transformação de tensão, distribuição para clientes de menor demanda, ou coleta de diferentes pontos de geração, proteção da rede de distribuição e chaveamento entre linhas de transmissão (MCDONALD, 2007).

Os principais componentes de uma subestação de médio e grande porte estão listados abaixo e três desses equipamentos são mostrados na Figura 2.5, transformadores, disjuntores e seccionadoras.

- **Transformadores:** transformadores de força, de corrente, de potencial, que possibilitam a transformação da tensão para transmissão em grandes distâncias e redução dos valores de tensão e corrente para utilização nos equipamentos da própria subestação.
- **Disjuntores:** permitem o isolamento de equipamentos e trechos da linha de transmissão. São rápidos o bastante para serem operados (abrir ou fechar) com carga e alta tensão.
- **Seccionadoras:** Também tem a função de isolamento mas não devem ser operadas com carga por terem uma atuação lenta.
- **Para-Raios:** protege os equipamentos contra descargas atmosféricas ou mesmo surtos durante operações.

- **Relés de proteção:** equipamentos de proteção que detectam falhas em pontos da subestação ao perceber variações da indução magnética. Os relés podem ser programados para tomar ações quando detectam falhas.
- **Fusíveis:** equipamentos de proteção contra curto-circuito
- **Equipamentos de medição:** instrumentos para medição de grandezas como corrente, tensão e frequência.

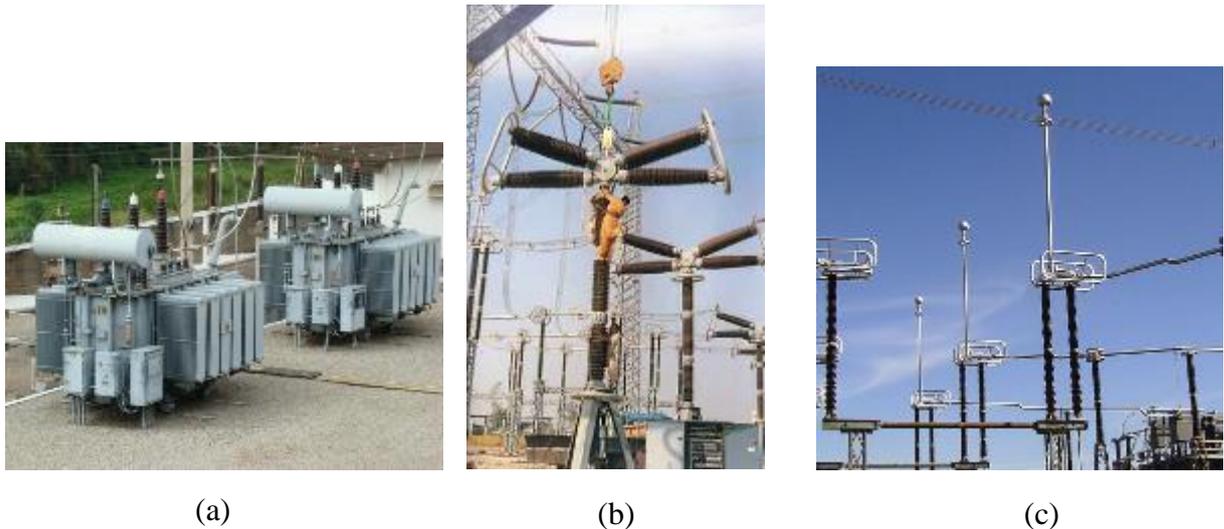


Figura 2.5 - Equipamentos de uma subestação. (a) Transformadores. (b) Disjuntores. (c) Seccionadoras

A subestação de Vila do Conde no Brasil, é a maior subestação de transmissão do estado do Pará, interligando a Usina Hidrelétrica de Tucuruí a outras subestações ao longo da linha de transmissão. Esta subestação possui, entre outros equipamentos, autotransformadores, disjuntores, relés e dispositivos de monitoramento remoto. A Figura 2.6 apresenta uma imagem da subestação de Vila do Conde



Figura 2.6 - Subestação de Vila do Conde

Equipamentos caros e importantes para permanência do serviço exigem esquemas de proteção avançados. Muitas operações para proteção são tomadas automaticamente pelos relés, para-raios e fusíveis, mas há também operações de proteção tomadas por operadores, quando detectam eventos anormais na subestação ou na rede à qual está ligada. Alguns exemplos dessas proteções são proteções de sobre corrente, proteções de sobre temperatura e proteções de curto-circuito. Do ponto de vista educativo de treinamento, conhecer os equipamentos e suas operações e manutenções são importantíssimos também para segurança dos profissionais e continuidade do funcionamento da subestação.

2.3.5 Equipamentos elétricos: Hidrogeradores

A conversão de energia mecânica em energia elétrica ocorre mediada pela Lei de Faraday, a qual diz que um circuito sob efeito de um campo magnético variável no tempo produz corrente elétrica, ou ainda se um circuito está em movimento sob efeito de um campo magnético fixo.

Uma forma de se conseguir a energia mecânica para conversão é aproveitar a energia cinética da água. As chamadas turbinas hidrogeradoras agem exatamente aproveitando o escoamento de água para girar uma turbina e gerar energia elétrica. A água entra pela tomada de água a nível montante de uma barragem que está em um nível mais elevado e é transportada através de um conduto até a entrada da turbina. Então, a água passa por um sistema de palhetas guias móveis que controlam a vazão volumétrica fornecida à turbina. Para aumentar a potência, as palhetas se abrem; para diminuir, elas se fecham. Após passar por este mecanismo a água chega ao rotor da turbina. A rigor, a energia hidráulica é convertida para mecânica quando rotaciona o rotor, que por sua vez é convertida em energia elétrica.

A Figura 2.7, disponível em (“Usina Hidrelétrica”, 2015), mostra um desenho esquemático de uma turbina com rotor do tipo Francis, com suas principais partes descritas a seguir:

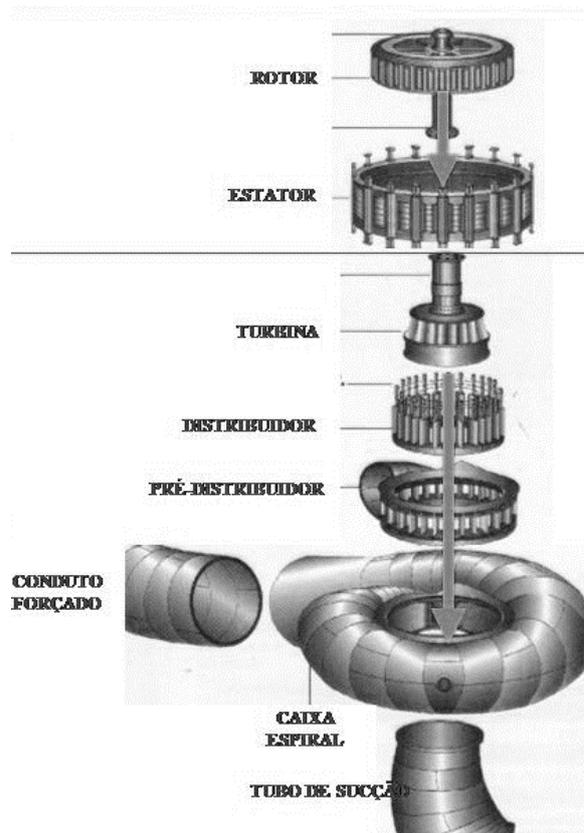


Figura 2.7 - Esquema de uma turbina hidrogeradora.

- **Conduto Forçado:** conduto que leva a água que entra pela tomada a nível montante da usina hidrelétrica até a entrada da turbina.
- **Caixa Espiral:** É uma tubulação de forma toroidal que envolve a região do rotor com objetivo de distribuir a água igualmente na entrada da turbina.
- **Tubo de sucção:** um duto que conduz a água que já passou pelo rotor da turbina até a jusante do rio, no nível mais baixo.
- **Pré-Distribuidor:** a água que rodeia a caixa espiral é conduzida até o distribuidor pelo pré-distribuidor.
- **Distribuidor:** O distribuidor é o equipamento que permite variar a descarga de água para o rotor, dando potência ao eixo da turbina no valor que corresponde à energia elétrica demandada. É constituído por um conjunto de palhetas diretrizes móveis dispostas ao redor do rotor, as quais giram simultaneamente com o mesmo ângulo, possibilitando a passagem da descarga requerida ou interrompendo a quando necessário.

- **Rotor da turbina:** opera-se a transformação da energia hidráulica em energia mecânica sob a forma de um conjugado de forças que, aplicado às pás, transfere rotação ao rotor da turbina e ao eixo, para então girar o rotor do gerador.
- **Rotor do gerador:** este rotor se conecta ao rotor da turbina e portanto gira na mesma velocidade. Funciona como um eletroímã que quando gira provoca uma variação do campo magnético entre ele e o estator, gerando corrente elétrica.
- **Estator:** conjunto de bobinas onde a corrente é induzida quando o rotor do gerador gira.

A potência gerada por uma turbina hidrogeradora pode ser dada por:

$$P = h * \phi * \eta$$

Onde P é a potência gerada, h é a altura da queda de água até o rotor, ϕ é a vazão da água na entrada da turbina e η é a eficiência de conversão da energia hidráulica em energia elétrica, comumente em torno de 90% (PAMPLONA, 2006).

Usinas hidrelétricas possuem um conjunto de turbinas hidrogeradoras aproveitando uma barragem de água, A Usina Hidrelétrica (UHE) de Tucuruí, situada no estado do Pará, Brasil, possui vinte e três turbinas totalizando 8370 MW de potência.

2.4 Ferramentas de Autoria

Uma ferramenta ou sistema de autoria é um software com elementos pré-programados para criação de outros elementos funcionais. Um sistema de autoria permite a criação de conteúdo sem necessidade de habilidades ou conhecimentos de programação, pois a programação está embutida e escondida em ferramentas já prontas dentro do sistema. Um exemplo de sistema de autoria é o Microsoft PowerPoint, para criação de apresentações multimídia (“Microsoft PowerPoint | Slide Presentation Software”, 2015).

Alguns sistemas de autoria podem permitir programação com uma linguagem de autoria que é uma linguagem de programação usada para criar conteúdo mais detalhado ou estender as funcionalidades do sistema de autoria.

As principais vantagens de um sistema de autoria, segundo (MURRAY, 1999), são:

- **Diminuir o esforço para criação de conteúdo economizando tempo, custo e recursos:** o tempo de produção de um conteúdo multimídia pode ser reduzido para até 1/8 do tempo de programação do mesmo conteúdo (MURRAY, 1999).
- **Diminuir a exigência de habilidades de programação:** não é necessário saber programar o conteúdo, basta aprender a usar o sistema de autoria.
- **O próprio idealizador pode ser o autor:** o conteúdo pode ser criado por aquele que o idealiza. Por exemplo, um professor de história, sem habilidades de programação de computadores, é quem cria a apresentação das suas aulas.
- **Mudanças no conteúdo não precisam de reprogramação:** alterações no conteúdo, exportar e importar conteúdo, desfazer e refazer, são algumas das facilidades que um sistema de autoria pode ter em relação à programação do conteúdo.

Um sistema de autoria tem um escopo definido por conteúdo. Por exemplo, um sistema de autoria para criação de apresentações, outro sistema de autoria para criação websites, outro para criação animações em 3D. Isto acontece porque as funções de criação de conteúdo embutidas já devem estar programadas no sistema de autoria e portanto, desenvolver um sistema de autoria que produza qualquer conteúdo seria um trabalho considerável. Essa característica é uma desvantagem em relação à programação em baixo nível, a qual pode ser usada para criar qualquer conteúdo.

CAPÍTULO 3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Realidade Virtual pode ser um recurso didático barato e com vantagens interessantes para ensino, simulação e treinamento em Engenharias inclusive Engenharia Elétrica (ABULRUB; ATTRIDGE; WILLIAMS, 2011). Muitos trabalhos têm aplicado RV com sucesso em experimentos, com ambientes e equipamentos específicos. Desta forma, para analisar os resultados destes trabalhos, verificando suas metodologias de aplicação e eventuais peculiaridades, se faz necessário uma metodologia bem definida de revisão bibliográfica para evitar um resultado incompleto.

3.1 Revisão Sistemática

Uma revisão sistemática é uma revisão orientada por um protocolo que sintetiza estudos concentrando-se em um tema ou questões chave dadas (RUSSELL et al., 2009). A intenção é identificar mais facilmente, temas mais estudados, desafios, lacunas, metodologias, ferramentas, técnicas e resultados relevantes ao tema abordado, e principalmente destacar a relevância do *framework* apresentado nesta tese frente ao estado da arte. Para a revisão feita neste trabalho, foi usado o guia de revisão sistemática de Kitchenham (KITCHENHAM, 2004) com adaptações e simplificações. A Figura 3.1 apresenta o fluxo das atividades da revisão utilizada neste trabalho.

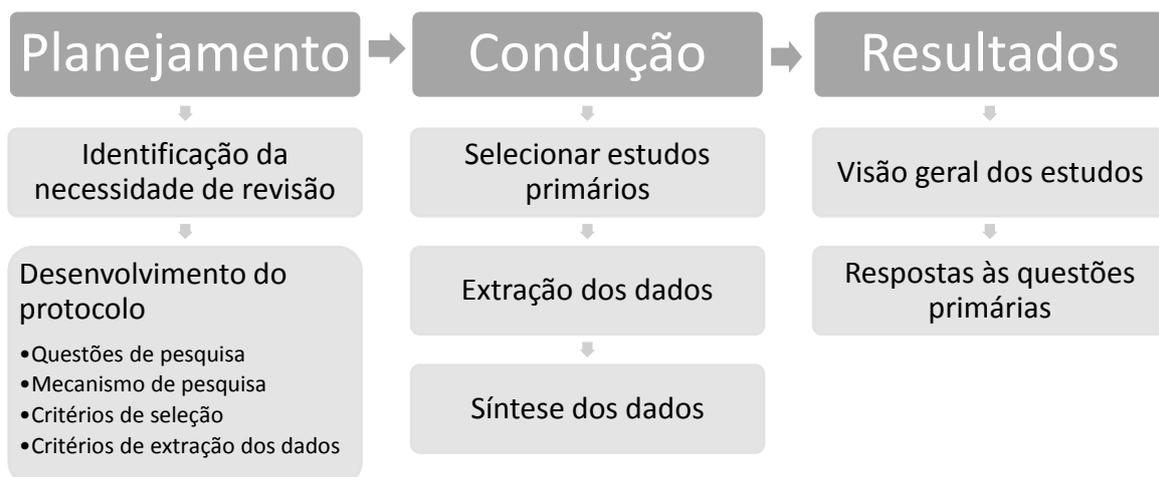


Figura 3.1 - Protocolo da revisão sistemática adaptada de Kitchenham, (2004)

3.2 Atividade: Planejamento

Compreende as atividades de Identificação da necessidade de revisão e Desenvolvimento do Protocolo de Revisão.

3.2.1 Identificação da necessidade de revisão

Realidade Virtual é muito aplicada em ensino, aprendizado e treinamento em Engenharia. Desta forma, reunir e revisar trabalhos na área servem de arcabouço para a prova da hipótese e ratificam a relevância deste trabalho.

3.2.2 Desenvolvimento do protocolo

As atividades executadas no desenvolvimento do protocolo de revisão sistemática deste trabalho estão descritas a seguir:

1. **Questões de Pesquisa** – Estas questões deverão guiar a leitura dos artigos e deverão ser respondidas ao final da revisão

Questão principal: Qual o Estado da Arte no ensino usando RV para Engenharia Elétrica?

Questão Secundária 1 (QS1): Quais áreas da Engenharia Elétrica estão sendo pesquisadas neste tema?

Questão Secundária 2 (QS2): Quais as intenções primárias do uso de RV nestes trabalhos?

Questão Secundária 3 (QS3): Quais as técnicas, ferramentas e equipamentos usados nos experimentos?

Questão Secundária 4 (QS4): Quais as metodologias e estilos de ensino utilizados nos trabalhos?

Questão Secundária 5 (QS5): Como são medidos os efeitos e resultados de cada trabalho?

Questão Secundária 6 (QS6): Quais as formas de desenvolvimento dos experimentos (ferramentas de autoria, programação, aquisição, etc.)?

2. **Mecanismo de Pesquisa** – As palavras usadas na busca de trabalhos foram: “*Virtual Reality*”, “*Augmented Reality*”, “*Game*”, “*Electrical Engineering*”. Para melhorar os resultados da busca a lógica de combinação entre as palavras foi: (“*virtual reality*” OR “*augmented reality*” OR “*game*”) AND (“*electrical engineering*”). A busca procurou qualquer parte do trabalho que contivesse as palavras usando as ferramentas dos indexadores de trabalhos científicos on-line *Science Direct*¹, *ACM Digital Library*² e *IEEEExplore*³.
3. **Critérios de seleção:** Para ajudar na busca de trabalhos novos, relevantes e mais alinhados com o tema, alguns filtros foram estabelecidos com a ajuda dos mecanismos de busca. Desta forma, somente trabalhos publicados em periódicos ou revistas desde o ano de 2006 até 2015, entraram na busca. Muito embora uma busca sem alguns filtros também tenha sido feita para evitar exclusões ou inclusões equivocadas.
4. **Critérios de Extração dos dados:** Após a busca pelos indexadores, uma verificação rápida de cada trabalho é efetuada com a leitura do título e resumo de cada um, a fim de evitar falsos positivos. A partir daí, os trabalhos restantes são catalogados com a extração dos dados principais, a saber, título, ano da publicação, autores, país, palavras chave, proposta, observações, área de concentração, ferramentas, metodologia, análise dos resultados, trabalhos futuros e conclusões.

3.3 Condução

A condução da revisão levou três meses, sendo feita a primeira coleta de informações em dezembro de 2013 e uma coleta para atualização dos trabalhos em fevereiro de 2015.

3.3.1 Selecionar estudos primários

Foram obtidos 156 resultados do *Science Direct*, 323 do *ACM Digital Library* e 255 do *IEEEExplore*. Após a leitura dos títulos e resumos de cada trabalho, foram retirados estudos repetidos, temas não alinhados, estudos sem ocorrência de ensino, aprendizado ou treinamento, estudos em áreas não relacionadas a Engenharia ou Engenharia Elétrica, estudos que não usam RV, RA, ou *game* e *editorial boards*, então 51 estudos passaram para a extração dos dados,

¹ Science Direct - <http://www.sciencedirect.com/>

² ACM Digital Library - <http://dl.acm.org/>

³ IEEEExplore - <http://ieeexplore.ieee.org>

sendo 11 do *Science Direct*, 11 do *ACM Digital Library* e 29 do *IEEEExplore*. Destes artigos selecionados, 17 foram publicados em periódicos e 34 em conferências.

3.3.2 Extração dos dados

A extração dos dados se deu pela leitura dos trabalhos selecionados e preenchimento de um formulário para posterior apresentação. Os dados que foram preenchidos neste formulário foram: autores, ano de publicação, país da pesquisa, área da engenharia elétrica alcançada pela pesquisa, propósito principal da pesquisa, campo de atuação do trabalho (ensino ou treinamento), técnicas, ferramentas e equipamentos utilizados, metodologias de ensino, como foi desenvolvido (sistema de autoria, codificação, motor gráfico) e como os efeitos dos resultados foram avaliados.

3.3.3 Síntese dos dados

Esta etapa consiste em arrumar os dados extraídos para apresentação final, onde são feitas análises estatísticas, produção de gráficos, seleção de resultados importantes e relevantes para esta tese e identificação de vantagens, desvantagens e desafios comuns nos trabalhos relacionados.

3.4 Resultados

Esta seção apresenta os resultados de forma geral, responde às questões principal e secundárias e discute os trabalhos relacionados identificando avanços, lacunas e desafios em geral.

3.4.1 Visão geral dos estudos

A leitura dos 51 artigos selecionados, possibilitou também uma análise panorâmica dos estudos em RV e ensino em Engenharia Elétrica. O gráfico da Figura 3.2 apresenta o número de publicações por ano, entre 2006 até 2014. Mais publicações ocorreram em 2010 e 2013, enquanto nenhuma publicação havia sido consolidada até fevereiro de 2015, apesar da consulta de publicações ter abrangido o ano de 2015.



Figura 3.2 - Publicações sobre RV e educação em Engenharia Elétrica

Pode-se perceber que as publicações são recentes, tendo em vista o grande número de publicações nos últimos 5 anos. Vale ressaltar que pesquisas em educação em geral são demoradas, já que a implantação da metodologia se dá nas disciplinas das universidades, que duram no mínimo 6 meses.

A maioria das conferências e periódicos dessas publicações envolvem tanto disciplinas de educação como Engenharia Elétrica, a exemplo do periódico *IEEE Transactions on Education*. Porém há também conferências que relacionam especificamente Realidade Virtual e Realidade Aumentada, a exemplo da SIGGRAPH e SVR.

Os países onde a pesquisa foi realizada estão contabilizados na Figura 3.3. Ressalta-se que não é considerado o país onde ocorreu a conferência ou o país de origem do periódico, mas sim o país onde os pesquisadores desenvolveram e aplicaram seus trabalhos. Desta forma, destacam-se China e Brasil com 11 e 9 publicações, respectivamente.

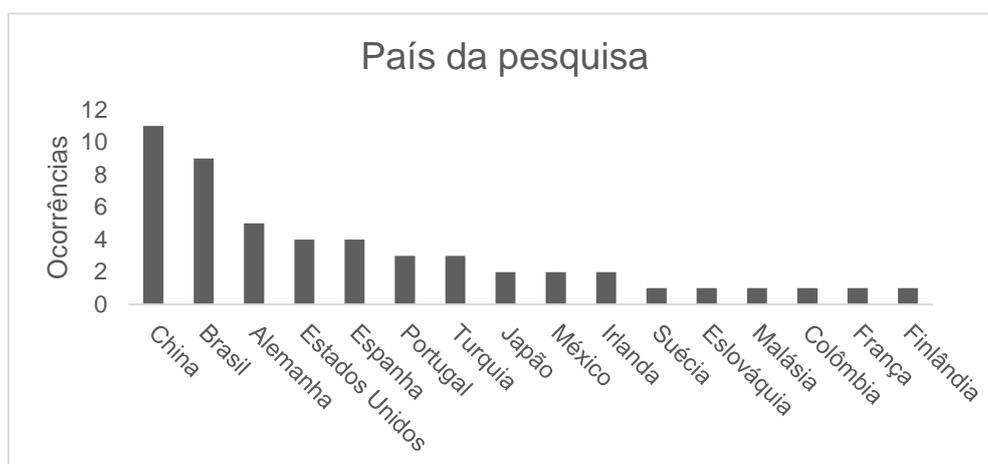


Figura 3.3 - Publicações por país relacionadas a Realidade Virtual e Engenharia Elétrica entre 2006 e 2014

A leitura dos artigos possibilitou extrair a área da Engenharia Elétrica em que o trabalho mais atua. Sendo que mesmo as áreas que tem grande abrangência como distribuição, que engloba transformadores, relés e linhas de distribuição, ou manutenção, que engloba qualquer equipamento, estão contabilizadas como uma só área cada uma. Assim, a Figura 3.4 apresenta a distribuição de publicações por área, onde destacam-se as áreas de Distribuição e Geração de Energia Elétrica, com 14 e 8 publicações respectivamente.

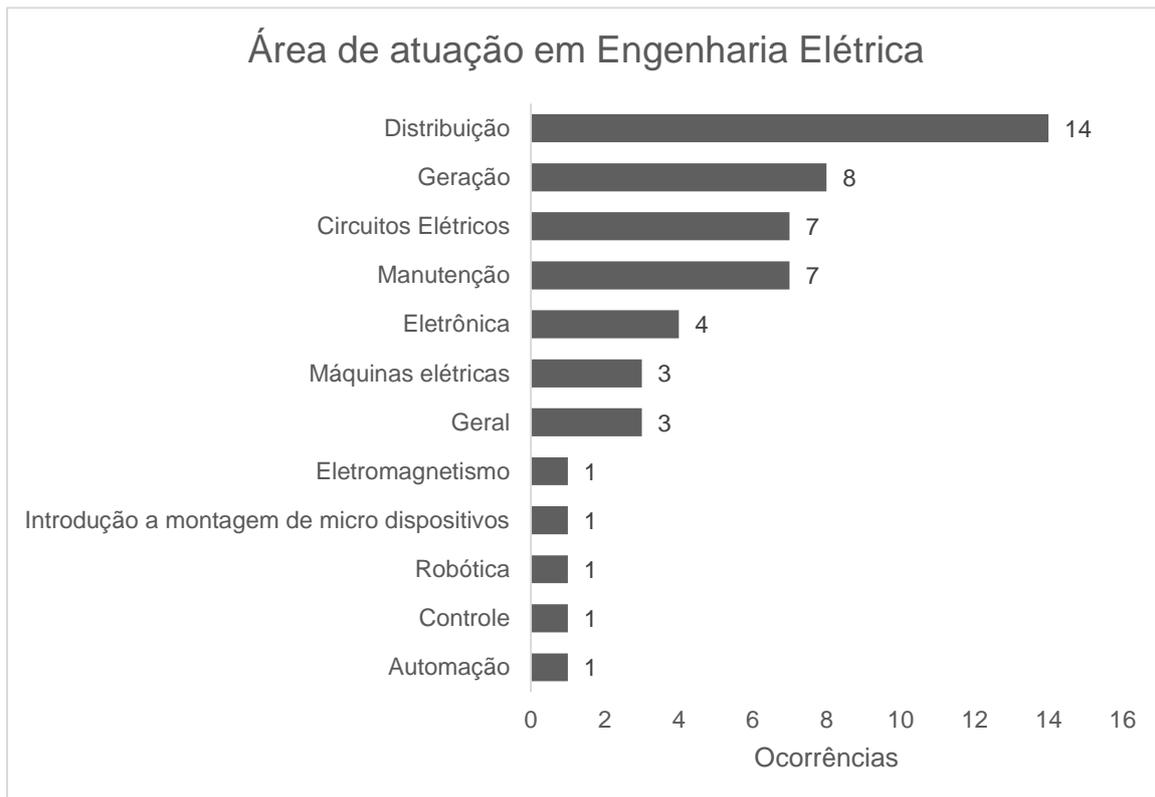


Figura 3.4 - Publicações em Realidade Virtual considerando a área de atuação em Engenharia Elétrica

As publicações que tem como propósito atuar nos campos de educação em Ensino ou Treinamento, são mostradas na Figura 3.5. Quando um trabalho alcança tanto ensino como treinamento ele é contabilizado somente com valor “Ambos”. Pode ser visto que dos 51 trabalhos selecionados, somente 7 alcançaram ambas as áreas de atuação relacionadas.

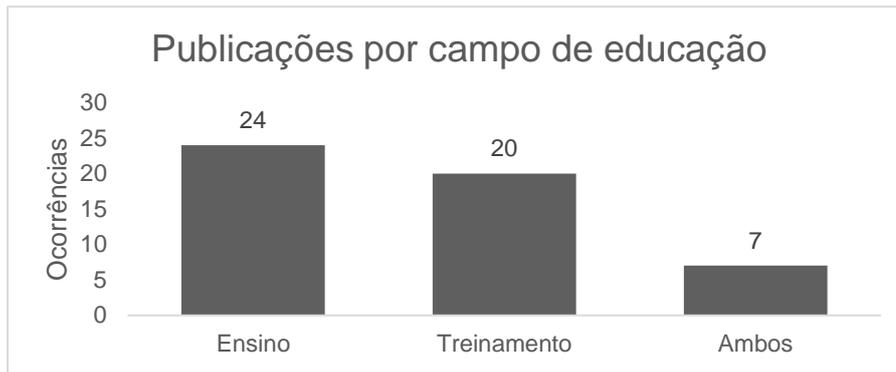


Figura 3.5 - Publicações por campo da educação

A forma como os trabalhos foram inseridos no ambiente acadêmico ou de treinamento também foram extraídas. Estas formas ou metodologias foram declaradas explicitamente nos textos das publicações ou inferidas da leitura completa de cada trabalho. **Error! Reference source not found.** apresenta esta distribuição de metodologias nos 51 artigos selecionados. Quando o propósito do trabalho era ajudar passivamente os alunos, sem substituir ou suprir alguma lacuna de ensino da pesquisa, ou mesmo quando o trabalho não era parte fundamental da metodologia de ensino proposta, ele foi classificado como “Auxílio”. Por outro lado, se o trabalho tinha a proposta de ajudar ativamente o aluno, dando meios de auto avaliação e apresentação concomitante ao conhecimento teórico envolvido nos experimentos, este trabalho era classificado com o estilo *Self-Learning*, o qual foi observado em 29 trabalhos.

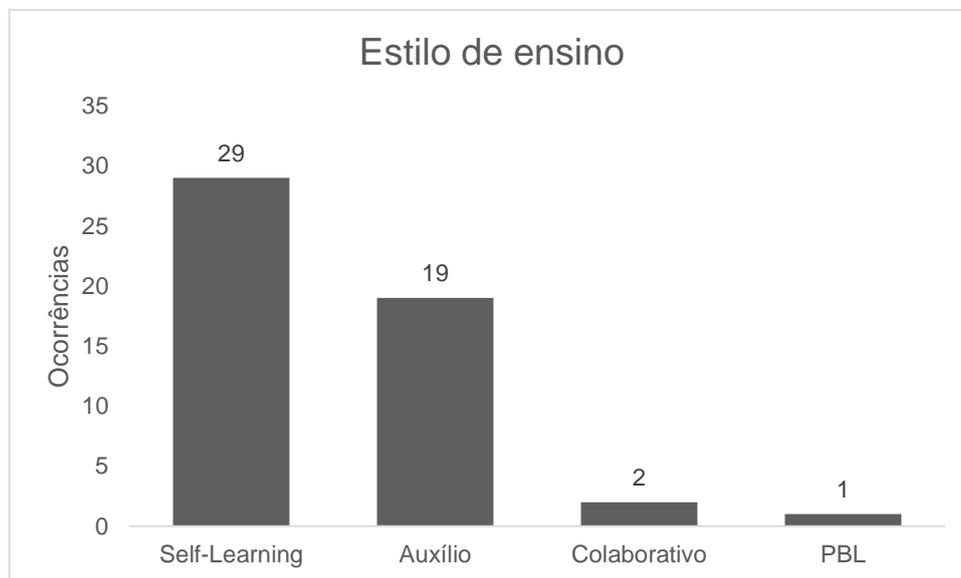


Figura 3.6 - Metodologia de ensino por publicação em trabalhos envolvendo ensino em Engenharia Elétrica e Realidade Virtual

A Figura 3.7 mostra o número de trabalhos por aplicação de Realidade Virtual, onde a grande maioria dos trabalhos se deu em RV não relacionado a *game*. Não foram consideradas as diferenças de imersão nas aplicações, de modo que tanto uma aplicação em RV Desktop quanto uma aplicação usando CAVE foram consideradas como RV, visto que em muitos casos não seria possível aferir com precisão, o nível de imersão das aplicações. A categoria RA foi considerada mesmo para os trabalhos que usavam a nomenclatura da categoria mais acima, chamada de Realidade Misturada.

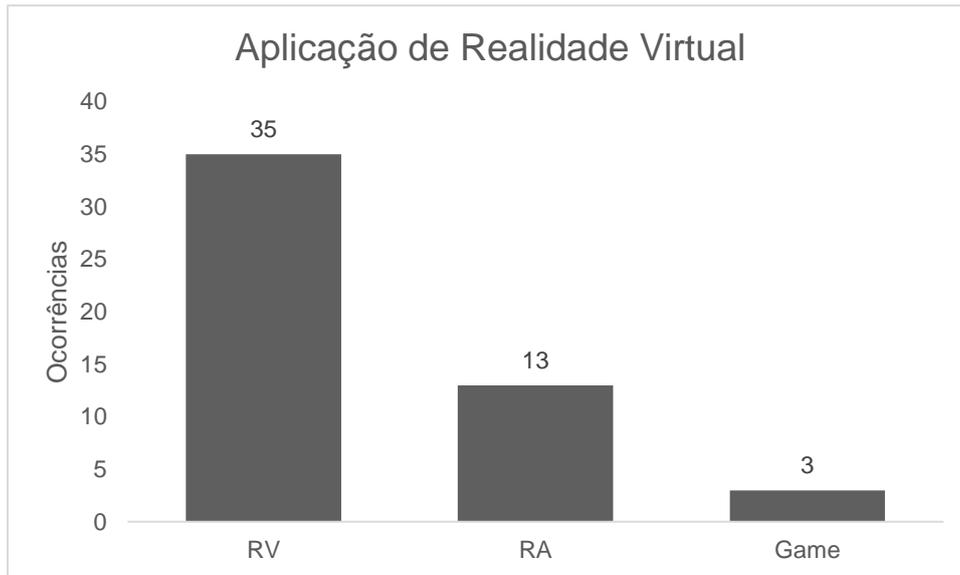


Figura 3.7 - Aplicações de RV por publicação em trabalhos envolvendo ensino em Engenharia Elétrica

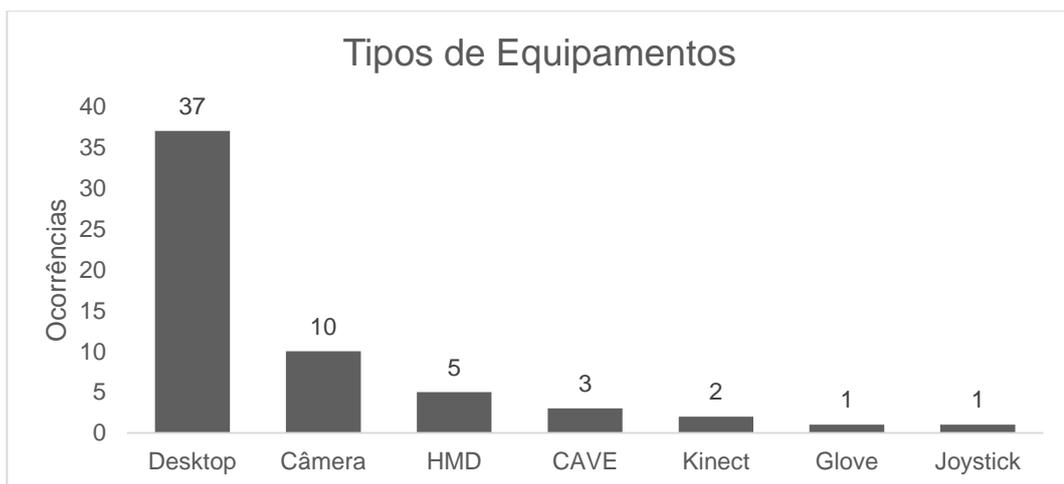


Figura 3.8 - Equipamentos usados nos experimentos por publicação envolvendo ensino em Engenharia Elétrica e Realidade Virtual

Os equipamentos voltados a RV usados nos experimentos dos trabalhos foram contabilizados e são mostrados na Figura 3.8. Um mesmo trabalho pode envolver mais de um

tipo de equipamento, portanto ele é contabilizado para todos os tipos usados. O tipo Desktop, quando usa equipamentos convencionais como mouse e teclado para interação, foi a maior ocorrência nestes trabalhos. O equipamento Câmera, com 10 ocorrências, é comumente usado em aplicações envolvendo Realidade Aumentada, sendo que não foi levado em conta o dispositivo que fornece a câmera (celular, *tablet*, etc.). O equipamento Kinect (“Microsoft Kinect”, 2015), com 2 ocorrências, é um dispositivo de reconhecimento de movimentos corporais humanos.

A Figura 3.9 mostra o número de trabalhos desenvolvidos por programação, seja usando uma *engine* ou não, e o número de trabalhos desenvolvidos usando uma ferramenta de autoria. Pode-se perceber que a grande maioria (47 trabalhos), foram desenvolvidos usando programação. Esta disparidade é analisada mais profundamente na Seção 3.4.2.

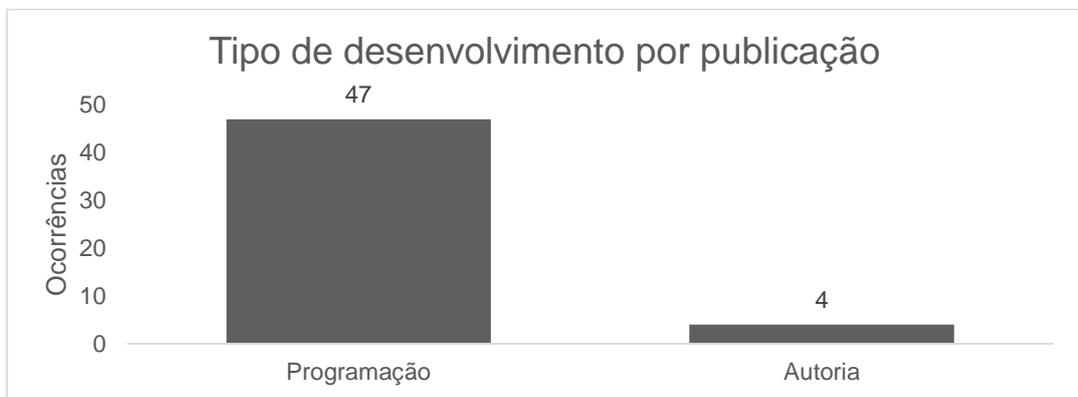


Figura 3.9 - Modo de desenvolvimento por publicação envolvendo Realidade Virtual e Engenharia Elétrica

A Tabela 3.1 apresenta as ferramentas usadas para desenvolver os trabalhos, seja aqueles usando programação ou usando uma ferramenta de autoria. O número de trabalhos que usaram a ferramenta é também apresentado na coluna Ocorrências. *Second Life* (“Second Life”, 2015), *VRML* (“VRML”, 2015) e *OpenSG* (“OpenSG”, 2015) foram as ferramentas mais usadas para desenvolvimento, todas de utilização livre. Seis dos trabalhos selecionados não informaram a ferramenta de desenvolvimento usada.

Tabela 3.1 - Ferramentas de Realidade Virtual usadas em publicações envolvendo Engenharia Elétrica

Ferramenta	Ocorrências	Descrição
<i>OpenSG</i>	7	API de programação gráfica baseada em OpenGL
<i>Não Informado</i>	6	Não foi informado no texto da publicação
<i>Second Life</i>	6	Ambiente colaborativo de jogos e mundos virtuais
<i>VRML</i>	6	Linguagem descritora de modelos 3D
<i>Unity</i>	5	<i>Engine</i> de desenvolvimento de <i>games</i> multiplataforma
<i>ARToolKit</i>	2	Biblioteca de desenvolvimento para Realidade Aumentada
<i>Cult3D</i>	2	Sistema de autoria para criação de interações simples em modelos 3D
<i>OpenCV</i>	2	API de programação em Visão Computacional
<i>Torque</i>	2	<i>Engine</i> de desenvolvimento de <i>game</i>
<i>.net</i>	1	Framework de programação
<i>Directx</i>	1	API em alto nível para programação gráfica
<i>Glut</i>	1	API em alto nível que facilita a programação <i>OpenGL</i>
<i>HumanAR</i>	1	Biblioteca de desenvolvimento para Realidade Aumentada
<i>Java3d</i>	1	Biblioteca programação gráfica 3D em máquinas virtuais Java
<i>MATLAB</i>	1	Suíte de trabalho em simulações matemáticas, computação e engenharia
<i>Multigen Creator</i>	1	Sistema de autoria para criação de animações em 3D
<i>Ogre</i>	1	API de programação gráfica multiplataforma
<i>Solidworks</i>	1	Sistema de autoria proprietário para criação de animações
<i>Vista</i>	1	Biblioteca gráfica
<i>X3D</i>	1	Linguagem descritora de modelos 3D
<i>XNA</i>	1	SDK para desenvolvimento de jogos

A Figura 3.10 apresenta a ocorrência de algum tipo de medição ou avaliação do trabalho proposto nas publicações junto aos participantes, sejam alunos ou profissionais. Um mesmo trabalho pode ter mais de um tipo de avaliação, portanto a contagem incrementa para todas as medições dos trabalhos. Trinta e um dos trabalhos selecionados não apresentaram nenhum tipo de avaliação. Enquanto os outros 20 trabalhos apresentaram pelo menos um tipo de medição: Aceitação, quando é perguntado sobre a aceitação geral do experimento; Desempenho, quando é medido o grau de melhoria entre fazer uma tarefa com a ferramenta e fazer a mesma tarefa

sem a ferramenta. Finalização, quando apenas se verifica a execução ou não da ferramenta; Nota, quando compara-se a nota do aluno quando se usa a ferramenta com a nota quando não se usa a ferramenta; Observação, quando verifica-se o comportamento e motivação do aluno ou do treinando quando se usa a ferramenta; Questões, quando um questionário com perguntas direcionadas à avaliação do experimento é executado com os alunos; Redação, quando uma análise descritiva da experiência do aluno com o experimento é executada.

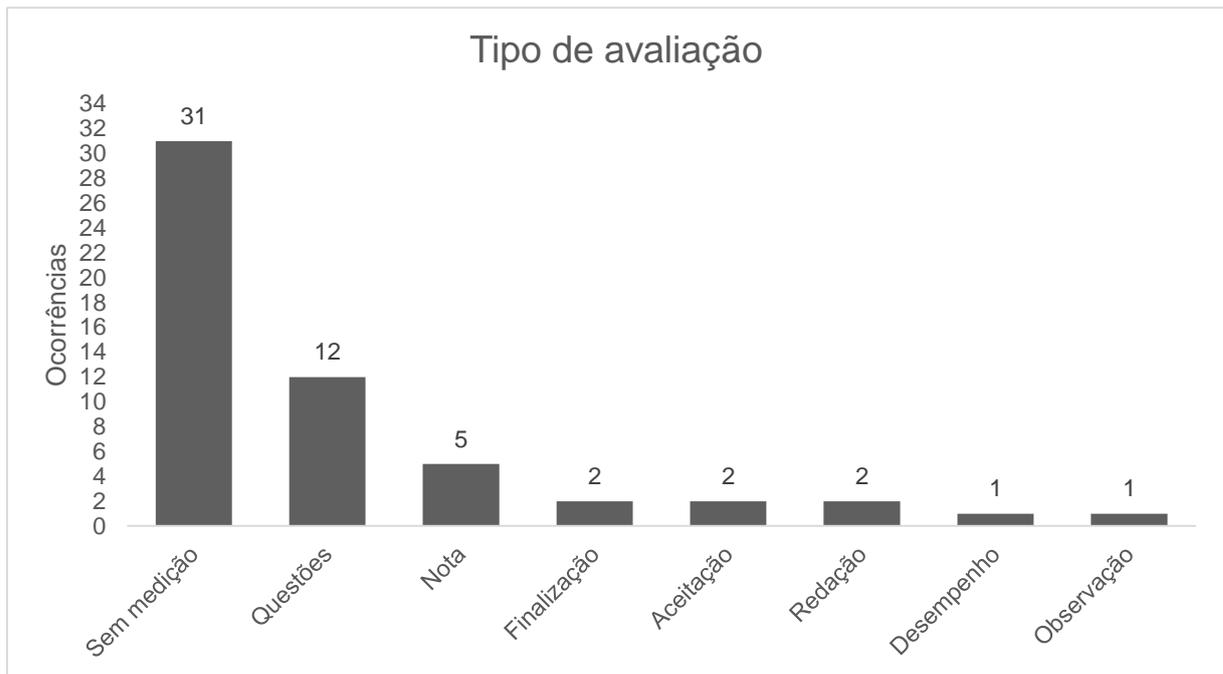


Figura 3.10 - Tipos de avaliação em publicações envolvendo Realidade Virtual e Engenharia Elétrica

3.4.2 Discussão das pesquisas

A pergunta “Qual o Estado da Arte no ensino usando RV para Engenharia Elétrica?”, norteou muitas análises sobre os trabalhos selecionados. Mais publicações nos 5 anos mais recentes do que nos 5 anos passados (ver Figura 3.2), representa um interesse maior pelo tema, especialmente quando verifica-se que estas publicações foram aplicações de sucesso usando RV no ensino e treinamento. O barateamento recente dos equipamentos para interação em RV, assim como um uso mais eficiente de RV Desktop, possibilitam abertura de possibilidades em aplicações (MERCHANT et al., 2012).

Em geral, a maioria dos trabalhos fazem uso das vantagens de RV para melhorar os aspectos motivação, segurança, obtenção do conhecimento, custo financeiro e acessibilidade. Mais especificamente, foram identificadas as aplicações de RV listadas abaixo:

- **Laboratórios virtuais:** Alguns trabalhos mimetizaram, laboratórios reais e utilizaram em sala de aula em áreas da Engenharia Elétrica como, Circuitos Elétricos, Eletrônica, Robótica, etc. (ADAMO-VILLANI et al., 2006; BOWEN et al., 2013; CECIL; RAMANATHAN; MWAVITA, 2013; ESPÍNDOLA et al., 2013; IWASAKI et al., 2010; MARTIN-GUTIERREZ; GUINTERS; PEREZ-LOPEZ, 2012; NAKAMOTO et al., 2010; SCHAF et al., 2009; VAANANEN; HORELLI; KATAJISTO, 2010).
- **Realidade Aumentada:** Os experimentos com Realidade Aumentada foram executados em tarefas de manutenção, instrumentos com interfaces virtuais e enriquecimento visual de equipamentos virtuais (ANDUJAR; MEJIAS; MARQUEZ, 2011; BARNA et al., 2012; ESPÍNDOLA et al., 2013; GIMENO et al., 2012; IWASAKI et al., 2010; MARTIN-GUTIERREZ; GUINTERS; PEREZ-LOPEZ, 2012; MATSUTOMO et al., 2012; ONIME; UHOMOIBHI; PIETROSEMOLI, 2014; RAMIREZ et al., 2013; RESTIVO et al., 2014).
- **Simulações:** Simulações de equipamentos foram abordadas, com características dinâmicas e físicas do equipamentos e instrumentos usados (ANGELOV; STYCZYNSKI, 2007; BAETA MIRANDA, 2010; DE SOUSA et al., 2010, 2012; KANG et al., 2011; LIU et al., 2013; SAMPAIO; MARTINS, 2014; SCHONING; HAMEYER, 2007; YANG et al., 2014), com espelhamento do estado real dos equipamentos (FANQI; YUNQI, 2010; ROMERO et al., 2008; STÖCKLEIN et al., 2010) ou somente a simulação de sua montagem e desmontagem (ARENDAWSKI; TERMATH; MECKING, 2008; BELLOC et al., 2012; GONCALVES DOS SANTOS; FONSECA, 2013; LI; WANG; HE, 2010; POPESCU et al., 2009). A simulação de falhas em equipamentos foi alvo das pesquisas de (LIAO; QU, 2013; LIU et al., 2012; REGENT; RAIMBAULT; MARTY, 2013; WANG; LI, 2010)
- **Ensino e treinamento remoto:** Os aspectos de acessibilidade e distância foram foco dos estudos em (ADAMO-VILLANI et al., 2006; AYDOGAN et al., 2011, 2014; AYDOGAN; ARAS; KARAKAS, 2010; BELTRÁN SIERRA; GUTIÉRREZ; GARZÓN-CASTRO, 2012; CALLAGHAN et al., 2010; HONGTAO et al., 2010; MARCELINO et al., 2012; TRAVASSOS VALDEZ; MACHADO FERREIRA; BARBOSA, 2013). Os trabalhos que adicionam o aspecto entretenimento e transformam a experiência de ensino e treinamento em um *game* foram (MORSI;

RICHARDS; RIZVI, 2010; REGENT; RAIMBAULT; MARTY, 2013; ZHANG et al., 2011).

- **Auxílio:** Alguns trabalhos utilizaram RV para auxílio em tarefas de montagem e manutenção ou manuais virtuais para auxílio na operação de instrumentos (GALVAN-BOBADILLA et al., 2013; GIMENO et al., 2012; NYSTAD; STRAND, 2006; OTHMAN; ARSHAD, 2011; RAMIREZ et al., 2013).
- **Colaboração:** Os trabalhos que enfatizaram o aspecto colaborativo de experimentos RV e suas vantagens no ensino e treinamento foram (HÄFNER; HÄFNER; OVTCHAROVA, 2013; MARCELINO et al., 2012; SCHAF et al., 2009).

3.4.3 Discussão das pesquisas: Questão Secundária 1

Questão Secundária 1 (QS1): Quais áreas da Engenharia Elétrica estão sendo pesquisadas neste tema?

Foram identificadas 12 áreas de Engenharia Elétrica envolvendo ensino usando RV. As áreas mais comuns foram a área de Distribuição (com 14 publicações), Geração (com 8 publicações), Circuitos Elétricos (com 7 publicações) e Manutenção (com 7 publicações).

Interessante notar que até mesmo áreas com pouca margem para aplicação de RV, foram pesquisadas, a exemplo de Eletromagnetismo, com a pesquisa de visão em Realidade Aumentada dos campos eletromagnéticos de ímãs (MATSUTOMO et al., 2012), onde percebe-se como RV pode ser usado para percepção de fenômenos invisíveis ou de difíceis percepção a olho nu. A Figura 3.11 extraída desta pesquisa mostra a utilização da ferramenta criada. Outro exemplo de aplicação de RV em uma área peculiar, é na área de automação. A pesquisa de (VAANANEN; HORELLI; KATAJISTO, 2010) cria uma casa virtual para teste de Controladores Lógico Programáveis (CLP), muito embora a casa virtual seja somente para visualização do comportamento dos cômodos quando ocorre a atuação do CLP.

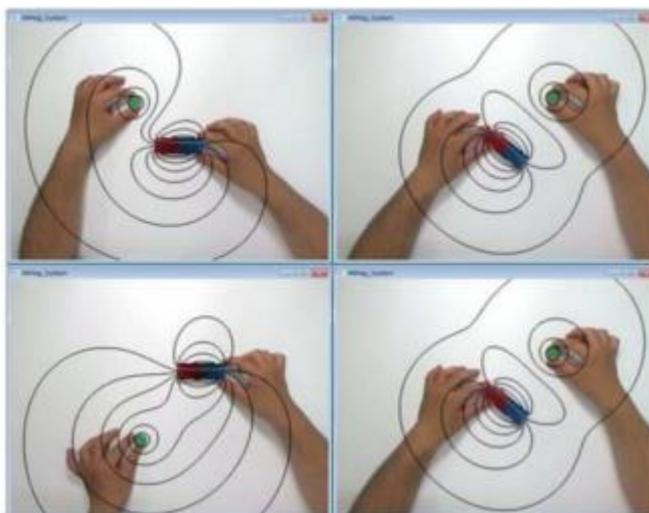


Figura 3.11 - Experimento com linhas de campo magnético em (MATSUTOMO et al., 2012)

Nos trabalhos que abordam Distribuição e Geração, percebe-se a carência de equipamentos reais ou acesso às instalações reais (ARENDAWSKI; TERMATH; MECKING, 2008; AYDOGAN et al., 2014; BELLOC et al., 2012; HONGTAO et al., 2010; ROMERO et al., 2008). Esta carência gera uma lacuna no ensino e ao mesmo tempo gera oportunidades de pesquisa. Daí, portanto, o grande número de trabalhos nessas áreas. As pesquisas na área de Distribuição envolvem equipamentos mais específicos como transformadores em (AYDOGAN et al., 2014; KANG et al., 2011), relés como em (BAETA MIRANDA, 2010), linhas de transmissão (GALVAN-BOBADILLA et al., 2013; GONCALVES DOS SANTOS; FONSECA, 2013; REGENT; RAIMBAULT; MARTY, 2013) ou subestações como um todo (FANQI; YUNQI, 2010; LI; WANG; HE, 2010; LIU et al., 2013). Três subáreas foram identificadas na área de Geração, sendo Hidrogeradores (AYDOGAN; ARAS; KARAKAS, 2010; BELLOC et al., 2012; DE SOUSA et al., 2010, 2012; HONGTAO et al., 2010), Energia Solar (ONIME; UHOMOIBHI; PIETROSEMOLI, 2014) e Eletromecânica (ZHANG et al., 2011).

A maioria dos trabalhos não se propõe a aplicar seus experimentos em mais de uma área, ou seja, os trabalhos são desenvolvidos especificamente para resolver a carência de um pequeno ramo da Engenharia Elétrica, embora tenha se verificado a carência em várias áreas. Desta forma, apenas três trabalhos consideraram uma abordagem geral:

- Em (HÄFNER; HÄFNER; OVTCHAROVA, 2013) há uma proposta de metodologia de ensino de habilidades em Engenharia usando projetos em Realidade Virtual, onde o objetivo é desenvolver aspectos gerais do aprendizado do aluno e futuro profissional, como trabalho em equipe e resolução de problemas.

- O trabalho de (SCHAF et al., 2009) enfatiza a melhoria da colaboração no estudo de projetos em Engenharia Elétrica, levando em conta questões como distância, dificuldades de comunicação e até mesmo barreiras culturais.
- O trabalho de (MARCELINO et al., 2012) utiliza um ambiente colaborativo para criar classes virtuais. Esta pesquisa propõe, ainda que de forma embrionária, um *framework* de avaliação, frequência, estudo e experimentos, com tudo ocorrendo no mundo virtual.

3.4.4 Discussão das pesquisas: Questão Secundária 2

Questão Secundária 2 (QS2): Quais as intenções primárias do uso de RV nestes trabalhos?

Todos os trabalhos buscam a melhoria de algum aspecto da educação dos alunos e treinandos, seja retenção de conhecimento, motivação ou proatividade. Até mesmo aspectos indiretos são buscados e alcançados como segurança e acessibilidade aos experimentos. É salutar em todos os trabalhos a intenção de melhorar o aspecto prático das áreas estudadas em Engenharia Elétrica. Esta intenção pode ser constatada com clareza nos trabalhos de (MARTIN-GUTIERREZ; GUINTERS; PEREZ-LOPEZ, 2012; NAKAMOTO et al., 2010; ROMERO et al., 2008; YANG et al., 2014)

Há porém uma divisão clara na maioria dos trabalhos selecionados sobre o público alvo da pesquisa: o aluno de Engenharia Elétrica ou o profissional da área. Não há uma tentativa clara de unir os dois públicos e muito menos de aproximar os treinamentos para profissionais aos alunos de Engenharia Elétrica, a fim de que estes alunos percebam a relação do seu conhecimento com a área de atuação profissional. Contudo, alguns trabalhos podem ser aplicados tanto para ensino quanto para treinamento profissional (ANGELOV; STYCZYNSKI, 2007; DE SOUSA et al., 2010, 2012; GIMENO et al., 2012; MARTIN-GUTIERREZ; GUINTERS; PEREZ-LOPEZ, 2012; SAMPAIO; MARTINS, 2014; VAANANEN; HORELLI; KATAJISTO, 2010), apesar de ainda necessitarem de uma conexão mais clara entre os dois objetivos.

Em alguns trabalhos a principal aplicabilidade sugerida pelo autor dos experimentos é em um auxílio pontual, mas não exatamente no ensino de algum tópico ou treinamento de algum procedimento. Por exemplo, em (GIMENO et al., 2012) é desenvolvida uma ferramenta de autoria em RA para tarefas de reparo e manutenção em equipamentos. As instruções ocorrem em tempo real para ajudar o mantenedor na execução correta dos passos. A Figura 3.12 mostra a ferramenta de autoria durante a criação de um processo. Da mesma forma ocorre em (BARNA et al., 2012), onde a montagem de peças e equipamentos é auxiliada por Realidade Aumentada, como visto na Figura 3.13. Embora estes trabalhos não tenham a intenção primária de ensinar, é nítida a sua utilidade pelo profissional de Engenharia Elétrica, que pode fazer uso dessas ferramentas como um manual do procedimento em tempo real.

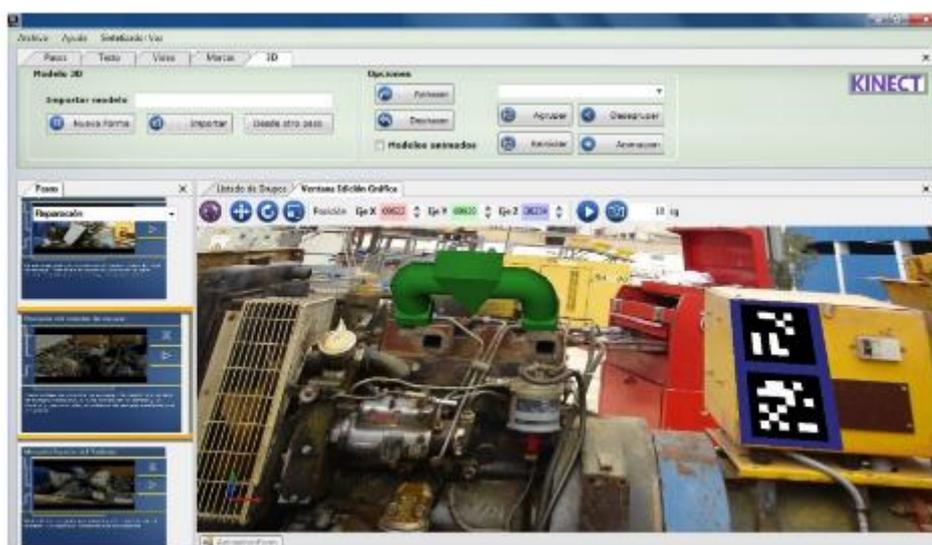


Figura 3.12 - Ferramenta de autoria para procedimentos de reparo, disponível em (GIMENO et al., 2012)

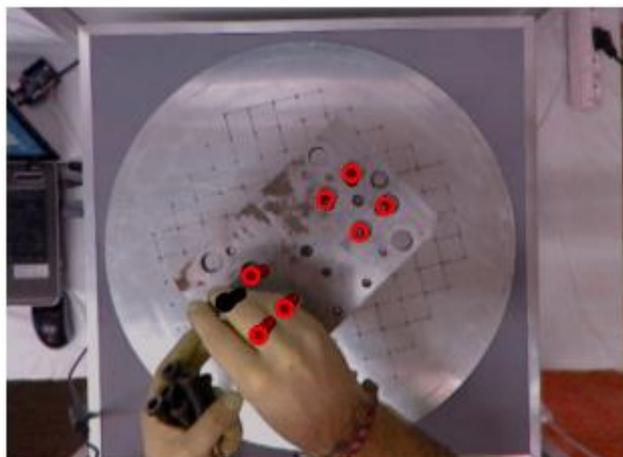


Figura 3.13 - Montagem de uma peça com auxílio de RA

3.4.5 Discussão das pesquisas: Questão Secundária 3

Questão Secundária 3 (QS3): Quais as técnicas, ferramentas e equipamentos são usados nos experimentos?

Algumas técnicas de interação e imersão são necessárias para fornecer uma boa experiência de imersão. Duas dessas técnicas foram encontradas em muitos trabalhos desta revisão:

- **Comportamento dinâmico:** quando um ou mais objetos apresentam comportamento semelhante ao comportamento real pois obedecem a equações matemáticas modeladas para simular este comportamento. Esta dinâmica pode ser simples como o movimento de um guindaste ou mais complexo e controlado por equações mais complexas, como o movimento do rotor de um gerador. Em (DE SOUSA et al., 2012) e (DE SOUSA et al., 2010) uma turbina hidrogeradora virtual é modelada e algumas operações são simuladas. Nestes trabalhos, ocorre a simulação de regulação de velocidade da turbina usando equações reais de controle das palhetas que alteram o fluxo da água. A Figura 3.14 mostra este processo ocorrendo no ambiente virtual enquanto um gráfico mostra a curva de velocidade em tempo-real. No ensino de Circuitos Elétricos, (BOWEN et al., 2013; LIAO; QU, 2013; NAKAMOTO et al., 2010) aplicam os conceitos de circuitos para simular o comportamento de componentes virtuais individualmente (resistores, capacitores, cargas, interruptores, etc.) e formando um circuito. Da mesma forma, (BAETA MIRANDA, 2010; LIU et al., 2013; WANG; LI, 2010) simulam o comportamento de uma subestação ao modelar a dinâmica de cada equipamento. Por exemplo, a abertura de um disjuntor e o controle de um relé.
- **Interface de controle virtual:** Estas interfaces são modeladas com botões, telas, alarmes e todos os componentes virtuais semelhantemente à interface de controle do equipamento real. A intenção é dar consistência à experiência virtual do operador, assim quando ele utilizar o equipamento real, os controles e comandos serão lembrados mais facilmente. Interfaces de controle virtual funcionam muito bem mesmo em ambientes com baixa imersão (AGHINA et al., 2008). A operação de equipamentos com interface de comandos é uma prática comum de profissionais de Engenharia Elétrica. Desta forma, muitas publicações fizeram uso das interfaces virtuais de controle. Em (ADAMO-VILLANI et al., 2006) um laboratório virtual de

experimentos com microcontroladores permite a operação virtual de osciloscópios, multímetros e fontes, onde o operador pode interagir com botões, *dimmer's* e interruptores em uma configuração idêntica aos equipamentos reais de mercado. Da mesma forma em (LIU et al., 2012) controla-se um multímetro para testes e manutenção de equipamentos elétricos, onde o mantenedor controla até mesmo as ponteiros do multímetro. Em subestações, o controle dos equipamentos por ser feito por meio de comandos em relés. Assim, (BAETA MIRANDA, 2010; ROMERO et al., 2008) utilizam interfaces virtuais para controlar os relés de uma subestação virtual.

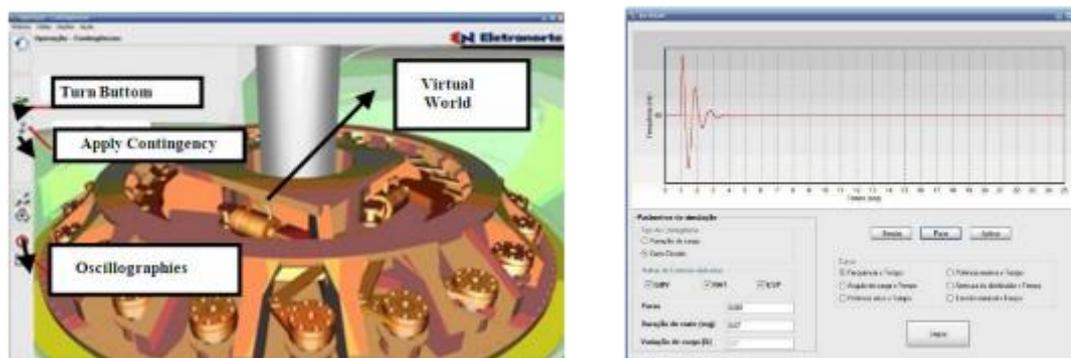


Figura 3.14 - Visualização dinâmica da velocidade do rotor de uma turbina hidrogeradora. Disponível em (DE SOUSA et al., 2012)

Dentre as ferramentas e equipamentos utilizados em RV, foram encontrados nos trabalhos selecionados:

- **Desktop:** a maioria dos trabalhos utiliza mouse e teclado para interação com o mundo virtual. A facilidade de programação, custo reduzido e boa sensação de imersão mesmo não utilizando naturalmente os sentidos, são motivações para uso destes dispositivos. Em (BELLOC et al., 2012; DE SOUSA et al., 2010), por exemplo, o uso de dispositivos convencionais funcionam muito bem tanto para procedimentos virtuais de operação quanto para procedimentos de manutenção.
- **Câmera e HMD:** em Realidade Aumentada, algum dispositivo que capture imagens precisa “enxergar” o mundo real que será combinado com elementos virtuais. Desta forma câmeras são comumente usadas em aplicações de RA, seja uma câmera *stand alone*, câmera de um celular ou uma câmera embutida em um HMD. Estes dispositivos foram usados nos trabalhos selecionados, a exemplo de (BARNA et al., 2012; ESPÍNDOLA et al., 2013; RAMIREZ et al., 2013) que usam RA para treinamento de manutenção de equipamentos. Em (ANDUJAR; MEJIAS;

MARQUEZ, 2011; STÖCKLEIN et al., 2010), os autores consideram a maior complexidade do *setup* de dispositivos para RA, um entrave ao uso desta tecnologia.

- **Kinect:** O dispositivo Kinect integra uma câmera comum, câmera de profundidade, microfone e software de reconhecimento de movimentos. Por isso ele tem muitas utilizações em RA. O trabalho de (GIMENO et al., 2012) agiliza o mapeamento de objetos ao capturar a profundidade dos componentes internos dos equipamentos e assim integrar corretamente com a cena real, pois renderiza corretamente o objeto virtual atrás ou a frente do objeto real. O Kinect é usado para interação com os componentes de circuitos elétricos em uma laboratório virtual em (LIAO; QU, 2013). Neste trabalho, os autores comparam a interação usando Kinect com a interação com mouse e teclado, concluindo que o uso do Kinect aumenta a imersão mas não é bem aceito pelos utilizadores, devido à baixa precisão e falta de familiaridade com este tipo de interação.
- **CAVE:** Os trabalhos de (HÄFNER; HÄFNER; OVTCHAROVA, 2013; SCHAF et al., 2009; SCHONING; HAMEYER, 2007) usam *CAVE's* para fornecer um ambiente de alta imersão em suas propostas de treinamento. Relatam que, apesar do ganho em motivação e imersão, o custo para montagem e manutenção das *CAVE's* é alto e pode não compensar o ganho nos aspectos citados.
- **Joystick, Glove e interfaces próprias:** Dispositivos menos convencionais para uso em educação são usados em (ZHANG et al., 2011), onde um *joystick* de mercado é utilizado para controlar um carro elétrico virtual enquanto a potência da bateria é medida. Também em (ROMERO et al., 2008), onde a aplicação permite o uso de luvas de interação, ou *Glove*, para aumentar a imersão do usuário. Em (HÄFNER; HÄFNER; OVTCHAROVA, 2013), o autor propõe o uso de interfaces reais para controle do ambiente virtual, a fim de melhorar a retenção de conhecimento. Por exemplo, usar o volante e o *cockpit* de um carro para controlar um simulador, ou alavancas e botões de um painel real em vez de um painel virtual. Obviamente que o autor também considera a dificuldade e o custo maiores de se produzir um treinamento usando este tipo de interface.

3.4.6 Discussão das pesquisas: Questão Secundária 4

Questão Secundária 4 (QS4): Quais as metodologias e estilos de ensino utilizados nos trabalhos?

Tentou-se inferir a forma didática como os experimentos propostos pelas publicações são inseridos em sala de aula e nos treinamentos. Segundo (GARCIA; HERNÁNDEZ, 2010; GARCIA-ROBLES et al., 2009), usar com sucesso experimentos, problemáticas, novas ferramentas e qualquer metodologia de ensino ativa, necessita de uma preparação da turma e participantes ao novo modelo. Contudo, pouco foi possível perceber pela leitura dos trabalhos quanto a metodologias de ensino. De fato, dezenove trabalhos, como mostra a barra “Auxílio” na **Error! Reference source not found.**, não utilizam os experimentos como parte integrante da metodologia de ensino atual da turma ou como parte do treinamento padrão dos profissionais. A exemplo de (BELTRÁN SIERRA; GUTIÉRREZ; GARZÓN-CASTRO, 2012) que usa uma sala de aula virtual como suporte aos alunos. O autor relata dificuldades como falta de concentração dos alunos quando utilizam a ferramenta.

Alguns poucos estudos aplicaram uma metodologia junto com os experimentos. O trabalho de (HÄFNER; HÄFNER; OVTCHAROVA, 2013) utiliza conceitos de PBL em aplicações de RV em Engenharia. O autor relata uma grande melhoria de motivação e engajamento dos alunos e considera que eles aprenderam com erros e acertos e portanto estão mais preparados para o mercado de trabalho. Os trabalhos de (MARCELINO et al., 2012; SCHAF et al., 2009) aplicam seus experimentos em uma metodologia de ensino colaborativo. Os experimentos criados suportam a colaboração entre os participantes, desta forma, tanto metodologia quanto a aplicação devem suportar a colaboração. Estes três trabalhos usam a plataforma de apoio à aprendizagem *Moodle* (“Moodle”, 2015).

Em muitos trabalhos foi possível identificar uma abordagem com elementos de educação e ensino explícitos. Vinte e nove trabalhos foram classificados com *Self-Learning* na **Error! Reference source not found.** Os trabalhos de (BELLOC et al., 2012; BOWEN et al., 2013; DE SOUSA et al., 2010, 2012; GALVAN-BOBADILLA et al., 2013; GONCALVES DOS SANTOS; FONSECA, 2013; NAKAMOTO et al., 2010; OTHMAN; ARSHAD, 2011; SCHONING; HAMEYER, 2007) utilizam alguma forma de auto supervisão das sessões de ensino e treinamento, de modo que os usuários dos experimentos podem ser avaliados pela própria ferramenta, a exemplo de (BOWEN et al., 2013; DE SOUSA et al., 2012) que contabilizam erros e acertos dos alunos e treinandos em executar alguma operação ou manutenção virtual e apresentam uma pontuação ao final da execução. Os autores destacam como vantagem, a pouca necessidade de intervenção do professor durante as avaliações nos procedimentos virtuais usando a auto supervisão. Nos trabalhos de (ARENDARSKI; TERMATH; MECKING, 2008; DE SOUSA et al., 2010, 2012; GALVAN-BOBADILLA et

al., 2013) uma forma de aprendizado por etapas é utilizada na execução dos experimentos. São usadas três etapas com dificuldades e exigências crescentes, semelhantemente a um *game*. Os autores consideram esta abordagem interessante para um processo de aprendizado *self-learning*.

Quando RV pode ser executada em dispositivos convencionais e relativamente mais populares como em desktops, cria-se uma oportunidade de execução dos experimentos à distância, o que seria mais difícil de se alcançar com experimentos usando equipamentos reais. Dessa forma, alguns trabalhos aproveitam esta vantagem de RV e aplicam seus experimentos remotamente, a exemplo de (ADAMO-VILLANI et al., 2006; BELTRÁN SIERRA; GUTIÉRREZ; GARZÓN-CASTRO, 2012; CALLAGHAN et al., 2010; HONGTAO et al., 2010; MARCELINO et al., 2012; TRAVASSOS VALDEZ; MACHADO FERREIRA; BARBOSA, 2013). Vale ressaltar que apesar de serem experimentos remotos estes trabalhos não são necessariamente colaborativos. Uma limitação dos experimentos remotos aplicados é discutida em (AYDOGAN; ARAS; KARAKAS, 2010; SCHAF et al., 2009), onde os autores relatam problemas de comunicação via Internet e consideram que uma conexão sem atrasos é essencial para uma experiência agradável de interação.

3.4.7 Discussão das pesquisas: Questão Secundária 5

Questão Secundária 5 (QS5): Como são medidos os efeitos e resultados de cada trabalho?

A medição dos efeitos da implantação dos experimentos é uma forma de avaliar o sucesso da pesquisa, discutir lacunas e considerar mudanças futuras. A maioria dos trabalhos selecionados (31) não apresentou medição ou avaliação dos experimentos por parte dos alunos, treinandos ou dos professores.

Todavia, destacam-se entre os trabalhos que realizaram medição, aqueles que aplicaram questionários aos alunos, a exemplo de (BELTRÁN SIERRA; GUTIÉRREZ; GARZÓN-CASTRO, 2012; ESPÍNDOLA et al., 2013; NAKAMOTO et al., 2010; POPESCU et al., 2009; RESTIVO et al., 2014) que questionaram os alunos após os experimentos, sobre a usabilidade dos experimentos, experiência geral de aprendizado e possíveis melhorias no entendimento dos conceitos. Estes trabalhos também avaliaram a mudança de interesse na disciplina com o uso dos experimentos. O trabalho de (ANDUJAR; MEJIAS; MARQUEZ, 2011) avaliou a melhoria do ensino também pelo ponto de vista do professor.

Alguns trabalhos foram avaliados também quanto à melhoria das notas dos alunos quando aprendem com o experimento. Os trabalhos de (AYDOGAN et al., 2011, 2014; BELTRÁN SIERRA; GUTIÉRREZ; GARZÓN-CASTRO, 2012; CECIL; RAMANATHAN; MWAVITA, 2013; DE SOUSA et al., 2012) avaliaram a nota dos alunos que utilizaram o experimento e compararam com notas de grupos semelhantes que cursaram a mesma disciplina mas não usaram o experimento.

Em treinamentos, as avaliações são realizadas principalmente medindo a aceitação do experimento como em (HONGTAO et al., 2010), desempenho na execução dos experimentos como em (GIMENO et al., 2012), simples execução do experimento (MARTIN-GUTIERREZ; GUINTERS; PEREZ-LOPEZ, 2012; REGENT; RAIMBAULT; MARTY, 2013), ou observação do comportamento dos treinandos durante os experimentos, como em (NYSTAD; STRAND, 2006).

3.4.8 Discussão das pesquisas: Questão Secundária 6

Questão Secundária 6 (QS6): Quais as formas de desenvolvimento dos experimentos (ferramentas de autoria, programação)?

A área de Engenharia Elétrica sofre mudanças, evoluções, correções e adaptações em componentes, equipamentos e sistemas. Desenvolver um software de ensino e treinamento e engessá-lo pode torná-lo inutilizável ou obsoleto em pouco tempo. Por exemplo a área de Microcontroladores muda seus componentes com grande frequência. Desta forma, é importante fornecer um meio, como ferramentas de autoria, para modificar experimentos para adequá-los a novos paradigmas.

Nos trabalhos selecionados para esta revisão, somente quatro experimentos foram desenvolvidos usando alguma ferramenta de autoria, enquanto quarenta e sete trabalhos foram desenvolvidos usando programação. As ferramentas utilizadas no desenvolvimento dos experimentos estão relacionadas na Tabela 3.1.

O desenvolvimento de aplicações usando programação permite grande liberdade de criação. Está é uma característica útil quando se adiciona comportamentos dinâmicos baseados em equações matemáticas, como destacam (ADAMO-VILLANI et al., 2006; DE SOUSA et al., 2010; ESPÍNDOLA et al., 2013; ROMERO et al., 2008; SAMPAIO; MARTINS, 2014), visto que seria uma tarefa complexa permitir a inclusão de qualquer equação dinâmica em um

sistema de autoria RV. Pode-se imaginar como a tarefa de incluir o MATLAB em um sistema de autoria RV.

Por outro lado, nos trabalhos de (ANDUJAR; MEJIAS; MARQUEZ, 2011; WANG; LI, 2010) os autores destacam a dificuldade de se programar ambientes multidisciplinares, neste caso RV e Engenharia Elétrica. Os autores ressaltam a dificuldade de incluir fenômenos físicos e envolver especialistas no processo de desenvolvimento.

As ferramentas de desenvolvimento utilizadas nos trabalhos são em sua maioria ferramentas gratuitas e populares, fato este que representa uma prova de conceito quanto à viabilidade de se desenvolver experimentos RV usando ferramentas gratuitas.

Nos trabalhos de (FANQI; YUNQI, 2010; LI; WANG; HE, 2010), são desenvolvidos *frameworks* de programação ou *engines* especializadas na simulação de equipamentos em subestações. Os autores destacam o ganho de agilidade no desenvolvimento quando se usa um *framework* especializado, muito embora ainda necessite de programação.

Quatro trabalhos utilizaram ferramentas de autoria para desenvolvimento dos experimentos. A ferramenta *ManAR* é desenvolvida em (RAMIREZ et al., 2013) para autoria de treinamentos em Realidade Aumentada de manutenções, onde os autores destacam o ganho de tempo utilizando a ferramenta em vez de programar o experimento. Em (ARENDARSKI; TERMATH; MECKING, 2008), é desenvolvido o *VDT Platform*, um sistema de autoria para procedimentos de manutenção em subestações. Os autores ressaltam que os próprios especialistas nos procedimentos de manutenção podem criar os experimentos sem necessidade de conhecimentos programação, fato que também representa um ganho de agilidade e custo. Em (LIU et al., 2012), a ferramenta de autoria *Cult3D* é utilizada para criar um laboratório de treinamento em diagnóstico de falhas. Porém *Cult3D* é utilizada somente para possibilitar o carregamento de modelos 3D e interações simples, sendo que a dinâmica de funcionamento dos equipamentos e treinamento foi programada em um módulo separado. Em (GIMENO et al., 2012) a ferramenta *SUGAR* é desenvolvida para permitir a autoria de procedimentos de reparo em equipamentos usando Realidade Aumentada. Os autores comparam o tempo de desenvolvimento dos procedimentos virtuais por programadores e por especialistas, concluindo que os especialistas criaram os procedimentos mais rapidamente que os programadores usando a ferramenta de autoria.

3.4.9 Discussão das pesquisas: Questão Principal

Questão principal: Qual o Estado da Arte no ensino usando RV para Engenharia Elétrica?

Como visto neste capítulo, RV é um recurso pedagógico muito útil e tem sido utilizada com sucesso nos últimos anos, para ensino acadêmico e treinamento profissional em diferentes áreas da Engenharia Elétrica. Dentre as áreas relacionadas, aquelas que mais carecem de experimentos práticos são as que mais apresentam oportunidades de pesquisa em RV, como as áreas de Distribuição e Geração de Energia Elétrica.

Realidade Aumentada também tem sido muito utilizada em aplicações envolvendo manutenções e reparos em equipamentos elétricos. Contudo, a tecnologia demandada e uma configuração mais complexa de dispositivos é considerada uma barreira ao maior desenvolvimento da tecnologia em ensino e educação. Por outro lado, ensino e educação usando *games* não recebeu grande número de publicações, o que pode-se tornar também uma oportunidade em pesquisa.

Exatamente por este fator de popularidade dos equipamentos que RV Desktop é o tipo de aplicação mais utilizada nos últimos anos. A facilidade de programação, a fácil integração no ambiente de ensino, a baixa curva de aprendizado e a boa experiência interativa mesmo com baixa imersão, são fatores que popularizam RV Desktop em aplicações de ensino e treinamento.

Há uma grande lacuna na integração pedagógica dos experimentos em RV na área de Engenharia Elétrica. Poucos trabalhos utilizam uma metodologia adequada para ensinar ou treinar usando RV, que em geral exige abordagens diferentes das tradicionais. Alguns trabalhos incluem formas de auto supervisão e ensino por etapas, proporcionando uma abordagem *self-learning*. Porém, um dos principais objetivos ainda se mostra sem solução, relacionar a teoria com a prática em Engenharia Elétrica, e que se torna uma oportunidade de pesquisa pouco explorada.

Para isso, além de adequar uma metodologia pedagógica, é necessário vencer também um problema percebido nos trabalhos selecionados: o conteúdo dos experimentos é fixo, ou seja, professores e profissionais não podem alterar os experimentos para adequar a novos assuntos e turmas, a menos que possuam conhecimentos de programação. Uma forma de resolver esse problema é o uso de ferramentas de autoria onde seria possível criar, editar e

distribuir diferentes conteúdos, de diferentes áreas da Engenharia Elétrica e atendendo a diferentes propósitos como ensino e treinamento, simultaneamente.

Logo, aproximar os treinamentos para profissionais aos alunos de Engenharia Elétrica, a fim de que estes alunos percebam a relação do seu conhecimento com a área de atuação profissional é um desafio relacionado ao tema desta tese.

CAPÍTULO 4 - *FRAMEWORK* PARA CRIAÇÃO DE LABORATÓRIOS VIRTUAIS

É um desafio melhorar o ensino e treinamento em Engenharia Elétrica de modo a tornar conceitos e teorias mais próximos da realidade do aluno e futuro profissional, diminuindo assim a lacuna entre a teoria e prática no ensino e treinamento em Engenharia Elétrica. Este trabalho propõe um *framework* de criação e execução de laboratórios em realidade virtual que possa solucionar este desafio.

Considerando trabalhos de outros autores na área, viu-se que a solução para este problema tem sido buscada de forma isolada, sem uma aplicação pedagógica consistente e não alinhada com as características de RV. Em geral, esses trabalhos não são flexíveis para comportar diferentes áreas de Engenharia Elétrica ou mesmo diferentes necessidades dos alunos.

A realização desta tese é fruto de um trabalho com o Laboratório de Realidade Virtual (LARV) da Universidade Federal do Pará (UFPA) com apoio e financiamento da Eletrobrás Eletronorte S/A. Teve como embrião um projeto de treinamento em RV que culminou com a tese de doutorado do Dr. Marcos Paulo Alves de Sousa (SOUSA, 2009).

Este capítulo faz um panorama do *framework* proposto na Seção 4.1. E descreve então cada parte dele nas seções seguintes. A Seção 4.2 descreve a coleta de dados e modelagem dos recursos. A Seção 4.3 detalha o desenvolvimento do software RV que representa o laboratório. A Seção 4.4 sugere formas de implantar os laboratórios virtuais em sala de aula e no ambiente profissional. Finalmente, a Seção 4.5 detalha a etapa de medição e avaliação do *framework*.

4.1 Visão geral

Um *framework* horizontal é um conjunto de conceitos, orientações e práticas reunidos em um arcabouço a fim de solucionar problemas em diferentes domínios. Este trabalho propõe um *framework* horizontal que visa diminuir a lacuna entre teoria e prática no ensino e treinamento de diferentes áreas de Engenharia Elétrica.

Por definição, um *framework* é flexível o bastante para aceitar mudanças em suas práticas e orientações. Dessa forma, esta tese apresenta práticas e orientações e as implementa, mas sem imobilizar o *framework*. Assim, seus macro componentes são mostrados na Figura 4.1. Estes componentes serão explodidos nas seções 4.2, 4.3, 4.4 e 4.5.

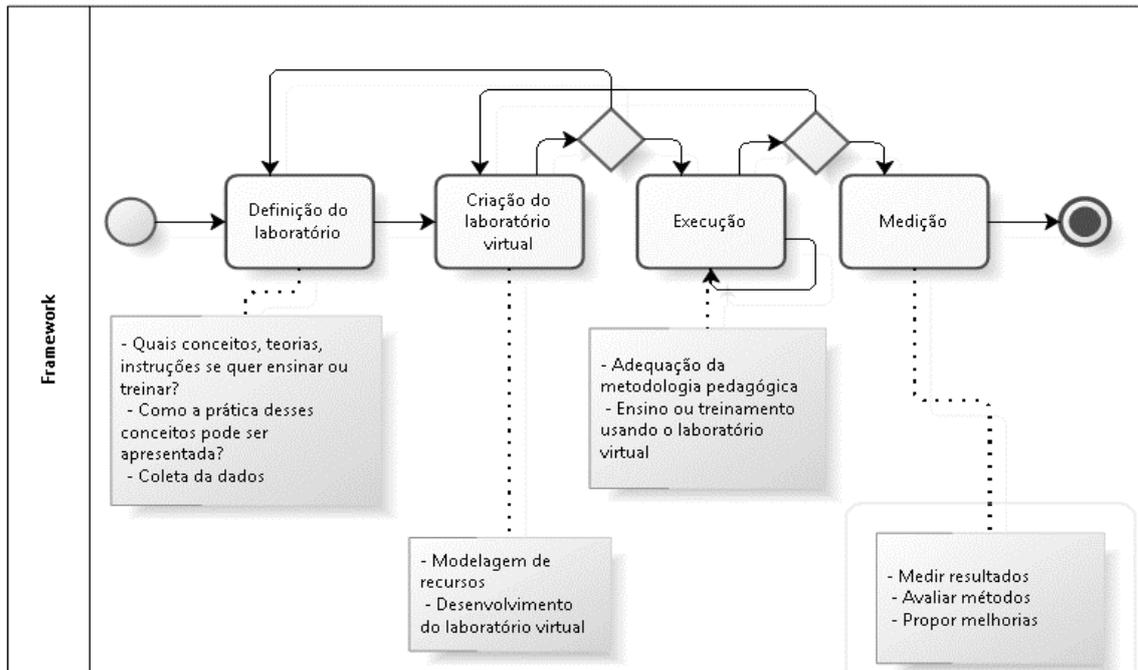


Figura 4.1 - Macro visão do *framework* proposto

Os 4 componentes principais do framework são:

- **Definição do laboratório:** nesta etapa é identificada e reconhecida a necessidade de se desenvolver a prática através de um laboratório e define-se quais conceitos e teorias se quer fixar com seus experimentos. Também, é realizada a coleta de dados e informações que irão subsidiar o laboratório concomitantemente às aulas ou treinamentos.
- **Criação do laboratório virtual:** é realizada a criação de laboratórios em Realidade Virtual que atenda às necessidades identificadas na etapa de Definição do laboratório. Sendo assim, a modelagem de recursos é realizada, produzindo-se narrações, efeitos sonoros, modelos tridimensionais, texturas, animações, vídeos e dados tabulares que irão compor o ambiente virtual. Nesta etapa também é desenvolvido o software que de fato, representa o laboratório virtual. Não confundir este desenvolvimento com programação de computador, pois como será visto, esta etapa pode ser implementada usando-se uma ferramenta de autoria, portanto sem necessidade de programação. É desejado que o laboratório virtual desenvolvido seja flexível e aceite correções, adaptações e evoluções com facilidade.
- **Execução:** Esta é a etapa objetivo do *framework*, pois é exatamente onde o processo de ensino, aprendizado e treinamento deve ocorrer com maior intensidade, e é fundamental que sua implementação possua uma metodologia pedagógica que aproveite a prática idealizada e desenvolvida nas etapas anteriores.

- **Medição:** Etapa usada para medir e avaliar o efeito da implementação do *framework* e analisar seus impactos, pontos fortes e fracos. Deve ser utilizado para melhoria contínua da implementação ou mesmo para a decisão de parada do processo. Esta etapa preenche uma lacuna percebida em muitos trabalhos atuais em ensino usando RV, os quais não possuem medição nem avaliação do efeito dos seus experimentos.

Para aceitar mudanças e melhorias durante o processo, as etapas de Definição e Execução podem ser regredidas, como mostram os condicionais entre as etapas do *framework* representado na Figura 4.1. Por exemplo, se um laboratório virtual em desenvolvimento precisa aceitar a representação de um novo conceito, o processo volta até a etapa de definição para incluí-lo e então retoma a etapa de desenvolvimento já implementando este novo conceito no laboratório virtual.

Por fim, ao propor, implementar e aplicar este *framework*, esta tese procura aproximar o conhecimento teórico à utilização prática desses conceitos. Além disso, criar laboratórios orientados à disciplina, aplicar metodologias pedagógicas ao usar os experimentos e agilizar e flexibilizar a criação de laboratórios virtuais são características fundamentais do *framework* para superar os problemas, hiatos e desafios analisados em trabalhos atuais.

4.2 Definição do laboratório

A primeira etapa do *framework*, detalhada na Figura 4.2, possui as atividades de definição do laboratório, onde serão analisados os conceitos da área a ser estudada e treinada para identificar a necessidade de criação de um laboratório virtual.

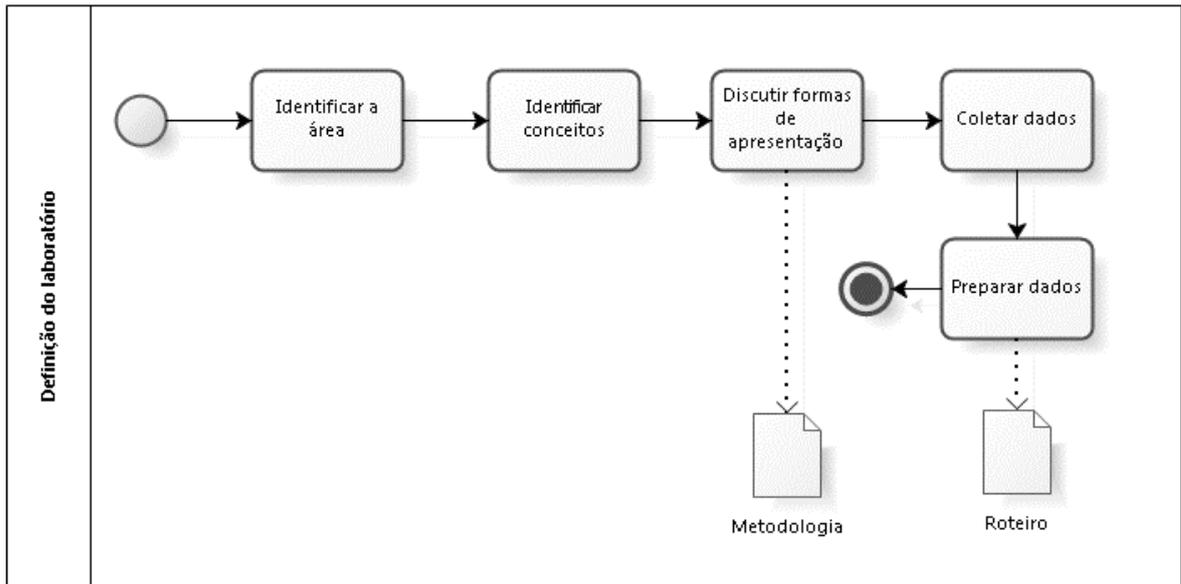


Figura 4.2 - Etapa de definição do laboratório

As atividades da Definição do laboratório são discutidas a seguir:

- **Identificar a área:** identificar qual área de conhecimento de Engenharia Elétrica carece de uma abordagem mais prática. Pode englobar toda uma disciplina acadêmica ou um nicho profissional. Perceber esta necessidade pode se dar pela observação da turma, falta de acessibilidade a laboratórios, falta de oportunidades para treinamento ou qualquer outro entrave percebido no ambiente acadêmico ou profissional. Podem ser identificadas mais de uma área para uma mesma necessidade, o que não impede execução das atividades seguintes, nem o funcionamento do *framework* restante.
- **Identificar conceitos:** esta atividade deve relacionar os conceitos e teorias interessantes para a aplicação prática na área identificada. Cada conceito irá nortear algum aspecto do laboratório virtual e poderá servir de roteiro durante a execução das aulas com os experimentos virtuais, ao passo que as aulas convencionais ajudam na identificação destes conceitos durante esta atividade. Da mesma forma para treinamentos profissionais, onde os treinamentos ou instruções já utilizadas servirão como guia para a criação dos experimentos virtuais.
- **Discutir formas de apresentação:** após a definição dos conceitos das áreas de estudo, deve-se questionar como estes conceitos devem ser apresentados. Analisar por que as aulas ou treinamentos atuais não são mais satisfatórios. Analisar outras formas de apresentação além de laboratórios virtuais, por exemplo, visitas técnicas, vídeos, aquisição de equipamentos, etc. Tentar mensurar o quanto o desempenho

nas aulas e treinamentos é consequência da falta de prática nos conceitos identificados. Discutir de forma incipiente, a metodologia e a execução dos laboratórios virtuais, identificando formas de interação, métodos de avaliação, etc. Essa discussão prematura alimenta a Metodologia, que servirá também durante o desenvolvimento laboratório virtual.

- **Metodologia:** esboço da Metodologia para ser usado no desenvolvimento do laboratório virtual.
- **Coletar dados:** consiste em reunir informações sobre procedimentos, equipamentos, dispositivos e sistemas reais que aplicam os conceitos identificados. Por exemplo, a conversão de energia é realizada pelo equipamento transformador. Ou ainda, a operação de um relé modelo A possui um roteiro textual no site do fabricante. Reunir estas informações ajudará na criação dos laboratórios virtuais.
- **Preparar dados:** organizar as informações coletadas, para montar o laboratório em um roteiro coerente com os conceitos identificados. Partes dos procedimentos poderão ser descartados por não serem interessantes para a demonstração dos conceitos. Equipamentos, dispositivos e procedimentos serão reunidos em um só roteiro para formar um cenário que demonstre todos os conceitos da área.
- **Roteiro:** o produto final desta etapa deve descrever o procedimento passo-a-passo, avisos de segurança, descrição dos equipamentos, dispositivos e ferramentas utilizados, as interações dos alunos ou treinandos com os equipamentos durante o procedimento e todas as regras de funcionamento dos equipamentos e sistemas do cenário. O roteiro pode ser um arquivo textual com figuras, vídeos, áudio ou qualquer mídia que permita a compreensão das regras laboratório.

As principais intenções desta etapa do *framework* são identificar a necessidade de criação de um laboratório virtual e preparar um roteiro para sua criação. É bem verdade que este *framework* tem por objetivo melhorar o aspecto prático de ensino aprendizagem e treinamento, porém ainda deve-se questionar a necessidade de criação de um laboratório virtual ao final de cada etapa, seja para ponderar o ganho em aprendizado, custo financeiro depreendido e tempo de criação, visto que o laboratório virtual criado pode não resultar em um ganho de aprendizado ou ainda custar recursos e tempo desnecessários durante a produção.

4.2.1 Papéis

O principal papel desempenhado nesta etapa do *framework* é do tomador de decisão, aquele que decidirá área, conceitos e necessidades de um laboratório virtual. Portanto é o professor da disciplina o ator mais adequado exercer este papel. No caso de treinamentos, os profissionais mais experientes devem exercê-lo, já que conhecem os procedimentos executados no ambiente de trabalho. Este papel recebe o nome de Especialista no diagrama da Figura 4.3.

Por outro lado, são os alunos ou profissionais menos experientes que manifestam explicitamente ou mesmo implicitamente a necessidade de aprendizado, demonstrando desinteresse, notas baixas, falta de atenção, etc. Ou no caso de profissionais, realizando procedimentos sem conformidade com as normas, com muitos erros, no tempo inadequado, gastando muitos recursos, etc. Este papel não é representado no diagrama porque não exerce nenhuma das atividades deste processo.

O professor e o especialista na área definida também têm o papel de preparar o roteiro, visto que são eles quem conhecem os conceitos, equipamentos e procedimentos que serão o propósito do laboratório virtual.

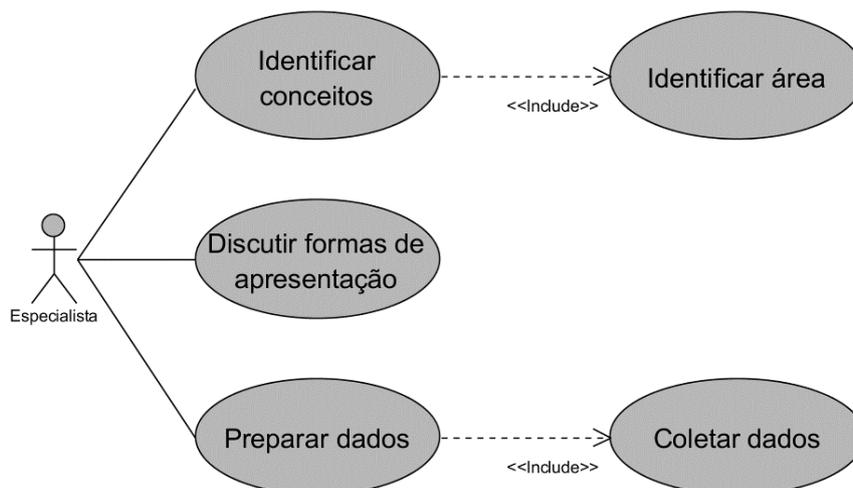


Figura 4.3 - Atribuições dos papéis na etapa de definição do laboratório

4.2.2 Implementação

Cada tarefa de cada etapa do *framework* é descrita conceitualmente e serve apenas como um guia de melhores práticas para a execução real da atividade. Assim, pode-se realizar esta tarefa, ou como esta tese nomeia, implementar esta tarefa da melhor forma possível, respeitando limitações financeiras da instituição, tempo e aproveitando práticas já existentes.

Logo, além de sugerir um *framework* conceitual como cerne desta tese, será sugerido também uma ou mais formas de implementação de cada atividade. Em geral, será apresentada a implementação utilizada nos experimentos relatados no Capítulo 5.

4.2.2.1 *Identificar a área e Identificar conceitos*

As duas primeiras atividades desta etapa, Identificar a área e Identificar conceitos podem ser implementadas praticamente como o *framework* já propõe: o professor identifica as necessidades de cada disciplina e conceitos passíveis de demonstração em um laboratório em RV.

4.2.2.2 *Discutir formas de apresentação*

A atividade Discutir formas de apresentação é implementada como uma decisão entre diferentes formas de apresentação e metodologias: laboratórios em realidade virtual em lugar de ou em conjunto com outras apresentações como palestras, vídeos, laboratórios reais, visitas técnicas, simulações matemáticas, etc. Mesmo usando RV, o conteúdo pode ser apresentado de diferentes formas, como a exploração de uma maquete virtual, simulações em um cenário virtual, operações e manutenções de equipamentos no ambiente virtual ou um *game*.

4.2.2.3 *Coleta de dados e Apresentação dos dados*

As atividades de Coleta de dados e Apresentação dos dados resultando no roteiro do experimento podem ser realizadas de uma vez só utilizando uma Instrução Técnicas (IT).

Uma Instrução Técnica é um conjunto de procedimentos ou normas que devem ser realizados fielmente a fim de resolver uma tarefa ou se enquadrar em um padrão (OLIVEIRA NETTO; TAVARES, 2006). Uma IT mostra um caminho otimizado que resolva um problema, de modo que não haja acidentes, seja rápido e utilize o mínimo de recursos disponíveis, listando ferramentas, equipamentos envolvidos, estados e pré-condições do sistema, participantes do procedimento e passos para realização do procedimento. A Eletrobrás Eletronorte S/A possui dezenas de IT's que definem passo a passo como uma operação ou manutenção deve ocorrer. Por exemplo, um procedimento de desmontagem da caixa de vedação de uma turbina hidrogeradora possui uma IT relacionada definindo desde parâmetros de segurança até os materiais utilizados na limpeza das peças. Esta IT é totalmente textual e cita nomes de peças a serem desmontadas, mostra alguns desenhos esquemáticos e fotos de peças e ferramentas.

Em resumo, uma IT já é um roteiro de execução de operações e manutenções em equipamentos e sistemas elétricos. E por ser um procedimento executado na prática, pode ser utilizado para demonstrar conceitos e ao mesmo tempo ilustrar como esses conceitos serão

usados no ambiente profissional. Portanto, utilizar uma ou mais IT's como roteiro para criação do laboratório significa realizar as últimas atividades do *framework* de uma vez só. É claro que é necessário escolher IT's que os cenários sirvam para apresentação dos conceitos. Do ponto de vista de treinamento, um laboratório virtual que mimetiza uma IT convencional torna-se automaticamente uma IT interativa.

4.3 Criação do laboratório virtual

O desenvolvimento do laboratório virtual é uma etapa crítica neste *framework*, pois diversos fatores podem resultar na falência das etapas de execução e medição. Sendo assim, para evitar desajustes no *framework*, esta etapa deve seguir as melhores práticas percebidas nos trabalhos revisados nesta tese. As características desejadas para esta etapa são listadas a seguir:

- **Agilidade:** Desenvolver os laboratórios virtuais é apenas uma etapa de um *framework* que quer como resultado a melhoria do ensino. Portanto, desenvolver não é a finalidade deste *framework*, mas sim usar o laboratório virtual em sala de aula ou ambiente profissional. Dessa forma, desenvolver com agilidade para que os laboratórios possam ser usados o quanto antes é uma característica importante desta etapa. Desenvolver usando programação em baixo nível ou usando uma *engine* gráfica pode resultar em um tempo satisfatório. Porém, usar uma ferramenta de autoria certamente será mais veloz em relação à programação (GIMENO et al., 2012), permitindo ainda que profissionais sem habilidades de programação de software possam desenvolver os laboratórios.
- **Flexibilidade:** Alterações de alguma natureza poderão ser necessárias nos laboratórios virtuais desenvolvidos, visto que a definição do laboratório também é flexível. Por exemplo, adicionar mais um equipamento à cena virtual, ou alterar o modo como se opera um instrumento. Essas alterações serão mais difíceis se o laboratório virtual foi desenvolvido com programação, pois exigirão intervenção do programador em trechos de código, que por sua vez será mais suscetível a erros. Mais uma vez, uma ferramenta de autoria pode tornar este desenvolvimento flexível o bastante para permitir a alteração sem intervenção do programador e naturalmente, pois o laboratório virtual está preparado para receber alterações com a ferramenta de autoria. Contudo, é preciso ponderar a liberdade que a programação fornece (ao permitir que qualquer alteração seja feita) com a limitação da ferramenta de autoria (que permite alteração somente dentro das funções já programadas nela). Por

exemplo, uma função para reprodução de efeitos sonoros é inexistente em uma ferramenta de autoria qualquer, mas poderia ser adicionada ao laboratório virtual usando programação.

- **Baixo custo:** não é comum gastar-se mais recursos no desenvolvimento de laboratório em RV do que num laboratório real, pois uma das razões de se usar uma abordagem RV é exatamente a economia de recursos financeiros, que seriam proibitivos em um laboratório real. O uso de equipamentos de RV imersiva encarece o laboratório virtual, a exemplo de CAVE's, óculos estereoscópios ou roupas de *feedback* háptico. Neste sentido, o baixo custo de RV Desktop não imersivo pode ser uma alternativa para laboratórios virtuais onde a imersão não é fundamental. O próprio desenvolvimento é custoso, devido principalmente à contratação de programadores. Sendo assim, um investimento inicial no desenvolvimento ou aquisição de uma ferramenta de autoria pode baratear a produção de uma grande quantidade de laboratórios virtuais, visto que não precisarão ser programados.
- **Adequado ao roteiro:** o roteiro do laboratório, o qual é o insumo desta etapa, deve ser realizado satisfatoriamente pelo laboratório virtual. Logo, detalhamento de objetos do ambiente virtual, efeitos sonoros e interações são algumas características de RV que devem fazer parte da experiência do aluno ou treinando. Assim, o desenvolvimento deve se adequar àquilo que o roteiro definiu em termos de cenário e regras do procedimento.
- **Adequado ao ensino:** o laboratório virtual desenvolvido deve dar suporte a diferentes formas de ensino e aprendizado, seja em sala de aula ou no ambiente profissional. Deve acomodar-se às diferentes capacidades cognitivas dos alunos, que pode ser alcançado através de modos de execução em níveis de dificuldade progressiva. Diferentes capacidades físicas dos alunos também devem ser previstas, dando suporte a dispositivos de interação variados e facilidades visuais, como aumento da fonte de texto ou alteração de cores, previstas no modelo de acessibilidade do Governo Federal Brasileiro (“Modelo de Acessibilidade em Governo Eletrônico”, 2015). Funções de *self-learning* também têm sido usadas nos trabalhos recentes de ensino em RV, como visto na revisão sistemática realizada nesta tese. Os modos de execução com ensino progressivo, instruções de como realizar os procedimentos no próprio ambiente virtual e formas de supervisão automática são funções que auxiliam o aluno e o treinando durante a execução dos laboratórios virtuais.

- **Possibilidades de medição e avaliação:** é importante prover métodos de medição e avaliação no próprio laboratório virtual. Um desses métodos é controlar as sessões de execução, capturando tempo de início e fim, identidade dos usuários, a exemplo de trabalhos como (DE SOUSA et al., 2010). Fornecer uma pontuação nos treinamentos também auxilia o instrutor a avaliar o treinando ou aluno. Ainda mais interessante é a integração com plataformas de ensino e avaliação como o Moodle e STEM.

Os componentes desta etapa de desenvolvimento do laboratório virtual estão relacionados na Figura 4.4, sendo que cada um deles é detalhado a seguir:

- **Roteiro:** insumo que irá nortear o desenvolvimento do laboratório virtual e a modelagem das mídias que irão compor a cena virtual.
- **Metodologia:** metodologia inicial de execução do laboratório virtual, introduzido na etapa anterior.
- **Coleta:** esta atividade deve identificar todos os objetos do roteiro que serão representados no ambiente virtual, dentre eles equipamentos, instrumentos, ferramentas, avatares, sons, narração, vídeos e texto. A partir daí, a coleta propriamente dita é realizada captando dados que ajudarão a modelagem de toda a cena virtual. A coleta pode ser realizada em campo, através de fotos, desenhos esquemáticos ou outros modelos já prontos. Por exemplo, o desenho esquemático 2D serve como molde para o modelo 3D. Ou ainda, uma foto do equipamento real, serve como textura do painel no modelo 3D. Desenhos esquemáticos são interessantes pois possuem dados das dimensões do objeto. Vídeos também ajudam na modelagem à medida que ajudam no entendimento da posição das peças em relação a outras. Até mesmo a conversa com especialistas é importante, pois serve para definir o nível de detalhe dos modelos tridimensionais, por exemplo, se um equipamento deve ter seus componentes internos modelados ou somente sua carcaça é suficiente para o laboratório requerido.
- **Modelagem:** a modelagem é a atividade de criação das mídias que irão compor o ambiente 3D. Nesta tese, usa-se o termo para definir a criação de qualquer mídia, não somente modelos 3D. Dependendo do que o roteiro pede, pode ser necessário modelar geometrias 3D, texturas, animações, sistemas de partículas, efeitos sonoros, narração, *billboards* e vídeos. Esta atividade é uma das mais demoradas do *framework*, visto que a criação de cada mídia é um processo específico, além de ser

uma atividade inevitável no início de qualquer aplicação em RV, apesar de ser possível aproveitar, em parte ou totalmente, um modelo já criado. A modelagem dos elementos do cenário pode ser feita em softwares modeladores 3D, como 3ds Max, *Blender* ou *AutoCAD* para geometrias 3D e animações. Esta atividade deve alimentar o repositório de mídia, de onde o laboratório virtual irá montar seu cenário.

- **Repositório de mídia:** todos elementos visuais ou sonoros que irão compor o cenário do laboratório virtual, devem ser armazenados neste repositório. Dessa forma, outros laboratórios virtuais podem utilizar elementos já modelados e armazenados, agilizando e barateando o processo. Existem repositórios online de mídia gratuitos, com centenas de recursos que podem ser usados ou modificados em uma aplicação RV, porém laboratórios RV muito específicos, como os de Engenharia Elétrica, podem não fazer uso desses recursos.
- **Desenvolvimento:** o termo desenvolvimento tratado nesta atividade engloba não somente programação, mas também a criação do laboratório virtual usando uma ferramenta de autoria. De fato, esta é a atividade que transforma o roteiro em uma representação virtual pois irá adicionar a lógica de funcionamento contida no roteiro ao cenário virtual captado do repositório de mídia. Portanto, para o *framework* proposto, não importa como esta etapa é executada: programação em baixo nível, *engine*, ferramenta de autoria ou qualquer modelo de desenvolvimento de software. É importante porém que esta atividade não constitua um gargalo para o *framework* em nenhuma das características citadas, pois vale ressaltar que o desenvolvimento do laboratório não é a finalidade e, considerando que esta etapa pode ser repetida durante todo o processo, fica ainda mais importante fornecer uma forma ágil de desenvolvimento. O resultado desta atividade e desta etapa é o laboratório em Realidade Virtual. Contudo, não basta somente “virtualizar” o roteiro definido na etapa anterior. É necessário também que o software desenvolvido esteja adequado às necessidades identificadas, por exemplo, a interação deve ser feita usando uma *CAVE* ou precisa ter integração com o uma plataforma de avaliação. Dessa forma, a atividade de desenvolvimento precisa da metodologia embrionária discutida na etapa de Definição do laboratório.
- **Laboratório virtual:** o resultado de toda esta etapa é o software que representa o roteiro definido em uma aplicação de Realidade Virtual e permite sua execução no ambiente a que foi destinado, seja para sala de aula ou ambiente profissional. É

importante também que este laboratório seja flexível o bastante para se adequar à mudanças, adaptações, evoluções e correções que os interessados possam demandar.

As três atividades do processo, coleta, modelagem e desenvolvimento podem ser paralelizadas de modo a realizar o desenvolvimento simultaneamente à coleta e modelagem. Isto se deve ao fato de que as mídias não são estritamente necessárias para o desenvolvimento. Por exemplo, em um laboratório virtual que possua um avatar, não é fundamental que o modelo do avatar esteja finalizado para que a lógica do laboratório seja desenvolvida. Há casos porém, em que a modelagem final é importante para o desenvolvimento: usando o mesmo exemplo do avatar, pode ser necessário criar as animações de caminhada do avatar no cenário, logo é interessante utilizar o avatar final e seu esqueleto para gerar a animação. Este paralelismo acaba por agilizar a etapa como um todo. Da mesma forma, se os recursos do cenário já estão modelados e podem ser aproveitados em um novo laboratório virtual, as atividades de coleta e modelagem não precisam ser executadas.

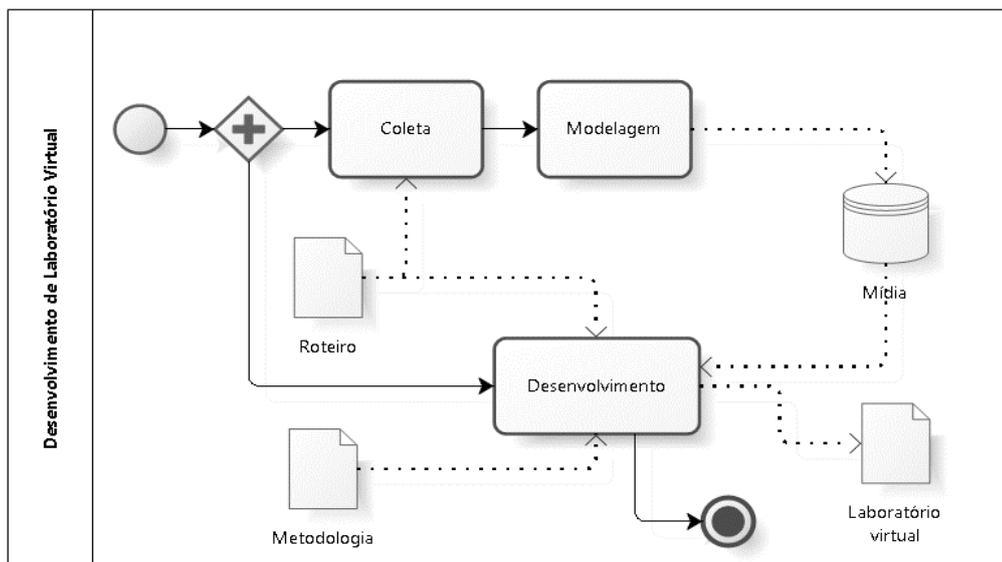


Figura 4.4 - Etapa de Desenvolvimento do laboratório virtual

4.3.1 Papéis

O modelador é o profissional que irá criar a mídia usada pelos laboratórios virtuais. Este papel está sendo tratado como um só para modeladores de diferentes mídias, como geometria 3D, texturas ou áudio. Também é atribuído ao modelador a tarefa de coletar os dados que irão subsidiar a modelagem, pois é ele que tem a percepção de quais recursos são necessários para a criação de um dado modelo e em muitos casos a percepção de como coletar. Por exemplo,

uma foto de um equipamento de um certo ângulo pode ajudar na criação de uma textura para o modelo virtual daquele equipamento.

O desenvolvedor assume a tarefa de criar o laboratório virtual. Vale ressaltar que um ator para o *framework* não indica necessariamente o indivíduo que irá exercer as atribuições, mas sim o papel que este indivíduo deve desempenhar naquele momento. Logo o ator desenvolvedor neste *framework* é um indivíduo que assume o papel de desenvolvedor e que pode, na prática, ser um programador de software ou mesmo o professor ou instrutor que irá aplicar o laboratório virtual. Mesmo um professor sem conhecimentos de programação poderia desenvolver o laboratório com o uso de uma ferramenta de autoria. De fato, essa é uma situação desejada neste contexto, visto que poderia resultar em economia de recursos.

Os papéis exercidos nesta etapa estão relacionados na Figura 4.5.

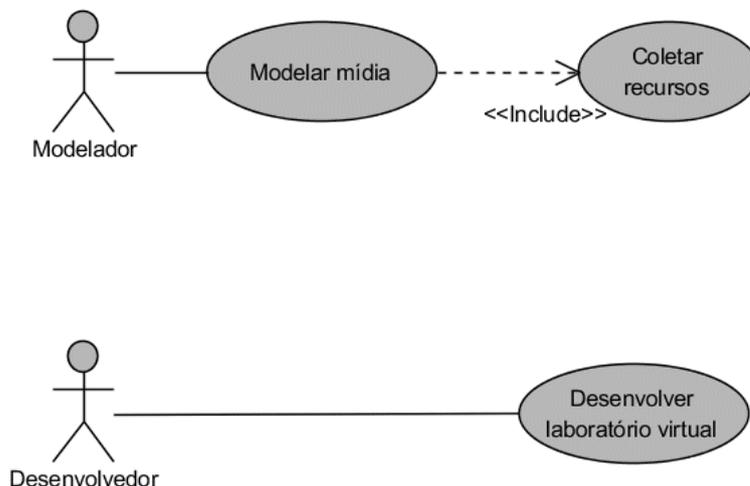


Figura 4.5 – Papéis da etapa de Desenvolvimento do laboratório virtual

4.3.2 Implementação

Esta seção apresenta a sugestão de implementação para a etapa de Desenvolvimento do laboratório virtual, reunindo os conceitos e implementações apreendidas dos trabalhos relacionados na revisão bibliográfica e ao mesmo tempo preenchendo lacunas neles observadas.

A atividade de desenvolvimento utiliza a ferramenta de autoria Sistema ITV desenvolvida em 2010, como resultado de um projeto de Pesquisa e Desenvolvimento patrocinado pela Eletrobrás Eletronorte S/A em parceria com o Laboratório de Realidade Virtual da UFPA.

4.3.2.1 Coleta

A coleta de recursos deve obter toda matéria-prima que irá formar os cenários virtuais. Os equipamentos utilizados para captar estes recursos variam principalmente conforme a disponibilidade financeira (por exemplo, dispositivos mais caros podem coletar recursos mais rapidamente) e objetivo da modelagem (por exemplo, um modelo detalhado de um avatar pode exigir captura por *scanner*). Os dispositivos de coleta comumente utilizados são:

- **Câmera:** captura imagens para criação de texturas e vídeos para entendimento do movimento de mecanismos. A boa captura das imagens pode representar menos trabalho de edição durante a modelagem, como mostra a Figura 4.6, onde a captura da imagem do equipamento real, da (Figura 4.6 (a)) é usada como textura (Figura 4.6 (b)) no equipamento virtual modelado (Figura 4.6 (c)).
- **Microfone:** a captura de efeitos sonoros emitidos pelo equipamento real que podem ser usados no ambiente real para aumentar a fidelidade da representação do cenário.
- **Scanner 3D:** equipamento que mapeia um objeto real diretamente para a malha 3D que será usada no ambiente virtual. Permite unir coleta e modelagem em uma só atividade, mas é um equipamento caro e de utilização relativamente complexa.
- **Instrumentos de medição:** as dimensões dos equipamentos e seus componentes são fundamentais para cenários virtuais, especialmente aqueles usados em treinamentos. Logo, obter as medidas dos equipamentos e sua disposição em um sistema completo é essencial para a modelagem. Portanto instrumentos como paquímetro, trena e até mesmo GPS podem ser usados para modelagem nesta tarefa.
- **Desenhos esquemáticos:** quando os equipamentos, construções e instrumentos já possuem desenhos esquemáticos em 2D ou 3D, a modelagem fica muito mais simples, visto que esses desenhos já possuem as medidas corretas dos objetos. Em muitos casos, esses desenhos podem ser fornecidos pela empresa fabricante do equipamento.
- **Repositório online:** alguns objetos 3D podem ser encontrados em fontes públicas e gratuitas na Internet, como *3D Warehouse*¹ ou *Blender Model Repository*². Quando o modelo representa um objeto real de utilização geral, como uma ferramenta ou um capacete, é vantajoso utilizar um objeto já modelado de um desses repositórios.
- **Outros objetos:** em alguns casos, diferentes laboratórios virtuais podem usar o mesmo cenário virtual. Dessa forma, objetos já modelados para um dos laboratórios podem ser reutilizados sem qualquer alteração em outros laboratórios virtuais.

¹ 3D Warehouse - <http://www.blender-models.com/>

² Blender Model Repository - <https://3dwarehouse.sketchup.com/>

Visitas aos locais de instalação dos equipamentos, são especialmente úteis para captura de texturas. Além disso, é importante que o próprio modelador realize esta visita, pois ele pode perceber mais facilmente quais detalhes são necessários capturar para usar durante a modelagem. Em todo caso, há dificuldades para a coleta de recursos que vão de restrições para visitas técnicas, difícil obtenção ou inexistência de desenhos esquemáticos até dificuldade de modelar objetos internamente. Por exemplo, quando não há o desenho esquemático de um equipamento que precisa ser modelado internamente, é necessário que este equipamento seja desmontado e a coleta de recursos para o modelo seja feita em cada peça do equipamento.

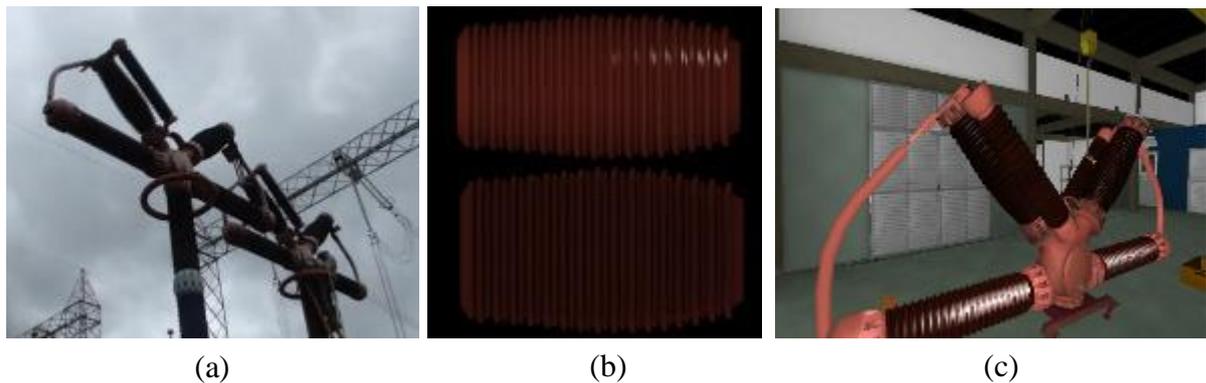


Figura 4.6 - Coleta de texturas até a modelagem. (a) Textura capturada do equipamento real. (b) Textura editada (c) Textura aplicada no modelo 3D

4.3.2.2 Modelagem

Modelos 3D, sons ou texturas podem ser criados usando programação ou softwares de modelagem e edição especializados. Porém a modelagem de cada mídia usada no cenário virtual envolve recursos, técnicas e ferramentas e específicas:

- **Objeto 3D:** em um cenário RV, a maioria dos objetos são modelos 3D e devido a isto, o maior esforço da tarefa de modelagem será na criação deles. O modelador 3D utiliza as medições coletadas para criar a malha 3D que representa a forma do objeto. A malha 3D recebe uma superfície texturizada e então está pronta para ser posicionado no mundo virtual. Ferramentas geradoras de malha 3D, como o scanner 3D, criam a malha e a superfície no momento da coleta, porém ainda assim pode ser necessário o trabalho do modelador para ajustes finos. Exemplos de softwares de modelagem 3D que podem ser usados para todas as etapas de criação de um objeto são *3ds Max* e o *Blender*. Este último é gratuito e funciona em plataformas Linux e Windows.
- **Textura:** a textura é o componente do objeto 3D que dá o aspecto realístico da sua superfície, permitindo a distinção do material representado naquele objeto, como

madeira, metal, tecido, etc. Após a coleta, a imagem matéria-prima precisa ser editada para então se tornar uma textura que será usada pelo modelador. Esta edição pode significar ajustes de brilho e cor, tamanho e resolução, aplicação de transparência e alteração, remoção ou adição de elementos na imagem. Um software de edição poderoso e com muitos recursos para criação de texturas é o editor de imagens gratuito GIMP.

- **Animações:** um objeto 3D pode ser modelado com animações embutidas. Isto geralmente é feito quando ele necessita de animações complexas que seriam difíceis de serem programadas por código, por exemplo, a animação de caminhada de um avatar pode ser criada usando-se as ferramentas do software de modelagem. As animações também podem ser capturadas com tecnologias de captura de movimento.
- **Som:** os efeitos sonoros e narrações captados também podem precisar de edição, correção do formato de dados ou adição de efeitos. Uma edição comum é tornar o som repetível, de modo que ele possa ser tocado continuamente sem que um corte brusco seja percebido.
- **Sistema de partícula:** sistema de partículas é uma técnica utilizada para representar fenômenos de comportamento aleatório que não possuem uma estrutura geométrica constante, tais como fumaça, fogo, explosões, faíscas, chuva, neve, etc. (REEVES, 1983). A modelagem de sistemas de partículas é dependente do sistema que irá renderizá-la, logo depende da arquitetura de software dos laboratórios virtuais. Em todo caso, há ferramentas de modelagem de sistemas de partículas para muitos sistemas e plataformas.

Sistemas RV são renderizados em tempo real, ou seja, as imagens que representam o ambiente virtual e que são vistas pelo usuário são geradas, a rigor, no momento em que são mostradas. Contudo, renderizar uma cena tem um custo computacional e de processamento. Logo, cenas mais detalhadas levam mais tempo para serem renderizadas e portanto, cenas muito detalhadas podem não ser renderizadas no tempo aceitável e então degradar a experiência do usuário. A modelagem de objetos 3D tem grande responsabilidade nisso, visto que objetos e toda a cena podem ser renderizadas com mais ou menos detalhes, como maior número de triângulos, texturas com resolução maior, técnicas de luz e sombra, etc. Encontrar um equilíbrio entre realismo e desempenho é tarefa do modelador, muito embora o próprio roteiro do laboratório possa exigir um nível de realismo. A Figura 4.7, por exemplo, compara o

detalhamento do modelo 3D de um parafuso. É possível que um treinando precise saber que o parafuso é sextavado em um certo treinamento, o que exigiria a modelagem mais detalhada do parafuso.



Figura 4.7 - Exemplo de equilíbrio no detalhamento de objetos 3D. (a) Modelo 3D detalhado. (b) Modelo 3D simples

A maioria das *engines*, bibliotecas de programação gráfica ou ferramentas de autoria não aceitam modelos 3D diretamente no formato criado pelos softwares de modelagem, por exemplo, o *3ds Max* utiliza o formato *3ds*, mas a API *Ogre* aceita formato *mesh*. Então, a exportação dos formatos pode ser necessária na modelagem. Da mesma forma ocorre com outras mídias como áudio e texturas.

Todas as mídias modeladas e exportadas devem ser armazenadas no repositório de mídia, como indica esta etapa do *framework* mostrada na Figura 4.4. Este armazenamento pode se dar de várias formas: em disco, versionador, nuvem de dados, etc. Vale lembrar que é mais importante que a capacidade de armazenamento seja grande do que a alta velocidade de leitura e escrita neste repositório, visto que modelos 3D e texturas comumente chegam a ordem de mega Bytes, ao passo que eles são carregados para a memória antes da renderização da cena, não exigindo alta velocidade de leitura.

É muito importante porém, que exista uma nomenclatura sólida para os arquivos que representam os modelos, que deve ser obedecida pelo modelador que irá exportar os arquivos. Isto porque o software que representa o laboratório virtual também precisa entender esta nomenclatura para carregar os arquivos e usá-los corretamente na cena virtual.

4.3.2.3 Desenvolvimento

O desenvolvimento do laboratório virtual usando programação certamente é uma opção perfeitamente realizável, mas devido à necessidade de conhecimentos de programação, alto tempo de desenvolvimento e pouca abertura para alterações, a programação é indicada somente para laboratórios virtuais pontuais ou esporádicos.

Por outro lado, se o desenvolvimento do laboratório virtual ocorrer em uma ferramenta de autoria, essas desvantagens podem não existir. Dessa forma, esta subseção irá apresentar uma ferramenta de autoria, o Sistema ITV, como forma de desenvolver os laboratórios virtuais, mostrando funcionalidades desejadas para alcançar as boas práticas desse *framework*.

4.3.2.3.1 Sistema ITV

O Sistema ITV é uma ferramenta de autoria para animações, simulações e treinamentos em RV Desktop. O conteúdo produzido é chamado de Instrução Técnica Virtual, ITV, pois o Sistema ITV foi concebido para transformar Instruções Técnicas de operação e manutenção em um manual virtual e interativo. A interface principal do Sistema ITV é apresentada na Figura 4.8, onde é mostrado o ambiente virtual no centro (área a), a barra de tarefas (área b), usada para configurar animações (rotação, translação, escala, transparência, etc.) para os objetos virtuais da ITV, o painel de configuração dos objetos (área c), a lista hierárquica de objetos da cena virtual (área d), o painel de configuração dos passos e transições (área e) e a linha do tempo das animações (área f), para configuração visual das animações.

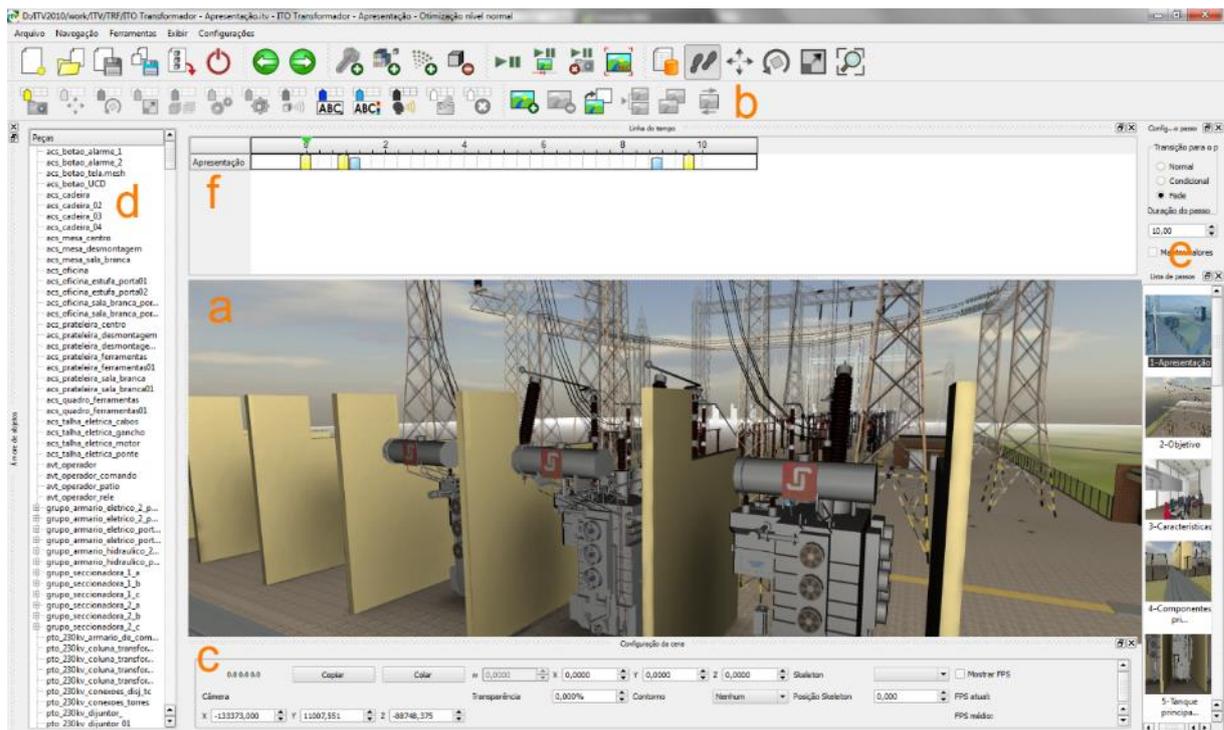


Figura 4.8 - Interface principal do Sistema ITV

Sistema ITV é um bom exemplo de como uma ferramenta de autoria pode influenciar favoravelmente no desempenho do desenvolvimento dos laboratórios virtuais. Isto porque suas funcionalidades combinam com as características desejadas no *framework*. As principais funcionalidades e características do Sistema ITV são:

- **Ferramenta de autoria:** o modo de autoria do Sistema ITV permite a criação de ITV's sem necessidade de programação, o que permite que o próprio especialista ou professor possa criar os laboratórios virtuais, que de fato é a intenção de uso do Sistema ITV nesta etapa do *framework*. Além disso, alterar ou copiar ITV's prontas torna-se mais simples e transparente. Agilidade e flexibilidade na etapa de desenvolvimento são alcançadas mais facilmente com uma ferramenta de autoria deste tipo.
- **Roteiro virtual:** o produto da autoria no Sistema ITV é uma Instrução Técnica Virtual (ITV), que por sua vez é a mimetização de uma Instrução Técnica para uma representação virtual e interativa, para ser usada em ensino e treinamento. Isto significa dizer que o roteiro do laboratório será transformado em um laboratório virtual, ou uma ITV no Sistema ITV. Da mesma forma que o *framework* prevê, as ITV's podem representar simulações voltadas tanto para ensino quanto para treinamento, ou ainda procedimentos de manutenção ou operação, simulações e maquetes virtuais.
- **Desktop:** uma ITV é um laboratório virtual desktop onde as interações são feitas usando mouse e teclado. Esta é uma alternativa barata e tem boa aceitação por usuários não familiarizados em RV imersiva. No trabalho de Moreira (MOREIRA, 2013), Sistema ITV é adaptado para uso do dispositivo Kinect em interações durante os treinamentos com as ITV's.
- **Ensino e aprendizado:** Sistema ITV apresenta funções que auxiliam o instrutor na metodologia de ensino e no processo de avaliação. Alunos e treinandos podem iniciar sessões de execução das ITV's e o software registra nome do aluno, data e hora de início e fim da sessão, quais ITV's foram executadas e qual seu desempenho detalhado em cada uma. Cada sessão pode ser executada em três modos de aprendizado: modo automático, modo guiado e modo simulação. Estes modos foram projetados para ensinar os procedimentos de operação e manutenção gradualmente, diminuindo assim a necessidade do tutor durante as sessões de treinamento. No modo Automático, o treinamento roda como uma animação, onde o Sistema ITV realiza automaticamente as tarefas do procedimento, mostrando também instruções para o aluno se familiarizar com o treinamento escolhido e equipamentos envolvidos. No modo Guiado, o aluno já deve realizar o treinamento interagindo com os equipamentos e ferramentas, mas ainda recebe instruções e dicas de como

proceder durante o treinamento. No modo de Simulação, o aluno já deve estar familiarizado com o ambiente virtual, ferramentas, equipamentos e passos do procedimento, de modo que esta familiaridade pôde ser adquirida durante os treinamentos nos modos Automático e Guiado. O modo Simulação testa o aluno na realização dos procedimentos sem qualquer orientação textual, visual ou sonora. O próprio Sistema ITV supervisiona as sessões contabilizando erros e acertos do aluno e apresenta um relatório de avaliação da execução. Estas funções se adequam à diferentes metodologias de ensino que o instrutor possa adotar e dá recursos extras para avaliação do processo.

- **Acessibilidade e usabilidade:** pode-se também apresentar painéis textuais de modo a acrescentar informações dificilmente visualizadas somente com o ambiente virtual, como data de fabricação e manutenção de equipamentos, material de fabricação, dimensões, etc. Também são fornecidas algumas funções para melhorar a acessibilidade, como aumento do tamanho e da cor da fonte do texto, realce de objetos no cenário virtual e narração.
- **Outras funções:** dentre algumas funcionalidades que facilitam a criação e podem melhorar a qualidade da ITV produzida, pode-se destacar a inclusão de efeitos sonoros 3D, gravação de vídeos das execuções na própria ITV, suporte a nível de detalhe dinâmico nos modelos 3D, inclusão de sistemas de partículas na cena virtual e suporte à animações embutidas nos objetos 3D.

Sistema ITV foi desenvolvido segundo a arquitetura apresentada na Figura 4.10. O componente Núcleo se encarrega de renderizar a parte visual dos ambientes virtuais e controla a interface do usuário (janelas, botões, texto, etc.), além de cuidar da reprodução de áudio. O componente *Loader* faz o carregamento da mídia em disco para a memória de alta velocidade e também remove automaticamente os objetos da memória e da cena quando não são mais usados, além de gerenciar o nível de detalhe dinâmico em objetos 3D. O componente Autoria e Execução reúne as funções que facilitam a criação das ITV's, salvamento e leitura do formato de arquivo que descreve uma ITV e supervisão das sessões dos usuários. O componente Mídia é um diretório em disco com os objetos a serem carregados pelo Sistema ITV. O componente *Database* é um gerenciador de banco de dados de perfis de usuário, registro das sessões e informações reais de objetos da cena, para armazenar informações do tipo “O equipamento Trafo A custa R\$ 13.000.000,00”.

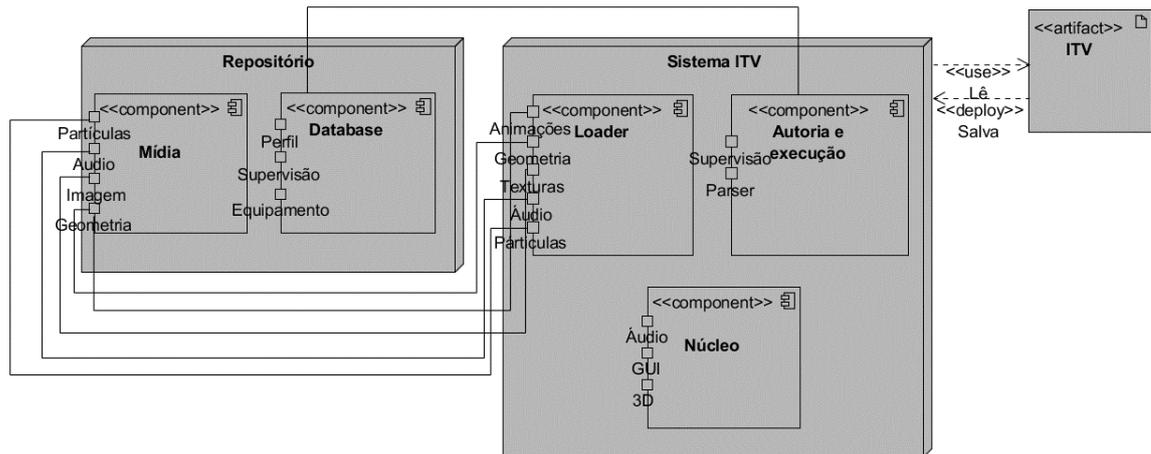


Figura 4.10 - Arquitetura do Sistema ITV

Um arquivo ITV é um arquivo XML, *eXtensible Markup Language*, que descreve o laboratório virtual criado no Sistema ITV. Apesar de ser um documento inteligível, um arquivo de projeto ITV não necessita ser alterado manualmente pelo usuário, visto que o Sistema ITV e o *Parser* se encarregam de traduzir todo documento para o ambiente virtual 3D e também de descrever todo o ambiente 3D, animações e interações em formato XML no momento de salvar uma ITV. A Figura 4.9 apresenta o conteúdo de um arquivo ITV simples.

```

1 - <xml>
2 - <PROJETO>
3 - <CONFIGURACAO>
4 - <NOME>ITO_PARADA</NOME>
5 - </CONFIGURACAO>
6 - <OBJETOS>
7 - <ger_rotor>
8 - <MESH>ger_rotor.mesh</MESH>
9 - <POSX>0</POSX>
10 - <POSY>8.883</POSY>
11 - <POSZ>0</POSZ>
12 - <ROT>1 0 0 0</ROT>
13 - </ger_rotor>
14 - </OBJETOS>
15 - <PASSOS>
16 - <PASSO_0>
17 - <NOME>Apresentação</NOME>
18 - <DURACAO>20</DURACAO>
19 - <TRANSICAO>3</TRANSICAO>
20 - <FADE_IN>1</FADE_IN>
21 - <OBJETOS_ROTACAO_INICIAL>Grupo@@@ORIENTACAO_OBJETO&amp;&amp;1 0 0 0'
22 - </PASSO_0>
23 - </PASSOS>
24 - </PROJETO>
25 - </xml>

```

Figura 4.9 - Arquivo ITV simples em formato XML

Sistema ITV foi desenvolvido em linguagem C++ e roda em plataformas Windows. A *engine* gráfica Ogre 3D (“OGRE – Open Source 3D Graphics Engine”, 2015) foi utilizada para abstração da renderização 3D. A biblioteca Qt (“Qt Project”, 2015) foi usada para desenvolvimento da interação com a GUI (*Graphical User Interface*), interação com mouse e teclado e link com o banco de dados. Para reprodução do som, a biblioteca FMOD (“FMOD |

FMOD Studio – Digital Audio Workstation for games”, 2015) foi utilizada. Todas as bibliotecas e ferramentas utilizadas são gratuitas e *opensource*.

O desenvolvimento de uma ITV ocorre em passos sequenciais, semelhantemente ao roteiro de uma IT. A Figura 4.11 apresenta o diagrama de atividades de uma ITV quanto aos passos deste roteiro. Um passo é composto por um cenário inicial e por animações que irão modificar este cenário. O cenário inicial de cada passo é o estado de cada objeto, da câmera e do painel textual no início de um passo do projeto ITV. O estado de um objeto caracteriza-se por seu posicionamento, orientação, se possui ou não contorno, nível de transparência etc. Enquanto as animações alteram estes estados ao longo do tempo. Ao fim das animações, o passo pode esperar uma ação do usuário, que representa uma interação no cenário virtual, por exemplo, o acionamento de um equipamento, o desligamento de uma bomba, etc. Caso o usuário realize a ação corretamente, o próximo passo é carregado, se houver. Se não há mais passos na ITV, um relatório é salvo e apresentado com as informações da sessão, como taxa de erros e acertos das ações.

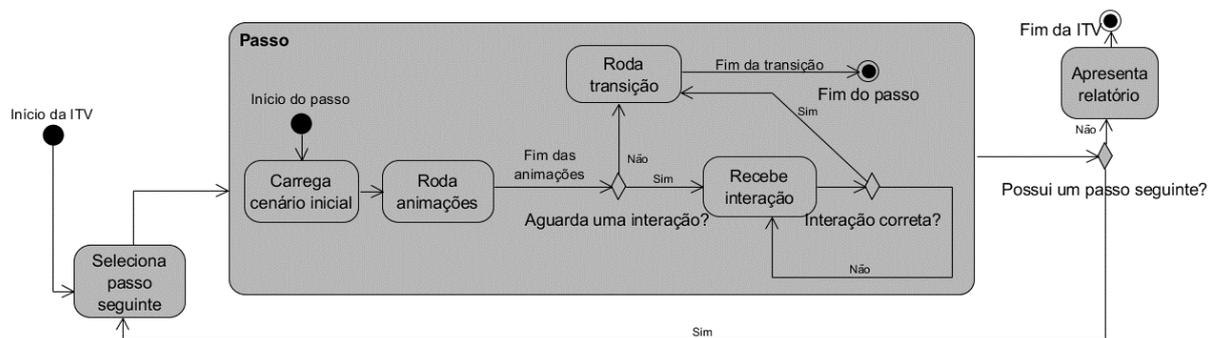


Figura 4.11 - Diagrama de atividades dos passos de uma ITV

4.4 Execução

O sucesso da execução dos laboratórios virtuais com alunos ou treinandos é o propósito deste *framework*, de modo a suprir as necessidades de ensino e aprendizado dos alunos, das instituições e das empresas. Contudo, pode-se perceber que os trabalhos revisados nesta tese carecem de uma adequação pedagógica para aliar seus experimentos com as práticas de ensino, e assim obterem ganhos ainda maiores no ensino e aprendizado com seus experimentos. A fim de superar essa carência, a etapa de Execução deste *framework* é detalhada segundo a Figura 4.12, onde cada atividade é descrita abaixo:

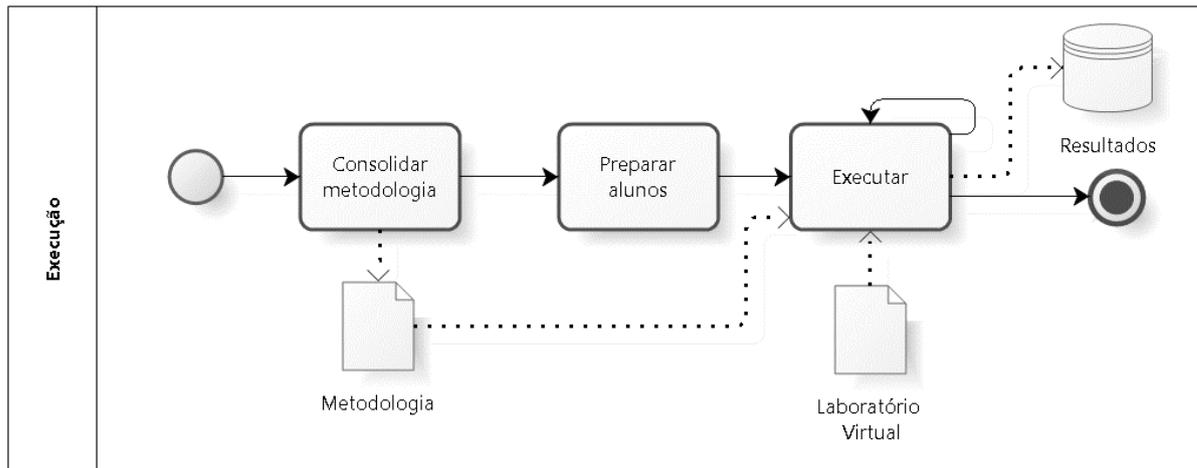


Figura 4.12 - Detalhamento da etapa de Execução do *framework*

- **Consolidar metodologia:** é fundamental aliar a aplicação dos laboratórios virtuais com uma metodologia pedagógica. Os trabalhos (CONNOLLY et al., 2012; HÄFNER; HÄFNER; OVTCHAROVA, 2013) concluem que experimentos que aplicam metodologias conseguem melhores resultados no ensino e aprendizado. Da mesma forma, aproveitar métodos já utilizados pelo professor ou pela instituição pode tornar novas experiências de aprendizado menos bruscas. Portanto, nesta etapa, deve-se amadurecer a metodologia iniciada nas etapas anteriores, definindo aspectos mais específicos como tempo de duração das sessões com laboratórios virtuais, definição de grupos e definição da avaliação da disciplina, se houver. É importante escolher métodos que deem ênfase à prática, de modo a usar os laboratórios virtuais como ilustração ou casos de uso dos conceitos estudados na disciplina. Em casos de treinamento, os laboratórios virtuais são uma simulação da prática real, servindo também para demonstrar interativamente procedimentos que são estudados somente em papel.
- **Preparar alunos:** nesta tarefa, o instrutor deve ambientar alunos e treinandos com a nova metodologia, explicando novas formas de avaliação e novos objetivos de ensino, para assim dar chance do aluno se familiarizar com as aulas e conseguir bons resultados. Também neste momento, deve-se ensinar o aluno a operar o laboratório virtual e prepara-lo para a execução.
- **Executar:** as sessões de ensino ou treinamento são executadas neste momento, onde o laboratório virtual desenvolvido na etapa anterior é operado pelos alunos ou treinandos nesta atividade. A execução deve respeitar a metodologia definida anteriormente. Nesta atividade, a supervisão (do instrutor ou automática) deve ser

realizada para alimentar o repositório de resultados com todas as informações das sessões dos alunos relevantes para a avaliação da disciplina ou utilização na etapa de Medição. A execução também pode ser repetida pelo aluno, sempre de forma controlada, para melhorar a retenção de informações ou melhorar habilidades no caso de treinamentos.

- **Resultados:** o repositório de resultados deve manter informações das sessões dos alunos ou treinandos com dados como, desempenho nas execuções, tempo de execução, número de execuções, quais laboratórios foram executados, etc. Estas informações podem fazer parte da avaliação do aluno ou servir como habilitação do profissional em um dado procedimento, por exemplo, número de horas mínimas exigidas no treinamento com um simulador RV antes de partir para o procedimento real.

4.4.1 Papéis

O especialista é aquele que irá aplicar a metodologia, preparar os alunos e supervisioná-los ou instruí-los durante a execução dos laboratórios virtuais. Logo, este papel pode ser exercido pelo professor ou pelo profissional especialista na área. Em alguns casos, um outro ator, como um aluno ou outro profissional, pode ser habilitado previamente pelo professor de modo a ajudá-lo na supervisão das sessões, de modo a sanar algumas dúvidas quanto à operação do laboratório virtual. É claro que esta situação não se aplica caso a metodologia definida indique a presença do professor durante as sessões, para por exemplo, ensinar conceitos enquanto a prática é demonstrada nos laboratórios virtuais.

Obviamente que são os alunos que executam os laboratórios virtuais. São eles portanto que estão sendo supervisionados e avaliados. Contudo, vale ressaltar que desempenhos ruins durante a execução ou mesmo na disciplina como um todo, podem ser evidência de uma falha na implementação do *framework*.

A Figura 4.13 apresenta o diagrama de caso de uso para os papéis desta etapa de Execução.

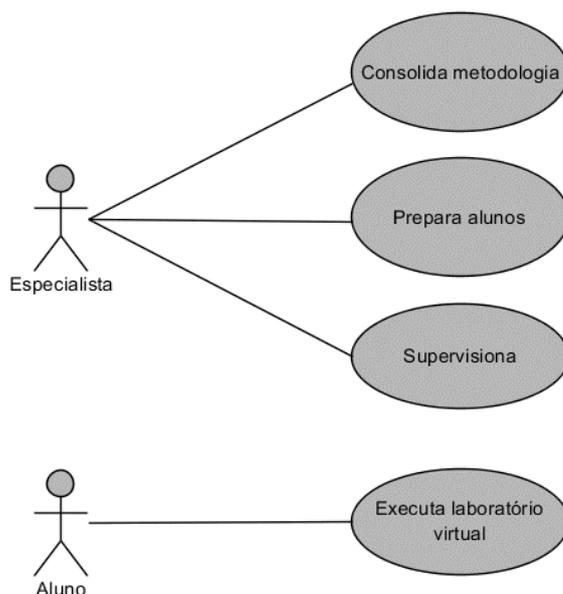


Figura 4.13 – Papéis e atribuições para a etapa de Execução

4.4.2 Implementação

As muitas formas de se implementar esta etapa devem levar em conta fatores relacionados a seguir, como citado em (SABAG; DOPPELT, 2012):

- **Propósito:** diferenciar a metodologia da aplicação dos laboratórios virtuais para ensino em sala de aula ou treinamento profissional, visto que o treinamento é mais voltado para entendimento das habilidades e técnicas mais específicas (MARCELO DA SILVA HOUNSELL, 2010). Além disso, entender quais aspectos do ensino se quer melhorar, por exemplo, motivação, retenção de conhecimento, resolução de problemas, etc.
- **Alunos:** conhecer o público-alvo e entender suas necessidades, pontos fortes e fracos são fatores fundamentais para a escolha da metodologia. Muitas vezes tratar a turma como um grupo homogêneo e não atentar para as necessidades individuais de cada aluno, influencia erroneamente na escolha da metodologia.
- **Instituição:** utilizar métodos que a instituição dispõe, devido a fatores financeiros ou normativos que possam existir.
- **Área escolhida:** cada área de conhecimento pode exigir métodos específicos.

4.4.2.1 Consolidar metodologia

Problem-Based Learning e outros métodos *Active-Learning* têm obtido bons resultados no ensino de Engenharia, onde destacam a capacidade de resolver problemas práticos, uma

característica desejada do profissional de Engenharia (GARCIA; HERNÁNDEZ, 2010; GARCIA-ROBLES et al., 2009; KIM, 2012; LAMAR et al., 2012; SANTOS-MARTIN et al., 2012; YOON et al., 2014).

Utilizar o PBL como metodologia pode resultar nos problemas citados na Seção 2.1.2, a saber, exigência brusca de carga cognitiva e dificuldade de implantação. Porém, aplicar partes do PBL em uma metodologia já existente pode significar evitar esses problemas. Uma forma de aplicação seria empregar problemas reais aos alunos, de modo que eles possam utilizar conceitos aprendidos com o professor para resolvê-los. Usando então as etapas anteriores do *framework*, os laboratórios virtuais em forma de ITV podem ser aplicados em uma metodologia convencional, onde cada ITV representa uma IT real. Desta forma, ambienta-se o aluno às situações do cotidiano profissional e demonstra a aplicação prática dos conceitos aprendidos em sala de aula.

Além disso, as ITV's são desenvolvidas e executadas usando-se as características de GBL, na medida que apresentam informações pela simples visualização do cenário virtual, ensinam habilidades durante as interações com o cenário e motivam através do estímulo de solucionar o problema.

Em treinamentos a metodologia pode ser muito mais simples, visto que os conceitos embutidos nas IT's são mais lineares, ou seja, interessa mais chegar ao objetivo (completar a ITV sem erros) do que de fato entender como equipamentos e sistemas funcionam. Muito embora seja importante em algumas IT's, conhecer as causas de certas falhas a fim de identificá-las rapidamente e precisamente.

A avaliação dos alunos em uma metodologia usando laboratórios virtuais também pode variar muito. Pode-se usar o desempenho da execução das ITV's como parte da avaliação. Ou ainda, considerar que as ITV's representam um ganho de conhecimento para a disciplina e usá-las como forma de fixação dos conceitos e então avaliar de forma convencional o conhecimento desses conceitos. Uma outra forma seria questionar o aluno sobre a relação dos procedimentos realizados nas ITV's com os conceitos aprendidos em sala de aula.

4.4.2.2 Preparar alunos

É fundamental familiarizar o aluno com os métodos pedagógicos e utilização dos laboratórios virtuais, de modo que a usabilidade de ambos não configure um *overhead* ao ensino dos conceitos e da prática. Em outras palavras, o aluno perde tempo aprendendo a usar a

ferramenta em vez de aprender os conceitos da área de conhecimento envolvidos no laboratório virtual.

Alunos acostumados com outros ritmos e métodos precisam ser familiarizados com os possíveis novos critérios. Em metodologias *active learning* por exemplo, o aluno pode equivocadamente pensar que não há avaliações e assim perder a motivação em aprender mais daquela área, que era o propósito inicial da metodologia.

Em ambientes profissionais, pode ser necessário um treinamento inicial para conhecimento de novas ferramentas, especialmente quando se usa Realidade Virtual imersiva. Até mesmo um trabalho de divulgar ou mesmo convencer dentro da empresa ou instituição pode ser necessário, visto que mudanças tecnológicas e metodológicas podem encontrar barreiras culturais no ambiente de trabalho.

4.4.2.3 Executar

A execução é a própria operação do laboratório virtual. Apesar de RV possibilitar a liberdade de exploração, treinamentos remotos, em grupo e execuções repetíveis, é necessário que esta atividade seja controlada e siga a metodologia definida no *framework*. Isto porque é importante avaliar os usuários e também o *framework* como um todo. A supervisão tem um papel importante neste controle. A supervisão automática pode gerenciar mais facilmente as sessões, controlando a entrada de alunos por *login* e senha e salvando resultados. Logo, é interessante que o laboratório virtual possua esta funcionalidade, assim como as ITV's possuem. Contudo, a supervisão pode ser realizada por uma pessoa, registrando manualmente notas, horários, etc. Este tipo de supervisão também é interessante para observar aspectos que são difíceis de registrar automaticamente, como dificuldades de usabilidade do laboratório virtual, possíveis falhas de software e hardware, falta de motivação e até mesmo dificuldade com conceitos da área de conhecimento estudada.

Para auxiliar a execução em treinamentos, os modos Automático, Guiado e Livre de uma ITV dão a oportunidade de entender o procedimento de forma gradual. Desta forma o treinando depende menos do instrutor, visto que as instruções de como completar os procedimentos da IT já fazem parte do laboratório virtual.

Sistema ITV possui uma configuração de interface mais simples e especialmente voltada para a execução dos laboratórios virtuais, onde não é possível fazer alterações na ITV neste modo, chamado módulo de treinamento. A Figura 4.14 mostra o Sistema ITV nesta configuração, onde somente a barra de navegação lateral e horizontal estão disponíveis para o usuário



Figura 4.14 - Modo de treinamento do Sistema ITV

4.5 Medição

Todo processo pode ser melhorado, corrigido e atualizado. Contudo, a falta de métodos para melhoria de um processo é um dos principais fatores para o fracasso em sua execução (BRASSARD, 2002). A implementação deste *framework* também precisa ser avaliada quanto a sucessos e fracassos para melhorias nas próximas execuções. Neste sentido, esta etapa de medição é necessária neste *framework* proposto.

Vale ressaltar que esta etapa não representa o monitoramento do *framework*, mas sim uma retrospectiva das implementações de cada etapa, desta forma admite-se uma abordagem menos proativa e mais reativa quanto a possíveis falhas na implementação do *framework*. Apesar disso, é possível voltar a outra etapa para alterar alguma definição ou desenvolvimento, por exemplo, após uma execução, verifica-se a necessidade de inclusão de interação do usuário usando *joystick*, então o *framework* pode voltar até a etapa de desenvolvimento ou definição do laboratório virtual.

A etapa de medição é detalhada na Figura 4.15, onde cada atividade é definida como:

- **Medir:** os resultados das execuções registrados na etapa anterior servem melhor à avaliação dos alunos, mas não para medir o *framework*. Dessa forma, pode ser

necessário realizar novas medições, dessa vez mais voltadas à análise dos pontos fracos e fortes do processo geral, por exemplo, velocidade de desenvolvimento dos laboratórios virtuais, barreiras na coleta de informações para o roteiro ou deficiências na metodologia pedagógica.

- **Avaliar:** de posse das medições necessárias, pode ser realizada uma análise dos resultados conseguidos e comparar com os resultados que se esperava no ensino ou treinamento usando laboratórios virtuais. Pode-se também avaliar aspectos voltados ao próprio *framework*, por exemplo, esperava-se gastar menos tempo durante a modelagem de objetos 3D. Além disso, é importante sempre lembrar que possíveis futuras realizações do *framework* serão mais maduras, rápidas e baratas, com recursos já coletados e possivelmente com laboratórios virtuais já desenvolvidos.
- **Ajustar:** neste momento pode-se decidir alterações, melhorias e correções no *framework* com base nas avaliações feitas anteriormente. Nesta tarefa também podem ser realizadas modificações na metodologia e no roteiro do laboratório para efetivamente melhorar futuras execuções do processo.

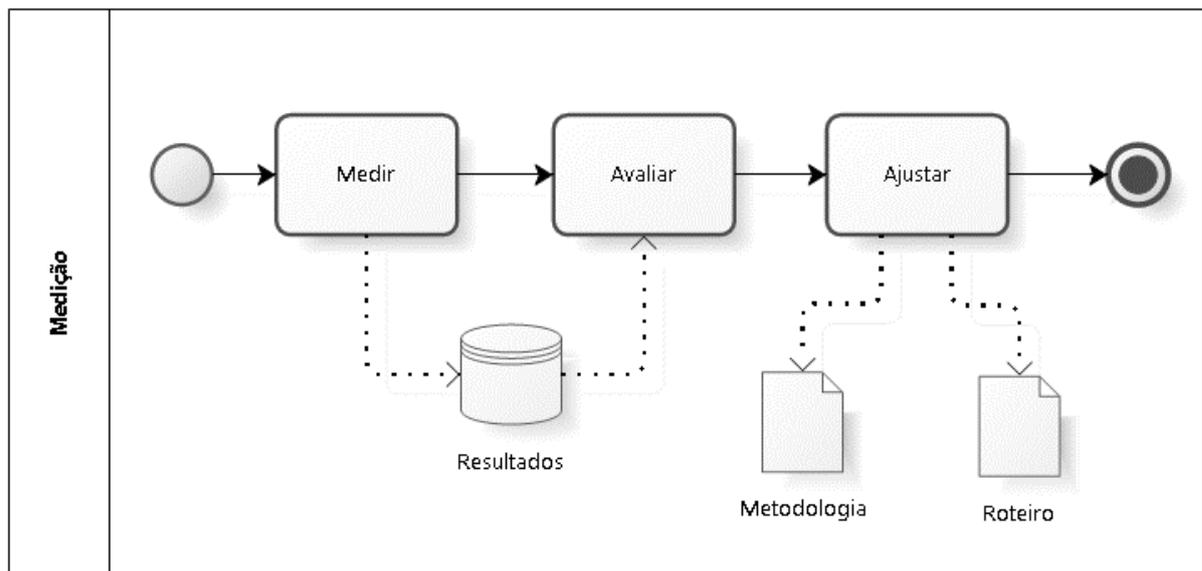


Figura 4.15 - Detalhamento da etapa de medição

4.5.1 Papéis

O responsável pelas tarefas da etapa de medição é o gerente, ou seja, aquele que pode tomar a decisão quanto ao fim ou continuação dos experimentos. Em geral, este papel é exercido pelo próprio professor ou profissional especialista que também atuou em etapas anteriores. Isto

porque foi ele que idealizou e participou das execuções, e que pode decidir sobre mudanças, melhorias e até mesmo pelo fim dos experimentos com laboratórios virtuais.

O ajuste do *framework* deve ser realizado pelo gerente e pelo especialista, visto que podem haver modificações na metodologia e no roteiro do laboratório. O gerente, neste caso, pode atuar principalmente em questões que podem afetar a metodologia, como por exemplo, restrição orçamentária, novos critérios de avaliação na instituição ou ainda novas normas de conformidade em treinamentos de uma empresa.

A Figura 4.16 apresenta o diagrama com a relação entre papéis e atribuições para esta etapa.

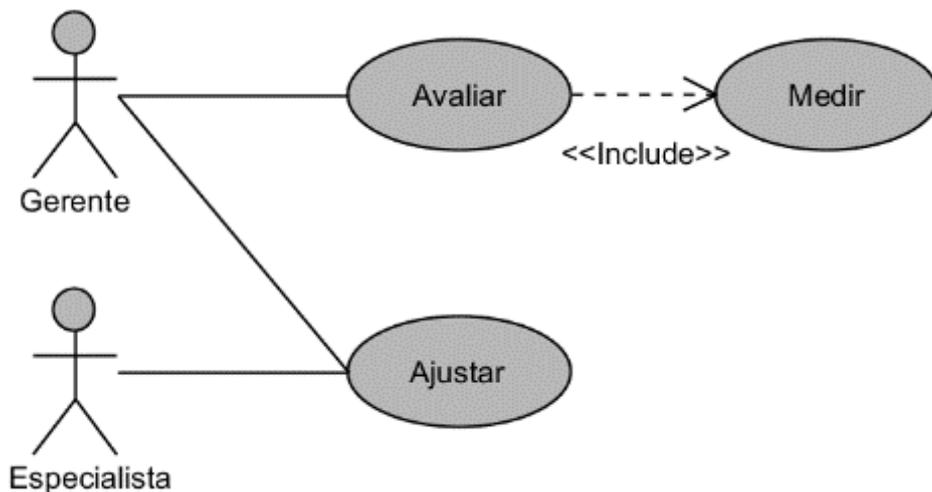


Figura 4.16 - Papéis e atribuições para a etapa de Medição

4.5.2 Implementação

A realização da etapa de medição deve ser orientada ao propósito ou objetivo do uso do laboratório virtual. Por exemplo, se a adição de experimentos em RV no ensino de uma disciplina tem o intuito principal de aumentar a motivação, logo as medições do *framework* devem medir, analisar e ajustar o laboratório com o objetivo de aumentar a motivação da turma.

4.5.2.1 Medir

Algumas formas de medição encontradas nos trabalhos revisados nesta tese, além de outras ferramentas de medição, são listadas abaixo:

- **Questionários:** verifica-se o quanto a utilização dos laboratórios virtuais foi útil para o aluno ou treinando questionando-os objetivamente. A ideia é direcionar as

perguntas em torno do propósito dos experimentos, para obter medidas que indiquem o sucesso ou fracasso do laboratório virtual. Por exemplo, a pergunta “Qual a motivação em cursar a disciplina usando os experimentos?” teria respostas fixas como, “Mais motivado que a disciplina convencional”, “Mesma motivação”, “Menos motivado que a disciplina convencional”.

- **Dissertação:** orientar o aluno a dissertar sobre a experiência com o laboratório virtual. A dissertação livre permite que os alunos abordem questões que muitas vezes não foram previstas pelo especialistas e que são muito úteis para a melhoria dos laboratórios. Apesar do uso de experimentos em RV ter o intuito de demonstrar a prática de um dado conceito, dissertações e questionários são interessantes para medir subjetivamente o ganho em conhecimento e habilidades práticas, especialmente em ensino acadêmico, visto que é difícil controlar esta medição até a chegada do aluno à vida profissional.
- **Observação:** alguns aspectos podem ser medidos pela visualização do comportamento dos alunos. Tendo como exemplo, alunos muito dispersos, “cola” entre alunos ou insatisfação com o experimento. Assim, a observação do comportamento da turma é interessante para fornecer uma primeira orientação em outras medições. Por exemplo, observa-se uma insatisfação dos participantes, então pode-se aplicar um questionário perguntando qual o motivo da insatisfação com o experimento.
- **Medição de recursos:** é sempre importante registrar o consumo de recursos durante a realização do *framework*, por exemplo, custo financeiro, tempo depreendido no desenvolvimento, esforço dos profissionais para realizar as etapas, etc. Esses números poderão ser relevantes para comparar os resultados esperados, caso façam parte do objetivo do laboratório virtual.
- **Notas:** a melhoria das notas dos alunos indica sucesso no método de ensino e aprendizado. Isto, por sua vez, pode ser fruto da inserção do laboratório virtual nessa metodologia. A comparação das notas deve seguir um modelo estatisticamente significativo, sendo que duas formas comuns são comparar notas com turmas passadas e dividir a turma em grupos que utilizarão o experimento e outros que cursarão a disciplina na forma convencional (CONNOLLY et al., 2012).
- **Taxa de erros:** no ambiente profissional, pode ser medido o número de erros na execução real de um procedimento. Desta forma, pode-se comparar esta quantidade

de erros entre os profissionais que treinaram com o laboratório virtual e aqueles que tiveram treinamento convencional. Esta medição é muito útil para constatar melhoras reais na prática dos procedimentos.

- **Desempenho em disciplinas relacionadas:** também é interessante verificar o desempenho do aluno em disciplinas que utilizam conceitos ensinados em disciplinas anteriores que usaram o laboratório virtual na metodologia. Isto porque a retenção do conhecimento e a melhoria de habilidades práticas podem ser aspectos interessantes para definir o sucesso dos experimentos, mas só podem ser medidos a longo prazo.
- **Frequência:** a maior presença dos alunos às aulas com uso dos experimentos pode servir para analisar a motivação da turma.

4.5.2.2 Avaliação

Em resumo, a avaliação deve analisar os resultados da implementação do *framework*. Para isso, as medições realizadas na etapa de Medição são comparadas com o resultado que se esperava com o uso dos laboratórios virtuais.

Uma forma de comparar esses resultados é pelo cálculo do tamanho do efeito ou significância estatística. Este cálculo apresenta como resultado um fator numérico que indica o tamanho do efeito de um experimento sobre os alunos. Há várias formas de encontrar este fator: o Teste de Cohen, Teste de Glass, Teste de Hedges, Teste ψ (Psi), etc. (VIEIRA, 2011). Segundo o Teste de Cohen por exemplo, o efeito é pequeno se o fator for entre 0,20 e 0,30, médio entre 0,40 e 0,70 e grande para um fator maior que 0,80. Estes efeitos, contudo, precisam ser comparados com os tamanhos dos efeitos de outros trabalhos semelhantes.

4.5.2.3 Ajustes

Qualquer etapa da implementação do *framework* pode ser alterada, desde a definição até as formas de medição e avaliação. De fato, os ajustes representam melhoria em todo o processo que por sua vez devem melhorar a experiência ensino e aprendizado. Estes ajustes podem resultar em modificações no roteiro do laboratório virtual ou na metodologia. Em ambos os casos pode-se decidir por alterações no próprio laboratório virtual.

Ressalta-se a importância de se agilizar e flexibilizar a etapa de desenvolvimento para que o laboratório virtual seja facilmente adaptável. Utilizando as ITV's por exemplo, pode-se realizar ajustes em pouco tempo, editando-as com o Sistema ITV.

Usando meios estatísticos ou não, atestar o sucesso ou fracasso do experimento e decidir por mudanças na implementação do *framework* é uma discussão mais profunda. Por exemplo, se os resultados foram abaixo do esperado, é necessário cancelar ou pode-se tentar melhorias para as próximas iterações? Ou ainda, se houve sucesso nos experimentos, tenta-se algo novo para melhorar ainda mais ou mantém-se a implementação?

CAPÍTULO 5 - EXPERIMENTOS

Este capítulo descreve experimentos em ensino e treinamento em RV usando o *framework* proposto. Dois experimentos são apresentados: ensino de transformadores para alunos da disciplina de Conversão de Energia Elétrica e treinamento para operadores e mantenedores de uma usina hidrelétrica, respectivamente na Seção 5.1 e Seção 5.2. Em cada experimento serão apresentadas as implementações das etapas do *framework* e suas implicações para o ensino, treinamento e efeito na melhoria da prática para cada aplicação.

5.1 Experimento 1: Conversão de energia elétrica, transformadores e subestação elétrica

A disciplina de Conversão de Energia do curso de graduação em Engenharia Elétrica tem o objetivo de ensinar a transformação de energia elétrica ocorrida em equipamentos como transformadores e autotransformadores, relacionando com as leis físicas que regem a conversão, além do estudo de materiais de fabricação destes equipamentos.

Além do entendimento da própria conversão elétrica, esta disciplina também é fundamental para entendimento de outros fenômenos e equipamentos estudados em outras disciplinas de Engenharia Elétrica, a exemplo de Sistemas de Energia, Transmissão de Energia, Geração de Energia e Distribuição de Energia.

Na Universidade Federal do Pará, esta disciplina é ministrada no 6º semestre do curso (com um total de 10 semestres), com uma carga horária de 60 horas. Uma disciplina de laboratório associada à Conversão de Energia é ministrada no 7º semestre, com 30 horas de carga horária. Este laboratório destina-se à experiência com motores e transformadores de pequeno porte e monofásicos, permitindo ensaios relativos à teoria apresentada em sala de aula, além da leitura de valores como tensão, corrente e frequência nesses equipamentos.

O *framework* apresentado nesta tese foi aplicado e implementado para complementar o conhecimento prático dos conceitos apresentados nessa disciplina, dando ênfase em equipamentos de grande porte, sua operação e manutenção em um ambiente operacional, implicações de segurança e funcionamento em um sistema completo de transmissão. Desta forma, as etapas, papéis e atividades do *framework* devem para atender estes propósitos e são detalhadas nas seções seguintes.

5.1.1 Definição do laboratório

Nesta etapa, o papel de especialista foi exercido pelo professor da disciplina no Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará.

5.1.1.1 Identificar a área e Identificar conceitos

O especialista iniciou a tarefa Identificar a área e Identificar conceitos e percebeu que o estudo de Conversão de Energia poderia ser complementado, agregando-se uma visão mais concreta de transformadores e autotransformadores e seu funcionamento em uma subestação de transmissão de energia elétrica. Assim, alguns pontos foram identificados como necessários para o ensino da disciplina:

- Identificar visualmente os principais componentes de transformadores.
- Relacionar a teoria de transformação de energia elétrica com cada equipamento real integrado ao sistema elétrico.
- Conhecer a função prática de transformadores e autotransformadores em um sistema elétrico real.
- Conhecer operações reais e os efeitos dos equipamentos em uma subestação.
- Entender procedimentos de segurança dos operadores e mantenedores no ambiente de produção.
- Conhecer operações de emergência para proteção dos equipamentos.
- Conhecer fisicamente os *tap's* do transformador e a atuação dos mesmos para regulação de tensão.

5.1.1.2 Discutir formas de apresentação

Além desses conceitos específicos, foi percebida a necessidade de se conhecer os transformadores e componentes envolvidos em ambiente de produção, visto que é um equipamento utilizado em diversas áreas profissionais do futuro Engenheiro Eletricista. Sendo assim, na atividade Discutir formas de apresentação, foi reconhecida a carência de laboratórios de grande porte na universidade e a dificuldade de agendar visitas técnicas em subestações na região. O cenário de ensino e aprendizado para este momento foi identificado como:

- Aulas do tipo palestra, com projeção de *slides*.
- Laboratório relativo à disciplina é ministrado no semestre seguinte.
- Dificuldade de acesso a laboratórios ou instalações elétricas reais.

5.1.1.3 Coletar dados e Preparar dados

O especialista considerou então o uso de laboratórios em Realidade Virtual para suprir essas necessidades e complementar o estudo na disciplina. Neste momento, um esboço da Metodologia foi gerado, assim como o *framework* prevê, definindo-se interações usando mouse e teclado, com a intenção de apresentar mais facilmente os laboratórios para uma grande quantidade de alunos e concomitantemente à ministração da disciplina.

As atividades Coletar dados e Preparar dados foram executadas de uma só vez, de modo que Instruções Técnicas de operação e manutenção em transformadores, subestações e outros equipamentos serviram como Roteiro para o *framework*. As IT's foram fornecidas pela Eletrobrás Eletronorte S/A em papel ou meio digital e foram baseadas na Subestação de Vila do Conde no Pará. Algumas precisaram ser ajustadas em conversas com o especialista da empresa.

Após a coleta, o professor selecionou aquelas IT's que demonstrariam de alguma forma os conceitos ensinados em sala de aula, aspectos práticos da profissão e questões de proteção envolvendo transformadores e subestações. Sendo assim, 4 grupos de IT's foram selecionados segundo a Tabela 5.1, onde cada grupo foca em algum aspecto importante do ensino de conversão de energia.

No total, 17 IT's serviram como roteiro para a criação dos laboratórios virtuais na etapa seguinte. Desta forma, agilizou-se estas atividades da etapa de definição que resumiram-se a coletar as IT's e selecionar aquelas mais relevantes ao propósito do experimento.

Tabela 5.1 - Instruções Técnicas utilizadas como roteiro para o experimento de ensino de Conversão de Energia

Grupo	Intenção de ensino	IT's do grupo (Títulos e número de IT's do grupo)
Apresentação	Apresentação e livre exploração de uma subestação e seus componentes. Mostra transformadores e autotransformadores diferenciando seus tipos e apresenta detalhadamente componentes internos e externos. Esta IT tem a intenção ambientar o aluno no sítio de produção da subestação e conhecer seus equipamentos constituintes.	Apresentação (1)
Operação de transformadores	Entender qual o efeito da transformação de energia no sistema elétrico como um todo. Entender a função do <i>tap</i> para o autotransformador; entender o que é alterado internamente no autotransformador durante a operação do <i>tap</i> , como isso altera a relação de voltagem e corrente	Comutação Remota/Relé/Local, Comutação do <i>tap</i> com paralelismo, comutação do <i>tap</i> sem paralelismo,

Grupo	Intenção de ensino	IT's do grupo (Títulos e número de IT's do grupo)
	entre os enrolamentos e o que isso provoca no equipamento.	comutação do <i>tap</i> por fase. (4)
Proteções internas de transformadores	Entender a variação de temperatura no óleo e nos enrolamentos do transformador, causada por falhas ou operações incorretas. Diferenciar a relação de voltagem ideal e prática. Checar valores de dissipação de calor e variação tensão de saída na ocorrência de alguma contingência e conhecer os procedimentos de resposta a estas ocorrências.	Sobretensão de óleo causada por operação imprópria, Sobretensão de óleo causada por falha no equipamento, Sobretensão de enrolamento causada por contingência, Sobretensão de enrolamento com causa desconhecida, Nível anormal de óleo no comutador, Nível anormal de óleo no transformador, Nível anormal de gás, Monitoramento da temperatura dos enrolamentos, Monitoramento da temperatura do óleo, Monitoramento do nível de gás. (10)
Manutenção	Visualização prática do desgaste de equipamentos e como isso afeta a relação de transformação. Verificar os requisitos e normas de segurança envolvidos na execução de tarefas em ambiente de produção.	Montagem/desmontagem de um transformador, Manutenção preventiva do comutador do <i>tap</i> (2)

5.1.2 Criação do laboratório virtual

5.1.2.1 Coleta

Com as IT's servindo de roteiro, os modeladores identificaram quais objetos são importantes para representação no cenário 3D. Esta atividade foi realizada pelos bolsistas do LARV na UFPA, que também realizaram a atividade de modelagem. Em 5 meses foram realizadas 4 visitas à Subestação de Vila do Conde no Pará e 1 visita à subestação do Guamá, também no Pará.

Os principais recursos recuperados durante a etapa de coleta para objetos 3D foram desenhos esquemáticos em 2D, tanto em formato digital quanto impresso, fornecidos pela Eletrobrás Eletronorte S/A, fotografias e vídeos da usina. Os desenhos 2D, baseados em vetores, foram usados como principal referência para a criação das geometrias. Porém esses desenhos

representam apenas cortes seccionais dos objetos, logo as fotografias e vídeos tiveram importância fundamental para percepção da estrutura tridimensional das peças. Alguns equipamentos precisaram ser desmontados pelos funcionários para registro e medição das peças internas pelos modeladores, visto que a representação interna desses equipamentos era importante para a IT. De forma complementar, muitas informações foram obtidas por meio de diálogos entre os modeladores e os funcionários das subestações, que forneceram detalhes mais específicos e opinaram sobre o nível de detalhes requerido para cada objeto virtual.

Em certas IT's selecionadas para este experimento, alguns procedimentos são realizados remotamente via interface computacional, mais especificamente, os operadores da subestação controlam os equipamentos pelo Sistema Aberto de Gerenciamento de Energia, SAGE, responsável pelo controle remoto de todo sistema elétrico brasileiro. Assim, para representar com fidelidade as operações realizadas pelos funcionários, foi necessário também capturar telas deste sistema para a modelagem.

Mídias de áudio foram capturadas de equipamentos reais em funcionamento, porém a maioria (narrações) foi capturada ou gerada no próprio LARV.

5.1.2.2 Modelagem

A etapa de modelagem foi realizada por 6 modeladores ao longo de 8 meses. Juntamente com a coleta, esta etapa foi realizada simultaneamente ao desenvolvimento, de modo a agilizar todo o processo.

Foram modelados 1.923 objetos 3D, 1.289 texturas, 33 áudios, 2 efeitos de sistemas de partículas e 27 animações complexas, ocupando 426 MB em disco. Este grande número de modelos produzidos em pouco tempo é resultado de uma equipe de modelagem experiente, tanto na tarefa de modelagem quanto na coleta.

Os modelos foram exportados para os formatos que o Sistema ITV utiliza (os laboratórios virtuais serão ITV's) e armazenados em um diretório que representa o Repositório de mídia do *framework*. Os modeladores obedeceram uma nomenclatura para melhor organização e leitura pelo Sistema ITV. Dessa forma, convencionou-se nomes em minúsculo, língua portuguesa, sem preposições e espaço. Além disso, um prefixo foi adicionado ao nome para identificar o equipamento ao qual ele pertence, por exemplo, o modelo com o nome "trf_chave_contato_movel.mesh" representa a peça chave do contato móvel do equipamento transformador.

Animações complexas foram geradas em tempo de modelagem e armazenadas no repositório. As ferramentas de modelagem, *Blender* e *3ds Max* possuem funções que ajudam na criação deste processo. A Figura 5.1 mostra o esqueleto gerado pelo 3ds Max que é usado para produzir uma animação de caminhada no avatar.



Figura 5.1 - Modelo 3D do avatar e esqueleto para animações.

Efeitos mais complexos que não poderiam ser modelados como um objeto 3D, foram produzidos como um sistema de partículas. Um script simples poderia ser editado para configurar os parâmetros de geração das partículas. A Figura 5.2 mostra um efeito de chama de maçarico gerada com sistema de partículas.



Figura 5.2 - Efeito gerado com sistema de partículas para este experimento

Os modeladores também tiveram o cuidado de utilizar técnicas de redução de polígonos dos modelos 3D quando o objeto não necessitava ser mostrado em detalhes na cena virtual, melhorando assim o desempenho geral do Sistema ITV. A exemplo dos modelos mostrados na Figura 5.3 onde o modelo o transformador da parte (a), que será visualizado internamente e de perto durante a ITV, possui uma malha 3D com 96.540 polígonos, enquanto o transformador da parte (b), que apenas compõe a cena virtual na ITV, possui 24.846 polígonos.

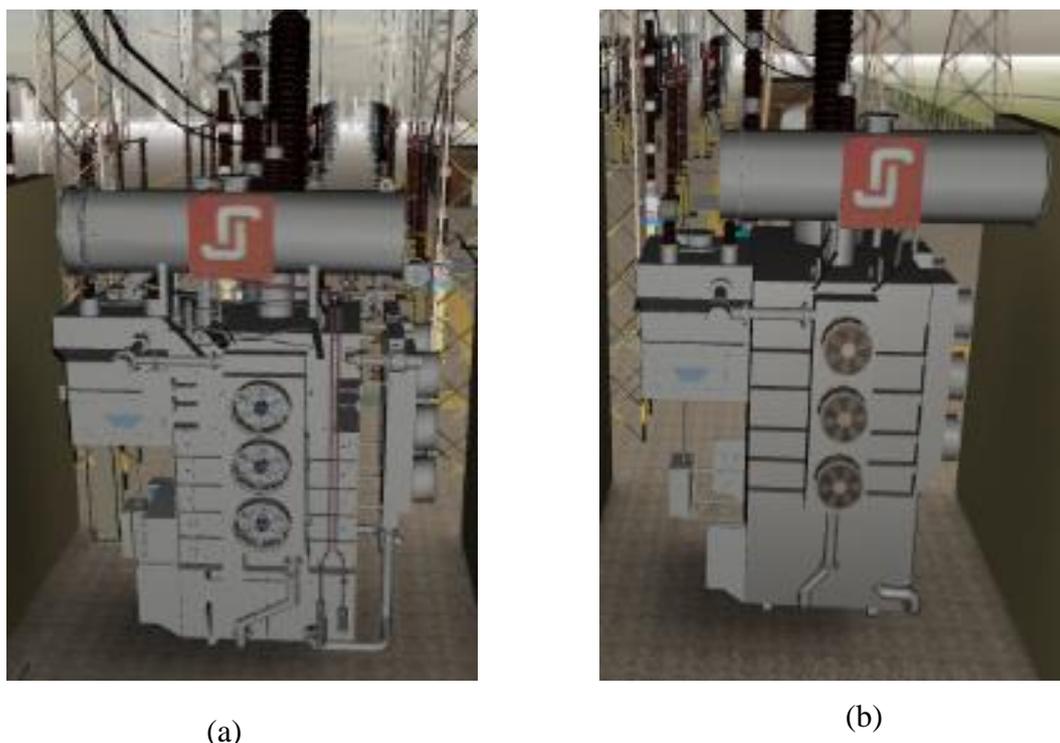


Figura 5.3 - Modelo 3D de um transformador.(a) Modelo detalhado.(b) Modelo simples

5.1.2.3 Desenvolvimento

Cada uma das 17 IT's selecionadas na primeira etapa e relacionadas na Tabela 5.1, foram transformadas em um laboratório virtual, ou ITV, visto que esta etapa de desenvolvimento utilizou o Sistema ITV para autoria dos laboratórios.

As ITV's foram desenvolvidas na ferramenta de autoria do Sistema ITV, isto possibilitou a produção de todas elas em 3 meses por 3 desenvolvedores, bolsistas do LARV. Não foi necessária nenhuma intervenção de programação durante o desenvolvimento, embora os desenvolvedores também fossem programadores. O especialista professor da disciplina não angariou tempo para criação dos laboratórios virtuais, por isso não atuou como desenvolvedor nesta etapa. Todavia teve grande atuação nos ajustes finos do desenvolvimento de cada ITV. Esses ajustes no desenvolvimento da ITV dentro da própria etapa, foram possibilitados pela

edição na ferramenta de autoria do Sistema ITV. De outra forma, muito mais esforço precisaria ser depreendido para fazer alterações e correções nas ITV's. Assim, Sistema ITV foi a opção para o desenvolvimento dos laboratórios virtuais porque consegue mimetizar diretamente uma IT, de modo a diminuir possíveis intervenções no roteiro. Além disso, por ser um sistema RV Desktop, o desenvolvimento fica mais simples, barato e rápido.

A Tabela 5.2 apresenta o número de passos da ITV, incluindo o número de transições interativas, o tempo em minutos que cada ITV leva para ser executada no modo Automático e o número de passos definidos na IT original. O número de passos da IT original é sempre menor que o número de passos da ITV. Isto ocorre porque o desenvolvedor pode escolher dividir um passo em outros para melhorar o entendimento e a navegabilidade. Por exemplo, um passo descrito na IT como “Remover os parafusos da tampa”, pode ser desenvolvido na ITV como “Pegar ferramenta”, “Retirar parafuso 1”, “Guardar parafuso 1”, “Retirar parafuso 2” e assim por diante. A ITV de apresentação não possuía uma IT correspondente e foi criada para mostrar os principais componentes do transformador. Esta ITV foi desenvolvida sem interações, embora o aluno possa explorar o cenário e equipamentos livremente. O tempo de cada ITV é calculado somando-se o tempo de duração de cada passo.

Tabela 5.2 - Características de cada ITV desenvolvida no Experimento 1

ITV	Passos na ITV	Interações	Tempo (minutos)	Número de passos na IT
Apresentação	22	0	3,66	Não se aplica
Comutação Remota/Relé/Local	48	29	5,25	21
Comutação do <i>tap</i> com paralelismo	45	29	4,35	19
Comutação do <i>tap</i> sem paralelismo	20	13	3,12	9
Comutação do <i>tap</i> por fase	26	22	3,87	13
Sobretensão de óleo causada por operação imprópria	14	4	2,40	5
Sobretensão de óleo causada por falha no equipamento	57	36	6,08	29

ITV	Passos na ITV	Interações	Tempo (minutos)	Número de passos na IT
Sobretensão de enrolamento causada por contingência	15	4	2,31	5
Sobretensão de enrolamento com causa desconhecida	57	36	6,40	31
Nível anormal de óleo no comutador	11	4	2,27	5
Nível anormal de óleo no transformador	11	4	2,26	5
Nível anormal de gás	11	4	2,26	5
Monitoramento da temperatura dos enrolamentos	20	4	3,11	7
Monitoramento da temperatura do óleo	14	4	2,08	5
Monitoramento do nível de gás	52	36	6,2	25
Montagem/desmontagem de um transformador	197	137	20,43	101
Manutenção preventiva do comutador do <i>tap</i>	39	31	7,55	12

Uma função da ferramenta de autoria do Sistema ITV é a cópia de passos, de modo que é possível reaproveitar passos, cenários e animações prontas dentro de uma mesma ITV ou de outra. Por isso, em muitos casos não é necessário desenvolver uma ITV inicialmente vazia, pois pode-se evitar o retrabalho aproveitando porções de outras ITV's. Este reaproveitamento ocorreu no desenvolvimento de todas as ITV's deste experimento, pois como elas compartilham o mesmo cenário virtual da subestação de Vila do Conde, pode-se levar vantagem dessa funcionalidade do Sistema ITV. Um exemplo está nas ITV's "Nível anormal de óleo no transformador" e "Nível anormal de gás", onde cerca de 90% dos passos, cenários e animações foram reaproveitados da ITV "Nível anormal de óleo no comutador".

As instruções de ajuda para o aluno mostradas nos modos Guiado e Automático, são produzidas de uma vez só na ferramenta de autoria do Sistema ITV, onde no momento da

execução, o software mostra ou não aquela instrução, de acordo com o parâmetro escolhido durante a autoria. Dessa forma, uma só ITV é desenvolvida mas que serve para os três modos de execução, adequando-se à diferentes metodologias de ensino que possam ser definidas.

Foi utilizada uma função do Sistema ITV que permite customizar interação em qualquer área de uma textura para o desenvolvimento das interações com interfaces de comando virtual. A Figura 5.4 dá um exemplo do desenvolvimento dessa interação, onde a tela virtual original, mostrada na parte (a) é marcada com a ferramenta de seleção do Sistema ITV. A área selecionada é então referenciada como uma área interativa, como mostra a parte (b). Desse modo, pode-se realizar interações do tipo, “Clicar no botão OK da caixa de diálogo.”. Esta função é importante para o desenvolvimento de ITV’s, especialmente para este experimento, visto que as IT’s selecionadas possuem muitas interações com interfaces virtuais, como o SAGE ou painéis de comando de relés.

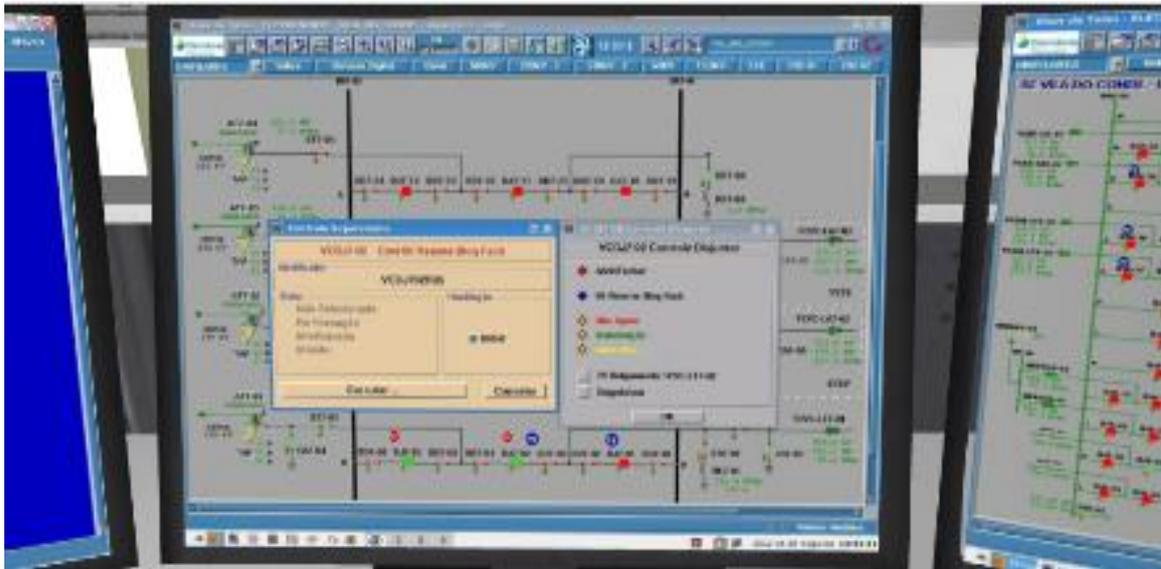
5.1.3 Execução

O propósito da aplicação das ITV’s para os alunos da turma de Conversão de Energia era a melhoria do aspecto prático dos conceitos estudados em sala de aula, de modo que eles tivessem a percepção de como os conhecimentos teóricos são aplicados em equipamentos, sistemas e procedimentos envolvidos na profissão. Portanto a metodologia e a execução das ITV’s foram definidas para melhorar este aspecto

Foi dada ênfase a transformadores e autotransformadores neste experimento, considerando seus componentes internos, princípios de funcionamento, funções dentro de uma subestação e procedimentos de operação e manutenção dentro do ambiente de produção.

5.1.3.1 Consolidar metodologia

Este experimento foi aplicado a 90 alunos do curso de graduação em Engenharia Elétrica da UFPA, divididos nos dois semestres letivos do ano de 2013, com 47 alunos para o primeiro semestre e 43 para o segundo. A disciplina de Conversão de Energia compreende os tópicos de teoria de conversão eletromecânica de energia, transformadores monofásicos e trifásicos, autotransformadores e máquinas de corrente contínua. Nesse contexto, tópicos relacionados a transformadores tomam aproximadamente 50% do curso.



(a)



(b)

Figura 5.4 - Desenvolvimento de interações para telas virtuais no Sistema ITV

O especialista que realizou a tarefa de consolidar a metodologia de aplicação do experimento foi o próprio professor da disciplina. Dessa forma, para apresentar teorias e ao mesmo tempo demonstrar funcionalidades e componentes de transformadores e da subestação, o professor utilizou o Sistema ITV durante as aulas para mostrar o cenário, modelos 3D e procedimentos simples que julgasse necessários para o entendimento dos conceitos. Em um segundo momento, os estudantes executaram procedimentos nas ITV's relacionadas aos tópicos estudados. Os estudantes deveriam executar as 17 ITV's sem grandes interferências do professor, embora pudessem consultar informações de outras fontes, inclusive de colegas de classe. Assim o professor esperava melhorar também as habilidades em resolução de problemas.

O desempenho dos alunos na execução das ITV's não foi levado em conta para a avaliação na disciplina. Dessa forma, o professor esperava que as ITV's auxiliassem no entendimento dos conceitos e assim ajudasse os alunos nas avaliações convencionais da disciplina. A mesma metodologia foi utilizada nas duas iterações do *framework* realizadas nos 2 semestres de 2013.

5.1.3.2 Preparar alunos

Os novos elementos de ensino inseridos pelo professor não implicaram em dificuldades de implantação da metodologia na universidade. Isto porque utilizar um sistema RV é muito mais barato e seguro que organizar visitas técnicas a pátios de subestações ou usinas hidrelétricas. Da mesma forma, a metodologia de execução e avaliação das ITV's foram explicadas e absorvidas de modo a preparar os alunos sem maiores problemas. Contudo, o modo de avaliação foi cuidadosamente explicado para que não houvesse relaxamento no estudo com as ITV's, visto que os alunos poderiam considerar esta etapa como uma parte não importante da disciplina, já que não fazia parte da avaliação.

Os alunos conheceram o local onde os experimentos em RV seriam executados pois não havia computadores na própria sala de aula. Assim, dezesseis computadores do LARV foram disponibilizados para realização do experimento após as aulas. O Sistema ITV foi instalado e preparado com o repositório de mídia relativo às 17 ITV's do experimento. Computadores de uso geral podem executar o Sistema ITV, fato possibilitado principalmente porque a interação com o sistema se dá por mouse e teclado e sem elementos de RV imersiva.

Foram organizados grupos e horários, de modo que cada sessão de 1 hora de duração, contivesse somente 16 alunos. O professor considerou 3 sessões por aluno para execução dos experimentos. A Tabela 5.3 resume esta distribuição considerando os dois semestres de 2013. Os experimentos foram realizados após as aulas convencionais sem prejuízo de frequência a outras aulas que pudessem ocorrer no mesmo horário.

Tabela 5.3 - Distribuição dos horários considerando os dois semestres

Alunos	Duração da sessão (hora)	Alunos por sessão	Número de sessões por aluno	Total de horas
90	1	16	3	18

Para se familiarizar com o modo de treinamento do Sistema ITV (modo mais simples e voltado para execuções da ITV, escondendo as funções de autoria e impedindo alterações), modos de execução, interações e navegação no ambiente virtual, cada aluno executou a ITV de apresentação relacionada na Tabela 5.2 na primeira sessão no LARV. O professor também mostrou as principais ferramentas do Sistema ITV em sala de aula.

5.1.3.3 Executar

Cada aluno poderia executar as 17 ITV's durante as sessões agendadas para ele. Contudo, houve um controle para que fossem executadas as ITV's mais relevantes para aquele momento da disciplina mostrada em sala de aula.

O aluno precisava logar com seu perfil no Sistema ITV para iniciar as execuções que ficaram registradas para posterior análise. Da mesma forma, o professor também supervisionou pessoalmente as sessões, controlou a execução das ITV's e observou pontos que poderiam ser importantes para a etapa de avaliação. O aluno também foi instruído a executar o modo de execução Guiado de uma ITV pelo menos uma vez, onde ele vê as instruções mas as interações são executadas automaticamente. A Tabela 5.4 apresenta algumas estatísticas de execução durante os 2 semestres do experimento.

Tabela 5.4 - Estatísticas de execução das sessões para o experimento 1

ITV mais executada	ITV menos executada	Porcentagem média de acertos nas interações	Duração média das sessões
Apresentação	Montagem/desmontagem de um transformador	73,3%	43 minutos

Para exemplificar a execução de uma ITV nesse experimento, a Figura 5.5 mostra a Comutação do *tap* com paralelismo ativado, do grupo operação de transformadores, onde é realizada a alteração simultânea de tensão em três transformadores das três fases da subestação. Nesta ITV o aluno atua como operador da subestação e deve ajustar o valor de tensão na saída dos transformadores para 550 KV. No início da ITV, uma introdução é apresentada para indicar o propósito daquele procedimento em um painel textual e uma narração em áudio, como mostra a Figura 5.5 (a). O controle dos transformadores nesta ITV pode ser feito pelo sistema SAGE que também possui um monitor de eventos da subestação, onde a ocorrência de um evento no sistema elétrico é indicada visualmente e com um alarme sonoro. O SAGE, o monitor de eventos e os alarmes também são representados no cenário virtual. A ITV simula um evento de

desativação do paralelismo que é sinalizado no SAGE, como mostrado na Figura 5.5 (b). O operador reconhece o evento e desativa os alarmes. Este evento pode causar uma alteração na tensão de saída dos transformadores, logo o operador precisa atuar reativando o paralelismo, como mostra a Figura 5.5 (c), e reajustando os valores de tensão caso necessário. Este reajuste é mostrado na Figura 5.5 (d). O controle da tensão via SAGE resulta em uma atuação dos comutadores do *tap* de cada transformador, logo é necessário que essas mudanças sejam confirmadas. Para isso o operador verifica os eventos de mudança no SAGE, como mostra a Figura 5.5 (e), e também instrui um outro operador a verificar as mudanças nos relés da subestação e diretamente no painel de controle local do *tap*, como mostrado na Figura 5.5 (f) e na Figura 5.5 (g), respectivamente. Nesta ITV, o mesmo aluno atua como o operador do SAGE e como operador no pátio da subestação, a fim de que entenda a relação entre a comutação do *tap*, a alteração de tensão na saída do transformador e a consequência disso para o sistema de transmissão da subestação.

Para exemplificar as interações do aluno com a ITV, a Figura 5.6 mostra um trecho da ITV Manutenção preventiva do comutador do *tap*, onde o aluno pode conhecer uma chave comutadora fisicamente em detalhes e como o mecanismo de chaveamento funciona para escolha das espiras dos enrolamentos do transformador. A Figura 5.6 (a) mostra as ferramentas disponíveis para aquela manutenção. No próximo passo é dada uma dica ao aluno de qual ferramenta ele deve utilizar para a manutenção naquele momento, como mostra a Figura 5.6 (b). O procedimento continua se o aluno selecionar a ferramenta correta, passo mostrado na Figura 5.6 (c). Cada vez que ele escolhe a ação correta ou incorreta, o registro é salvo e é apresentado em um relatório final semelhante ao da Figura 5.7.

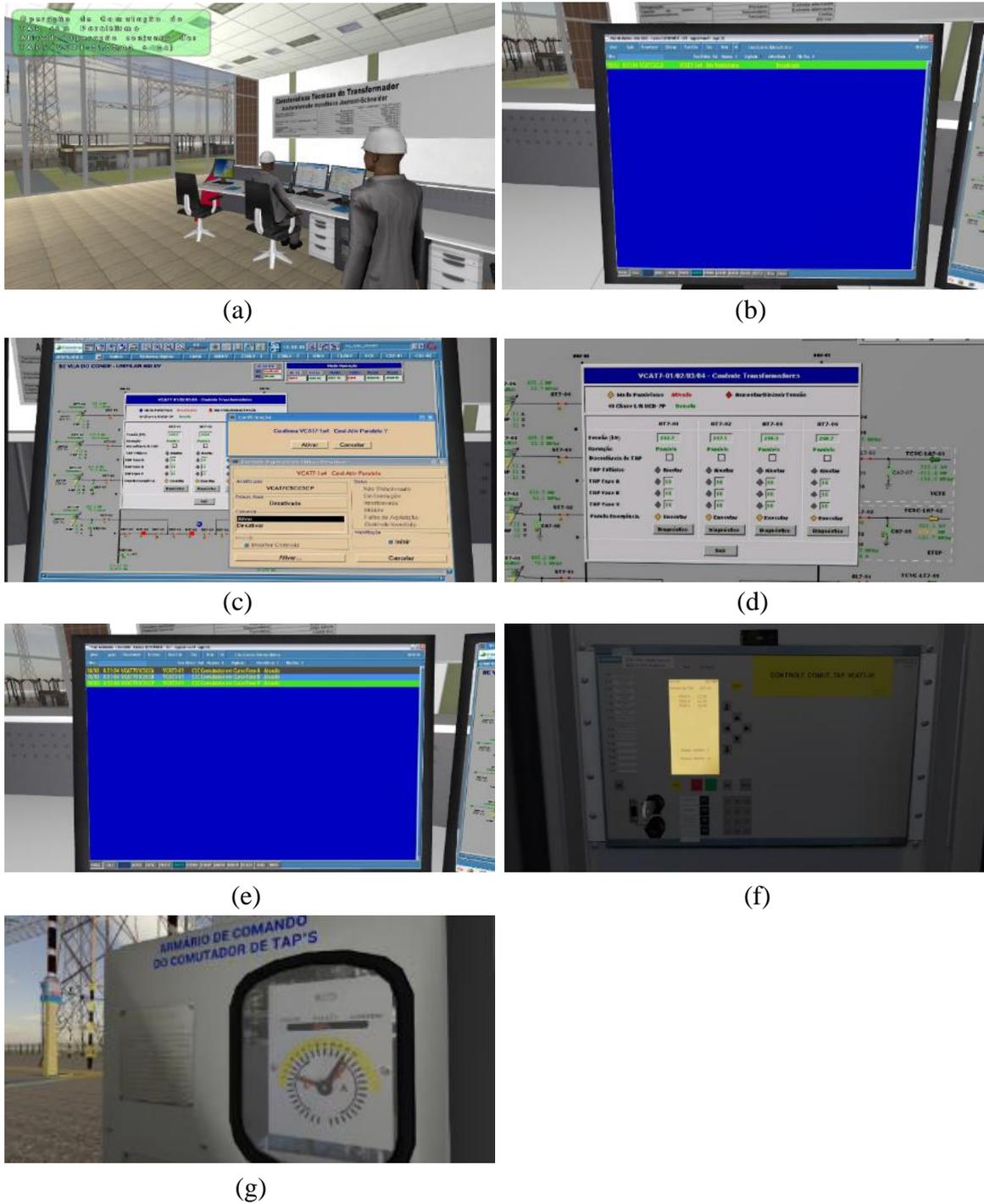


Figura 5.5 - ITV de comutação do tap com paralelismo ativado. (a) Introdução. (b) Alarme de desativação do paralelismo. (c) Controle do paralelismo via SAGE. (d) Controle da tensão via SAGE. (e) Eventos indicativos da atuação dos tap's. (f) Confirmação de alteração

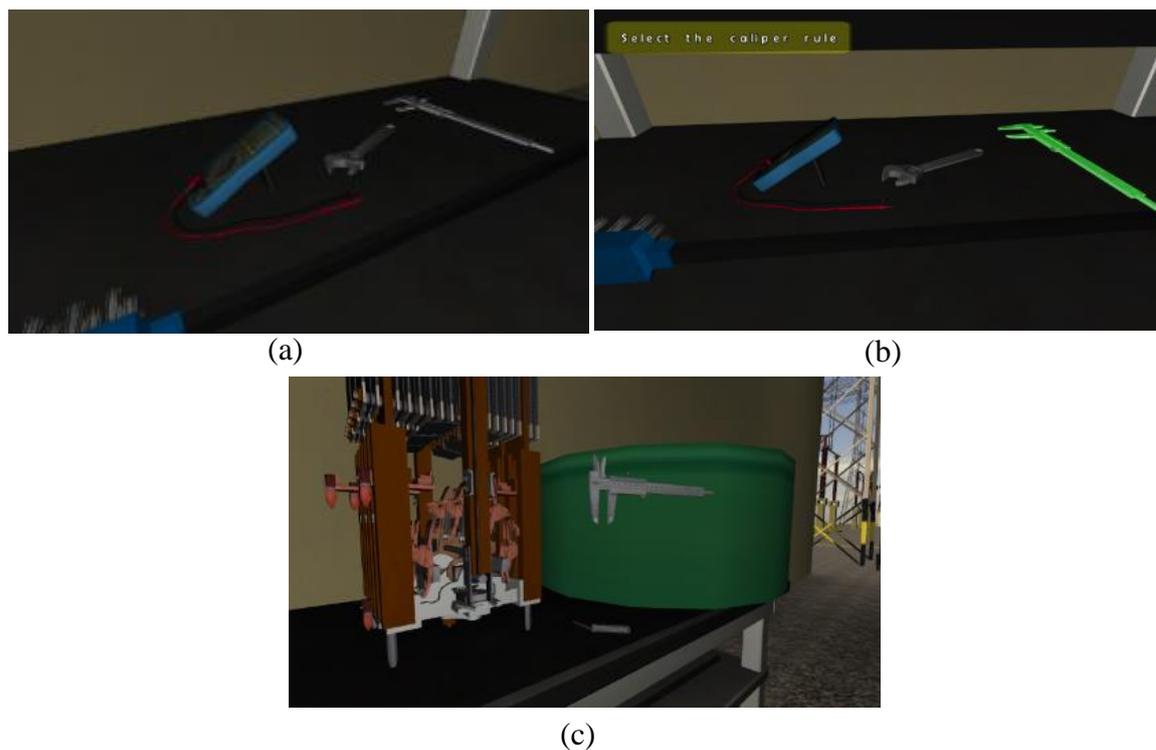


Figura 5.6 - Interação do aluno na ITV de manutenção do tap. (a) Bancada de ferramentas para escolha pelo aluno. (b) No modo guiado, o Sistema ITV dá a dica de qual ferramenta deve ser usada naquele momento. (c) O aluno escolhe o paquímetro corretamente e a manute

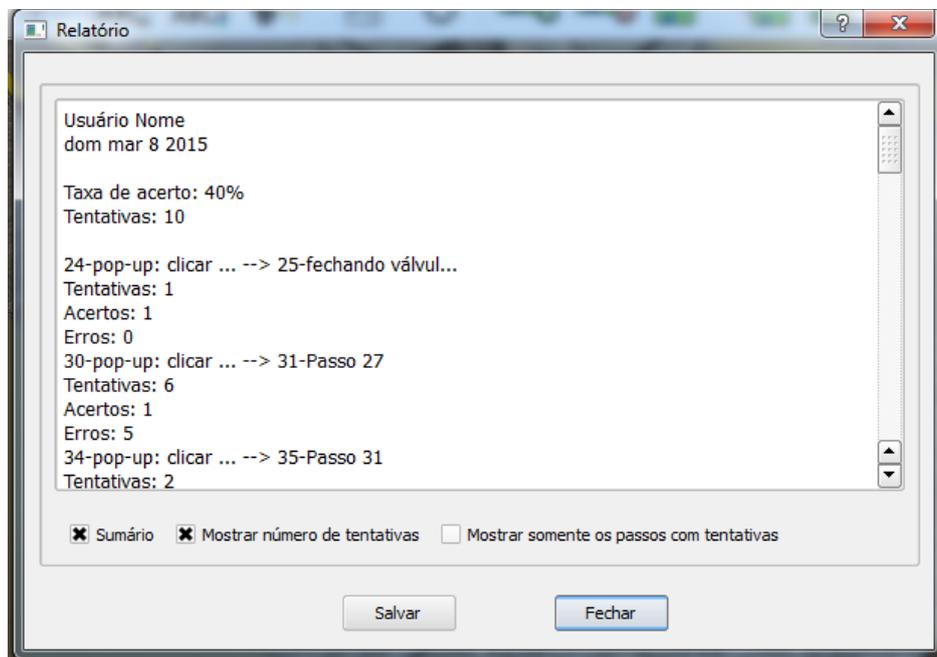


Figura 5.7 - Relatório de execução da ITV

5.1.4 Medição

A etapa de medição foi realizada após cada semestre letivo de 2013 e seus resultados são mostrados nesta seção.

5.1.4.1 Medir

Foram conduzidas 4 medições nesta etapa, além das observações e resultados registrados na etapa de execução: Questionário de múltipla escolha, dissertação, notas dos alunos e frequência nas aulas. Aqui o professor atuou como gerente, a fim de medir qualitativamente e quantitativamente o experimento.

Para uma análise qualitativa, ao final do curso cada estudante foi questionado com 7 perguntas com respostas de múltipla escolha sobre a experiência de utilização das ITV's para o estudo da disciplina. Além disso, foi pedido aos alunos que dessem o *feedback* por escrito em formato dissertativo, para considerar os pontos fortes e fracos do experimento, considerações gerais no uso das ITV's e sugestões de melhorias na metodologia pedagógica e nas próprias ITV's. Nem o resultado dos questionários nem as dissertações tiveram qualquer efeito nas notas dos alunos na disciplina.

As questões e respostas do questionário aplicado são mostrados na Tabela 5.5. Os dados indicam o número de alunos que responderam aquela opção e a porcentagem referente aos 90 alunos totais do experimento. Os valores em **negrito** indicam que aquela opção foi a mais escolhida.

As dissertações também foram aplicadas ao fim do curso e os termos mais comuns e relevantes encontrados nos textos são apontados a seguir:

- A qualidade das simulações foi qualificada como “detalhada” por 43 alunos. Algumas dessas dissertações usaram frases como “o detalhe indo desde um parafuso no transformador até a rede de distribuição da subestação”.
- O termo “esclarecedor” foi usado por 39 estudantes para descrever a experiência de visualização dos equipamentos virtuais em um sistema elétrico completo.
- As ITV's foram consideradas “interessantes” ou “relevantes” para o curso por 45 alunos.

Tabela 5.5 - Resultado do questionário aplicado aos 90 estudantes deste experimento. Os dados referem-se ao número/porcentagem de respostas para cada opção. Dados em negrito são os máximos.

<i>Questões</i>	<i>Muito alto</i> #/ %	<i>Razoável #</i> / %	<i>Baixo</i> #/ %	<i>Muito baixo</i> #/ %
1. Quão adequado são as ITV's para o ensino de transformadores?	64 / 71,1%	26 / 28,9%	0 / 0%	0 / 0%
2. Quão realistas são os objetos e os cenários virtuais modelados nas ITV's apresentadas?	44 / 48,9%	46 / 51,1%	0 / 0%	0 / 0%
3. Qual o nível de usabilidade percebido para execução das ITV's (usabilidade da interface, como botões, navegação com o mouse e teclado, ícones, etc.)?	36 / 40,0%	52 / 57,8%	0 / 0%	2 / 2,2%
4. Qual o nível de motivação para usar as ITV's desse experimento?	70 / 77,8%	18 / 20,0%	2 / 2,2%	0 / 0%
5. Quanto as ITV's aplicadas à disciplina melhoraram o entendimento do funcionamento dos equipamentos demonstrados?	90 / 100%	0 / 0%	0 / 0%	0 / 0%
6. O quanto você recomendaria este curso com a abordagem em RV para outros estudantes?	90 / 100%	0 / 0%	0 / 0%	0 / 0%
7. Qual o nível satisfação geral em cursar a disciplina com as ITV's?	52 / 57,8%	38 / 42,2%	0 / 0%	0 / 0%

- Os modos de execução foram citados por 39 estudantes que usaram termos e frases como “intuitivo” ou “independente do instrutor”.
- Sete alunos consideraram os procedimentos descritos nas ITV's “complexos” e mais voltados a profissionais do que estudantes.
- O melhor entendimento da aplicação dos equipamentos foi considerado por 43 estudantes.
- A melhoria da “retenção” ou “reforço do conhecimento” foi comentada por 56 alunos.
- Vinte e dois alunos afirmaram que o experimento foi interessante pela “extensão do ambiente teórico”. Um exemplo de comentário neste sentido foi “visualização do equipamento no ambiente de produção é interessante e esclarecedora, visto que só estudávamos estes equipamentos em sala de aula”
- Os termos “motivador” ou “desafiador” foram usados por 72 alunos para descrever a experiência de visualização do equipamento e o uso do software. Duas citações podem ser destacadas nesse sentido: “Eu pude conhecer melhor o equipamento e fui

instigado a aprender mais ainda”, “conhecer a realidade de trabalho nessa área me deixou ainda mais motivado a seguir em frente na profissão”.

- Melhorias no software ou na metodologia foram sugeridas por 34 alunos, onde pode-se destacar que 10 alunos gostariam de ver “mais detalhes internos dos equipamentos” e 5 alunos preferem usar joystick em vez de mouse e teclado para interação.

Dos 90 alunos inquiridos em 2013, vinte e um deles já haviam cursado e reprovado a disciplina anteriormente. Uma pergunta adicional foi feita a esses alunos para que respondessem na dissertação “Qual o aspecto de ensino foi melhorado com a aplicação das ITV’s?”. As respostas típicas foram: “Me senti motivado a estudar devido à abordagem mais prática da disciplina”, “O entendimento mais claro da verdadeira funcionalidade dos equipamentos, ajuda no entendimento teórico”, “A interação com o ambiente virtual fornece um vislumbre de como será o trabalho na área no futuro profissional”.

Para a medição das notas dos alunos, foi utilizado o desempenho de 83 alunos que cursaram a mesma disciplina em 2012, sem a abordagem com ITV’s. Tomou-se cuidado para verificar a homogeneidade estatística entre este grupo de 2012 e o grupo de 90 alunos de 2013, alvo desse experimento. Para a verificação dessa homogeneidade, foi utilizado o coeficiente de desempenho geral calculado pela universidade a cada semestre. Desta forma, o grupo de 2013, cursando Conversão de Energia com a abordagem com ITV’s descrita neste experimento, obteve uma média de 8,06 com desvio padrão de 1,93. O grupo de 2012, cursando a mesma disciplina de forma convencional, obteve uma média de 6,43 com desvio padrão de 1,95. O gráfico da Figura 5.8 apresenta a distribuição das notas para os dois grupos

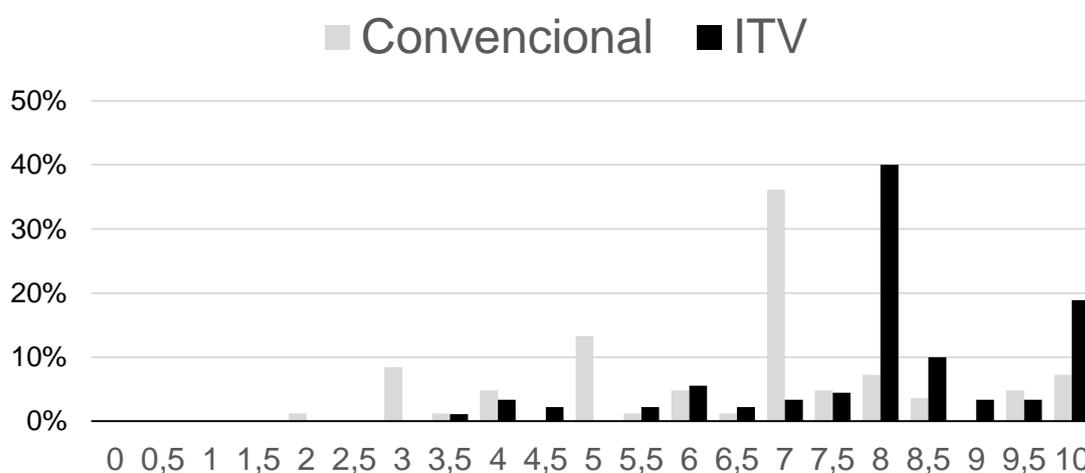


Figura 5.8 - Porcentagem de alunos que obtiveram a nota relacionada no curso de Conversão de Energia para os grupo de 2012 (Convencional) e o grupo de 2013 (ITV).

Todos os 21 alunos que já haviam cursado a disciplina de forma convencional, passaram com conceitos “Excelente” ou “Bom” na disciplina ministrada usando a abordagem deste experimento.

A frequência de aula também foi medida para esse experimento, onde os 90 alunos que executaram esse experimento em 2013 tiveram uma frequência média de 81,1%, sendo que 2 alunos tiveram frequência abaixo de 25%. Os 83 alunos que cursaram a disciplina de forma convencional em 2012 tiveram uma frequência média de 63,7%, sendo que 10 alunos tiveram frequência abaixo de 25%.

5.1.4.2 Avaliar

As medições qualitativas para esse experimento indicam satisfação dos alunos no ensino com ITV's. O resultado do questionário apresentado na Tabela 5.5, por exemplo aponta que a abordagem RV é considerada adequada por 71,1% dos alunos. Da mesma forma, o nível de realismo dos objetos virtuais foi considerado alto ou razoável. Além disso, todos os alunos consideraram que o experimento melhorou o entendimento dos equipamentos representados nas ITV's e recomendariam o curso de Conversão de Energia usando ITV's para outros estudantes. Pode-se destacar também a satisfação com a demonstração prática dos conceitos de sala de aula, especialmente dos alunos que já haviam cursado a disciplina anteriormente sem a abordagem com ITV's.

Por outro lado, dois estudantes consideraram a usabilidade do Sistema ITV muito baixa. Esta insatisfação com a interação e navegação no ambiente virtual é percebida também no *feedback* dissertativo, onde alguns alunos prefeririam usar *joystick* para interação.

A comparação das notas do grupo de 2012, que cursou a disciplina convencional, com o grupo de 2013, que cursou a disciplina como apresentada neste experimento, permite avaliar o efeito do experimento quanto à melhoria na obtenção do conhecimento e motivação. Pode-se perceber pelo gráfico da Figura 5.8 - Porcentagem de alunos que obtiveram a nota relacionada no curso de Conversão de Energia para os grupo de 2012 (Convencional) e o grupo de 2013 (ITV). que mais alunos obtiveram rendimentos Excelentes e Bons, ao passo que menos alunos obtiveram rendimentos Regulares e Insuficientes. Pode ser visto também que **77%** dos alunos de 2013 obtiveram notas acima da média das notas do grupo de 2012. É interessante destacar que todos os alunos repetentes passaram na disciplina durante o experimento.

O tamanho do efeito deste experimento também pode ser analisado segundo o coeficiente d Cohen (COHEN, 1988), que mede o a significância do efeito. O coeficiente

calculado é 0,74, considerado um tamanho médio de efeito, porém muito próximo do efeito alto que é acima de 0,80. De acordo com (VANLEHN, 2011) este efeito é significativo, pois o coeficiente 0,21 é dado como um tamanho de efeito típico de experimentos como esse, baseados em passos.

O aumento da frequência dos alunos foi também um bom resultado, visto que pode indicar aumento da motivação geral.

As estatísticas de execução da Tabela 5.4 revelam um tempo de execução menor que o tempo de 1 hora previsto na metodologia, onde cada aluno utilizou o Sistema ITV por 43 minutos em média. Além disso, a ITV menos executada sendo a mais longa ITV (Montagem/desmontagem de um transformador) pode indicar uma falta de motivação em executar ITV's mais longas.

5.1.4.3 *Ajustar*

O experimento foi satisfatório ao aplicar laboratórios virtuais para o ensino e aprendizado em Conversão de Energia no ano de 2013. Muitos pontos positivos estabelecem esta experiência como uma boa intervenção na metodologia para melhoria da motivação, aprendizado e demonstração dos aspectos práticos dos conceitos ensinados em sala de aula. Assim pode-se destacar pontos fortes do experimento que podem perdurar nas próximas interações:

- Utilizar o Sistema ITV agilizou o desenvolvimento dos laboratórios virtuais.
- O repositório de mídia pode ser usado para compor o cenário de novos laboratórios virtuais.
- Roteiros baseados em procedimentos reais tiveram boa aceitação como demonstração da prática e do futuro profissional.
- Novos métodos pedagógicos expandindo métodos já existentes foram mais facilmente implantados na sala de aula.
- Simplicidade na coleta das medições realizadas neste experimento serviram bem ao propósito.

Contudo o professor da disciplina percebeu algumas dificuldades, listadas a seguir:

- Mais computadores para a execução das ITV's poderiam possibilitar mais sessões com os laboratórios virtuais, ou se a metodologia exigisse, menos janelas de sessões e mais tempo para aulas convencionais.

- ITV's muito longas não são bem aproveitadas pelos alunos. Portanto, pode ser mais interessante diminuir a IT relacionada e assim diminuir a ITV.
- Aumentar o detalhamento dos componentes internos dos equipamentos no ambiente virtual, embora este detalhamento não tenha sido previsto no roteiro do laboratório virtual.

5.2 Experimento 2: Turbina Hidrogeradora e Usina Hidrelétrica

A usina hidrelétrica (UHE) de Tucuruí, no estado do Pará, possui uma capacidade geradora de 8.370 MW dividida em 23 turbinas. Esta usina é gerenciada pela Eletrobrás Eletronorte S/A e abastece as principais redes de distribuição dos estados do Pará, Maranhão e Piauí, além de grandes indústrias como Albrás, Alumar e Vale.

Devido a essa grande demanda de energia das indústrias e empresas de distribuição, o serviço de geração da UHE de Tucuruí precisa ser necessariamente ininterrupto e confiável. Assim, os procedimentos para operação das turbinas e equipamentos auxiliares precisam ser precisos e rápidos para evitar interrupção nos serviços de geração e, da mesma forma, procedimentos de manutenção precisam ser bem planejados e seguros, a fim de deixar os equipamentos operáveis com a maior brevidade possível e mantendo a segurança dos trabalhadores envolvidos. Para ajudar na execução dos procedimentos e treinamentos, a Eletrobrás Eletronorte utiliza manuais em forma de Instruções Técnicas que descrevem, os cenários e passos para realizar as operações e manutenções.

O *framework* apresentado nesta tese foi aplicado e implementado para criação e execução de laboratórios virtuais de treinamento que mimetizem algumas IT's utilizadas pelos funcionários da UHE Tucuruí. A intenção foi melhorar o entendimento prático das IT's convencionais usando interações em um ambiente de Realidade Virtual.

5.2.1 Definição do laboratório

Para toda esta etapa, alguns profissionais da UHE atuaram como especialistas, sendo 1 profissional especialista em operações de controle e outros 2 especialistas em manutenção dos equipamentos componentes da turbina hidrogeradora ou unidade hidrogeradora, UHG.

5.2.1.1 Identificar a área e Identificar conceitos

As atividades Identificar a área e Identificar conceitos foram realizadas em reuniões entre os especialistas pois consideraram uma oportunidade de melhorar os treinamentos dos procedimentos da UHE. Estes treinamentos são realizados convencionalmente com:

- **Estudo da Instrução Técnica:** leitura do manual que descreve o procedimento.
- **Experiência com ocorrências reais:** os funcionários acompanham execuções do procedimento real. É indesejável pois não há tempo para estudo prévio do procedimento.
- **Experiência com outros profissionais:** aprendizado pelo acompanhamento de outro profissional. Pode haver problemas casos os operadores e mantenedores não sigam o procedimento descrito pela IT.
- **Janelas programadas de manutenção:** aprendizado durante oportunidades de manutenção que não são frequentes o suficiente para manter uma rotina de treinamento.

Desta forma, os especialistas decidiram que os treinamentos poderiam ser melhorados nos seguintes aspectos:

- Serem mais motivadores que uma simples leitura de um manual.
- Serem interativos de modo a permitir que o treinando explore os cenários.
- Poder treinar a qualquer momento, sem necessidade de parada dos equipamentos reais ou intervenção no ambiente de produção.
- Serem seguros ao treinando.

As áreas definidas nestas atividades foram aquelas mais carentes de treinamento, neste caso manutenções nos equipamentos componentes de uma UHG. Procedimentos de operação e controle dos equipamentos também foram selecionados, mas não foram os mais requisitados pelos especialistas, devido a maior frequência de ocorrências e relativa maior segurança em suas execuções, podendo portanto serem treinadas com mais facilidade.

5.2.1.2 Discutir formas de apresentação

As IT's utilizadas nos procedimentos de manutenção e operação são utilizadas no treinamento e também durante a própria execução, onde servem como guia para os passos. Essas IT's também recebem atualizações para melhorar a execução ou se adequar a novos cenários. Por exemplo, uma ferramenta não é mais necessária para a manutenção de uma bomba

de sucção, então a IT é ajustada e não mais descreve os passos da manutenção usando essa ferramenta.

Os treinamentos usando os próprios equipamentos da UHE podem ser perigosos pois muitas vezes exigem que os treinandos sejam levados para a área de produção. Também são menos frequentes, pois precisam que os equipamentos referenciados estejam inoperantes. Assim, ao discutir formas de apresentação, foram destacadas as vantagens de treinamentos em RV para superar esses entraves dos treinamentos convencionais. Um ambiente RV imersivo foi idealizado inicialmente, mas preferiu-se iniciar o *framework* com um ambiente RV Desktop, de modo que equipamentos para interação em RV imersivo fossem adquiridos e os laboratórios virtuais fossem ajustados em futuras iterações. Também foi discutido o nível de detalhamento dos cenários virtuais, onde cada cenário devia representar satisfatoriamente os ambientes e equipamentos da UHE, de forma que os treinandos reconhecessem os ambientes reais quando fossem à campo.

5.2.1.3 Coletar dados e Preparar dados

A metodologia inicial foi gerada para permitir que os profissionais da UHE realizassem sessões livremente e sem a necessidade da presença de um instrutor. Os desempenhos dos participantes precisariam ser registrados bem como as informações das sessões de execução. Os laboratórios virtuais não precisaram ter elementos imersivos, aproveitando assim os computadores já instalados na UHE.

Os roteiros dos laboratórios virtuais foram as próprias IT's da Eletrobrás Eletronorte S/A utilizadas na UHE, o que permitem agilizar as atividades Coletar dados e Preparar dados. Dez IT's foram selecionadas dentre as mais críticas quanto a treinamentos, ou seja, foram escolhidas as IT's dos equipamentos mais utilizados, caros e com menos oportunidades de desligamento para treinamento. As 10 IT's selecionadas foram divididas em 3 grupos, como mostra a Tabela 5.6, sendo o grupo de IT's de manutenção na UHG, IT's de manutenção nos equipamentos auxiliares e IT's de operação.

Tabela 5.6 - Instruções Técnicas utilizadas como roteiro para o experimento de treinamento na UHE Tucuruí

Grupo	Intenção para os profissionais	Títulos e número de IT's do grupo
Manutenção na UHG	Treinar os procedimentos de manutenção, montagem e desmontagem das peças componentes de uma unidade hidrogeradora da UHE Tucuruí	Distribuidor Inferior, Distribuidor Superior, Gerador, Mancal Guia da Turbina (4)
Manutenção nos equipamentos auxiliares	Treinar as medições diagnóstico e manutenção nos equipamentos que auxiliam uma unidade hidrogeradora em Tucuruí	Atuadora, Detectora de pressão, Transformador, Ensaio de água morta (4)
Operações na UHG	Treinar os procedimentos de controle e pré-condições de uma unidade hidrogeradora	Parada de uma unidade hidrogeradora, Partida de uma unidade hidrogeradora (2)

5.2.2 Criação do laboratório virtual

5.2.2.1 Coleta

Os modeladores que realizaram a coleta e modelagem nesta etapa foram os bolsistas do LARV na UFPA, assim como no experimento 1 descrito na Seção 5.1. Eles visitaram a UHE de Tucuruí em 3 oportunidades. Profissionais da UHE também foram à UFPA para esclarecimento de dúvidas e fornecimento de materiais como desenhos CAD, fotos e até mesmo peças reais que serviram de modelo. A etapa de coleta durou aproximadamente 5 meses.

Para este experimento, os cenários virtuais precisaram ser modelados detalhadamente e fielmente ao ambiente real da UHE de Tucuruí, por isso a atividade de coleta foi importantíssima. As medidas reais de todos os equipamentos e até mesmo da obra civil da usina precisaram ser coletadas. Imagens aéreas e planta-baixas de diferentes setores da usina e vídeos do mecanismo de alguns equipamentos, como a comporta do vertedouro, foram alguns dos recursos coletados. Em muitos casos foi importante entender como os mantenedores se posicionavam para acessar algum equipamento ou compartimento, sendo que esse *modus operandi* também precisou ser coletado para posterior modelagem dos avatares e instruções de segurança nas ITV's. A UHE de Tucuruí também controla seus equipamentos pelo sistema SAGE, logo também foram coletadas telas do sistema para modelagem das interfaces virtuais.

5.2.2.2 Modelagem

A etapa de modelagem foi realizada por 4 modeladores ao longo de 5 meses, onde foram modelados 1.666 objetos 3D, 555 texturas, 19 áudios, 2 efeitos de sistemas de partículas e 15 animações complexas, ocupando 267 MB em disco.

Esta atividade utilizou o repositório de mídia, nomenclatura e exportação de objetos como descrito no Experimento 1, Seção 5.1.2.2. Mais detalhes da coleta e modelagem de recursos para este experimento podem ser encontradas em (NASCIMENTO, 2010).

A modelagem realista e fiel do cenário virtual dá ao treinando a percepção de espaço e localização, importantíssima em procedimentos em ambiente industrial. Neste sentido, vale destacar a fidelidade da UHE modelada, onde até mesmo a água da barragem, o terreno ao redor da usina e o céu foram representados no cenário virtual, como mostra a Figura 5.9.

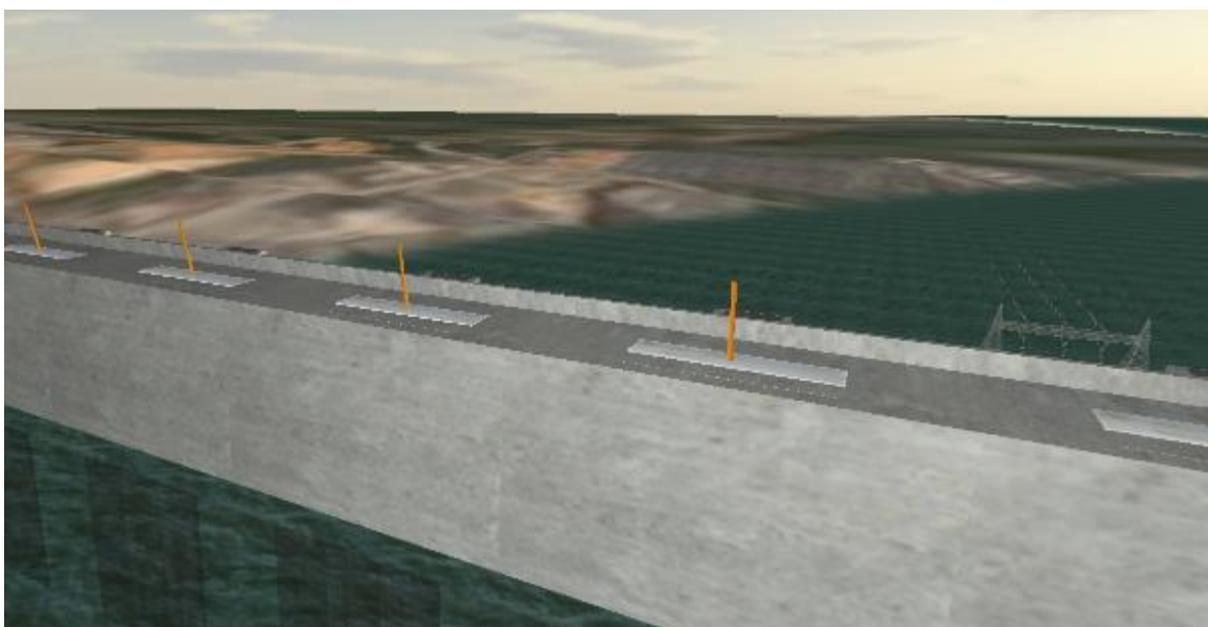


Figura 5.9 - Modelagem da barragem da UHE Tucuruí em detalhe

5.2.2.3 Desenvolvimento

Os laboratórios virtuais desse experimento também foram desenvolvidos com a ferramenta de autoria do Sistema ITV, onde 3 desenvolvedores bolsistas do LARV produziram as 10 ITV's relacionadas na Tabela 5.7.

Tabela 5.7 - Características de cada ITV desenvolvida no Experimento 2

ITV	Passos	Interações	Tempo (minutos)	Número de passos na IT
Manutenção no Distribuidor Inferior	83	34	8,02	21
Manutenção no Distribuidor Superior	293	115	23,43	87
Manutenção no Gerador	526	76	41,12	177
Manutenção no Mancal Guia da Turbina	502	95	35,83	131
Ensaio e manutenção na Válvula Detectora de Pressão	365	72	31,98	180
Ensaio e manutenção na Válvula Atuadora	120	38	11,07	49
Manutenção no Transformador	279	65	19,85	129
Ensaio de Água morta	20	11	2,04	13
Partida de uma Unidade Hidrogeradora	82	13	7,70	40
Parada de uma Unidade Hidrogeradora	93	58	8,12	46

As ITV's deste experimento são muito maiores em número de passos e tempo de duração. Isto porque as próprias IT's são maiores e mais detalhadas, onde mostram desde as pré-condições para início do procedimento, desligamento dos equipamentos, desmontagem, manutenção, ensaios, remontagem e reativação dos equipamentos envolvidos em todo o procedimento de manutenção ou operação. Além disso, as ITV's precisam realizar cada passo da IT em detalhes, visto que se trata de ITV's voltadas para treinamento. Também por isso o desenvolvimento precisa ser flexível, pois as ITV's precisam acompanhar as mínimas mudanças nas IT's, que podem ser ajustadas para melhoria ou correções do processo e adequações a novas normas ou tecnologias utilizadas na usina.

Os desenvolvedores do LARV foram aqueles que mais atuaram nesta atividade de desenvolvimento das instruções técnicas, porém os profissionais especialistas da UHE de Tucuruí também atuaram populando o banco de dados que se conecta ao Sistema ITV. Estes dados foram utilizados para relacionar cada objeto virtual da ITV com informações textuais como fornecedor, data de aquisição, última manutenção, etc. Assim, os objetos da ITV podem ser selecionados no Sistema ITV e esses dados são apresentados para o treinando.

Uma peculiaridade no desenvolvimento das ITV's deste experimento foi o uso de grupos que permitem manipular vários objetos como se fossem um só. Isto agiliza o desenvolvimento porque pode-se criar uma só animação para um grupo e elas serão propagadas para todos os objetos componentes desse grupo. A Figura 5.10 mostra um exemplo de uso desta função, onde o grupo distribuidor possui 24 palhetas componentes, de modo que a animação de rotação adicionada ao grupo, propaga-se para todas as palhetas, gerando o efeito de animação de abertura do distribuidor. O Sistema ITV também tem funções que ajudam na criação de grupos e subgrupos de modo que também não foi necessária intervenção de programação para criação desse tipo de animação.

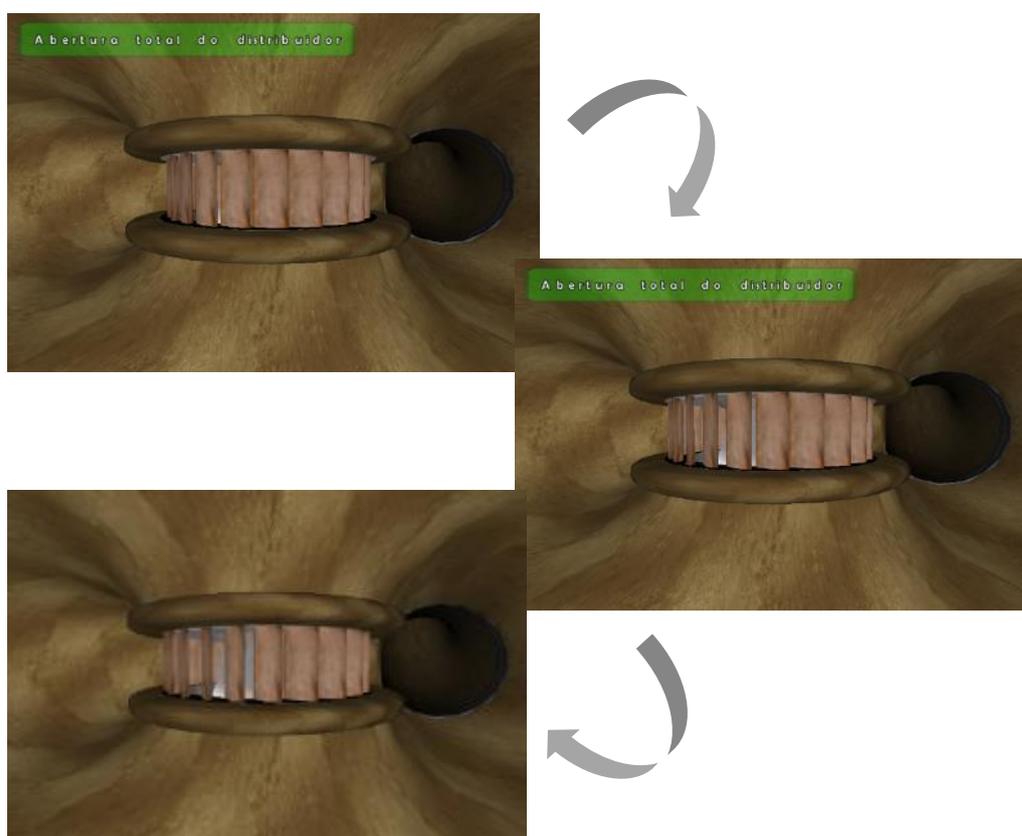


Figura 5.10 - Animação de abertura das palhetas do distribuidor

5.2.3 Execução

A etapa de execução foi definida para auxiliar os treinamentos de manutenção e operação dos profissionais da UHE de Tucuruí. Embora a intenção não seja substituir os treinamentos convencionais utilizados na usina, esta foi uma oportunidade de melhorar a obtenção do conhecimento nesses treinamentos.

5.2.3.1 Consolidar Metodologia

Um grupo de 40 profissionais da UHE Tucuruí foi selecionado para realizar sessões de treinamento com as ITV's. Os profissionais técnicos de manutenção elétrica, técnicos de manutenção eletrônica, operadores da usina e engenheiros de automação, além de gerentes de outras unidades compuseram o grupo e exerciam funções na usina relativas a pelo menos uma das 10 ITV's.

As sessões podiam ser realizadas livremente sem a necessidade de instrutores. Porém cada profissional precisou treinar por no mínimo 1 hora semanal com as ITV's. Estes requisitos se mantiveram por 6 meses no ano de 2010, entre março e agosto, embora as ITV's pudessem ser utilizadas na UHE Tucuruí após este período. Para este controle, os profissionais deveriam autenticar-se no Sistema ITV para supervisão automática das sessões.

O propósito da metodologia era melhorar o desempenho nos procedimentos na prática do ambiente de produção, por isso o tempo de treinamento das ITV's foi mais importante do que o desempenho na execução (taxa de erros e acertos).

5.2.3.2 Preparar alunos

O Sistema ITV e o repositório foram instalados em 20 computadores desktop de um laboratório na própria UHE de Tucuruí. Também foram instalados nos computadores de uso diário dos 40 profissionais no experimento. A característica RV desktop do Sistema ITV permitiu essa versatilidade, onde os profissionais poderiam treinar nos próprios computadores. Um banco de dados fornecido pela Eletrobrás Eletronorte S/A foi relacionado ao Sistema ITV para autenticação dos usuários e registro das sessões.

A maioria dos participantes do experimento não possuíam experiência com aplicações em RV. Assim, embora RV desktop seja mais facilmente utilizado do que aplicações em RV imersiva, um curso de 2 dias foi ministrado aos 40 participantes. Este curso envolveu instruções de usabilidade do Sistema ITV e também das funções de autoria do software, visto que eles mesmos poderiam precisar realizar alguma alteração na ITV.

Cada profissional selecionado para o experimento era especialista em alguma área na UHE, assim não houve motivo para treinamento em ITV's que não faziam parte das atribuições de cada funcionário. Logo, foram distribuídas ITV's de acordo com cada especialidade, sendo que cada funcionário precisou treinar com no mínimo 2 e no máximo 4 ITV's. A exceção ocorreu para 2 funcionários gerentes que precisaram utilizar todas as ITV's com o intuito maior de analisar aspectos de gestão e menos com intuito técnico.

5.2.3.3 Executar

Cada profissional pôde treinar nas ITV's relacionadas à sua especialidade, mas não foram impedidos de utilizar outras ITV's. A supervisão dos experimentos foi somente automática, diferentemente do experimento 1 em que o professor também acompanhava as sessões de treinamento. Todavia, os registros das sessões eram analisados pelos gerentes da UHE para verificar o tempo de sessão semanal de cada funcionário. A Tabela 5.8 apresenta as estatísticas de execução registradas nos 6 meses de 2010 em que o experimento foi executado, e será discutida na Seção 5.2.4.2.

Tabela 5.8 - Estatísticas de execução das sessões para o experimento 2

ITV mais executada	ITV menos executada	Porcentagem média de acertos nas interações	Duração média das sessões	Tempo médio total de treinamento por participante
Parada de uma unidade hidrogeradora	Ensaio de água morta	67,8%	11 minutos	25,4 horas

A ITV de Manutenção no Gerador foi atribuída a 8 profissionais dos 40 selecionados para o experimento. Neste procedimento o treinando assume o papel de mantenedor para desmontagem, inspeção, troca e remontagem dos componentes do gerador de uma unidade hidrogeradora. A ITV inicia checando as pré-condições de segurança, onde checam-se os equipamentos de proteção individual e de proteção coletiva dos participantes, Figura 5.11 (a) e Figura 5.11 (b), respectivamente. É feita a confirmação de máquina parada, gerador não-excitado e comporta d'água acionada. Se alguma dessas pré-condições não for atendida, deve ser realizado o procedimento correspondente, como ocorre na Figura 5.11 (c), onde precisou-se acionar a comporta d'água antes do início da manutenção. Inicia-se a retirada da tampa superior do gerador, onde no modo de execução Guiado, o Sistema ITV sinaliza qual a tampa correta a ser retirada, mostrada na Figura 5.11 (d). Inspecciona-se os componentes, Figura 5.11 (e), e caso seja necessário, é feita a sua desmontagem, troca e remontagem. Essa troca também é representada em detalhes na ITV, onde cada parafuso, ferramenta e peça de reposição é armazenado conforme a IT instrui, veja na Figura 5.11 (f) por exemplo, onde cada peça retirada do gerador é armazenada organizadamente para remoção ou troca. Ao fim das reposições das peças, é feita uma inspeção final para confirmar a correta remontagem do gerador, Figura 5.11 (g). No fim da ITV, a unidade hidrogeradora é recolocada em estado de pronta para operação, Figura 5.11 (h).

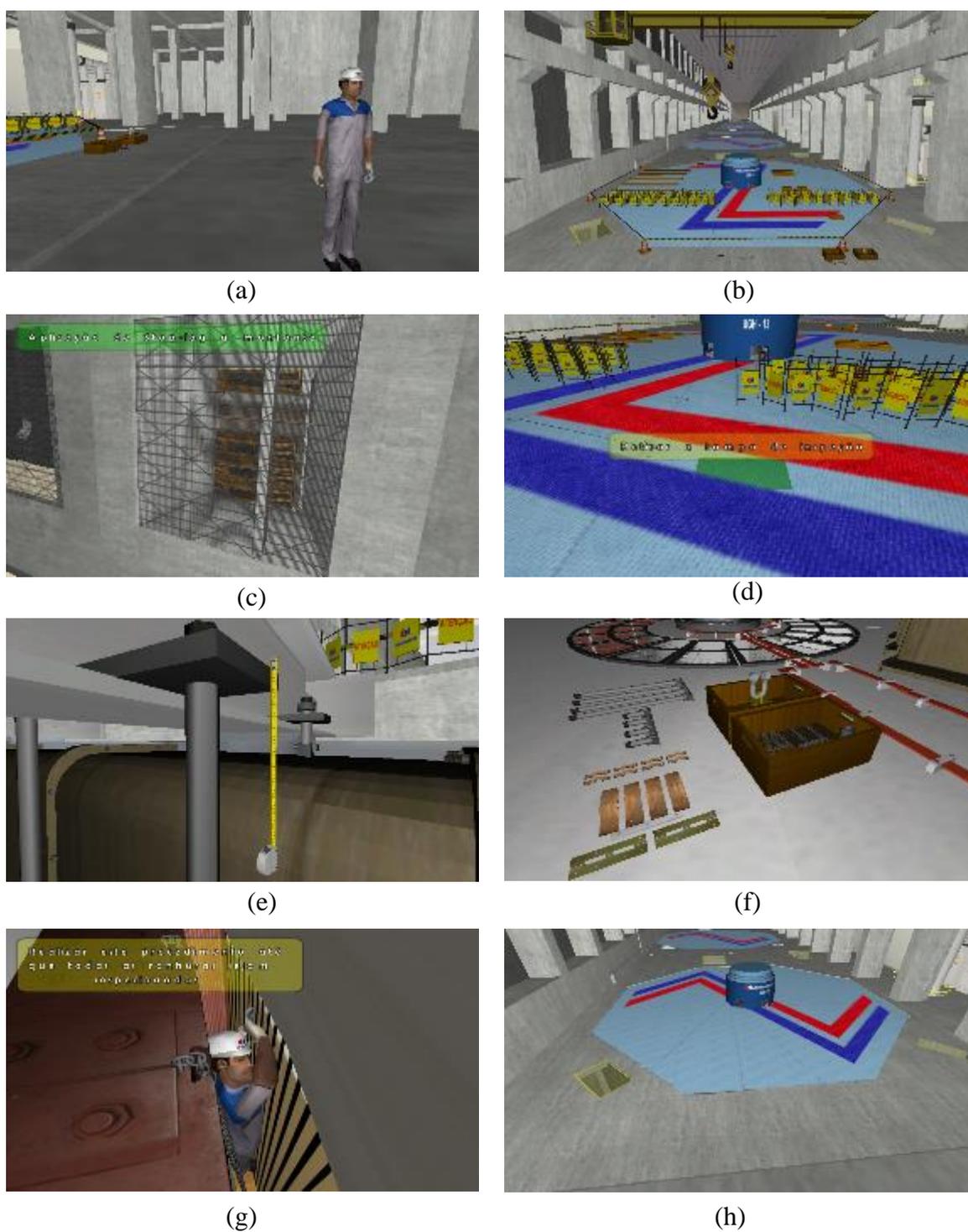


Figura 5.11 - ITV de manutenção no gerador. (a) Verificação dos equipamentos de proteção individual. (b) Verificação dos equipamentos de proteção coletiva. (c) Acionamento da comporta para estar de acordo com as pré-condições. (d) Retirada da tampa para acesso ao gerador. (e) Inspeção inicial das peças do gerador. (f) Organização das peças retiradas e ferramentas. (g) Inspeção final para checagem da montagem correta. (h) Gerador pronto para operação.

5.2.4 Medição

5.2.4.1 Medir

Um questionário foi aplicado aos 40 participantes do treinamento ao fim desse experimento contendo 8 questões relativas ao uso das ITV's e melhorias comparativas ao modo tradicional de treinamento, com IT's textuais. A Tabela 5.9 apresenta as questões e respostas deste questionário, onde os dados indicam o número de participantes que responderam àquela opção e a porcentagem referente aos 40 participantes totais do experimento.

Tabela 5.9 - Resultado do questionário aplicado aos 40 profissionais da UHE Tucuruí participantes deste experimento. Dados em negrito são os máximos.

<i>Questões</i>	<i>Muito adequada / Muito Satisfatório / Superior # / %</i>	<i>Adequada / Satisfatória / Igual # / %</i>	<i>Pouco adequada / Pouco Satisfatório / Inferior # / %</i>	<i>Inadequada / Insatisfatório / Muito Inferior # / %</i>
1. Avalie a adequação do sistema aos objetivos do treinamento em uma UHE.	38 / 95%	2 / 5%	0 / 0%	0 / 0%
2. Avalie o nível de realismo das peças e equipamentos virtuais apresentados durante os treinamentos.	22 / 55%	18 / 45%	0 / 0%	0 / 0%
3. Qual o nível de usabilidade da interface das ITV's?	13 / 32%	24 / 59,1%	3 / 8.9%	0 / 0%
4. Avalie a realização dos procedimentos do sistema através dos botões, navegação e manipulação com mouse e teclado.	13 / 32%	24 / 59,1%	3 / 8.9%	0 / 0%
5. Avalie a motivação oferecida pelas ITV na realização dos treinamentos.	27 / 68%	13 / 32%	0 / 0%	0 / 0%
6. Compare a qualidade/quantidade dos conhecimentos obtidos através do treinamento com o uso da ITV e o método tradicional com IT's, plantas e manuais.	36 / 90%	2 / 5%	2 / 5%	0 / 0%
7. Comparado com o método tradicional com IT's, o sistema ITV proporciona um grau de retenção de informações (visuais, espaciais e técnicas).	40 / 100%	0 / 0%	0 / 0%	0 / 0%
8. Qual a satisfação geral em treinar procedimentos de Instrução usando ITV's?	27 / 68%	13 / 32%	0 / 0%	0 / 0%

Uma segunda medição qualitativa, usando relatórios dissertativos, não foi realizada porque os profissionais participantes não dispunham de tempo suficiente, visto que cada profissional precisava ainda realizar suas funções diárias na UHE. Todavia, houve uma discussão oral entre os participantes e gerentes do experimento, principalmente para esclarecer os resultados do questionário e dar oportunidades aos profissionais de relatarem questões não presentes nele. As estatísticas de execução das ITV's da Seção 5.1.3.3 também foram analisadas. Esta análise e a discussão é mostrada na Seção 5.2.4.2.

Além disso, não foi possível coletar outras medições quantitativas que poderiam indicar bons resultados do *framework*: número de erros dos participantes na execução dos procedimentos e tempo de duração da execução do procedimento, antes e depois do experimento com ITV's.

5.2.4.2 Avaliar

O questionário qualitativo da Tabela 5.9 revelou bons resultados do experimento, considerando quase todas as perguntas, onde destacam-se as perguntas 6 e 7 que tentam coletar dos profissionais uma percepção comparativa entre a qualidade e a quantidade da retenção da informação obtida entre a IT convencional e as ITV's. Pôde-se perceber que 90% dos participantes consideraram superiores a qualidade e quantidade da informação obtida com as ITV's e 100% dos participantes consideraram que se retém mais informação utilizando as ITV's. Por outro lado, as perguntas 3 e 4 revelaram insatisfação de 8,9% dos participantes quanto a usabilidade geral e navegação no ambiente RV usando mouse e teclado.

As estatísticas de execução da Tabela 5.8 revelam ainda que a porcentagem de acerto médio no treinamento com ITV é 67,8%, o tempo de duração médio das sessões (tempo em o Sistema ITV está com uma ITV carregada) foi de 13 minutos enquanto o tempo médio total de treinamento é de 25,4 horas.

Dessa forma, para esclarecer melhor os resultados do questionário e das estatísticas de execução, uma breve discussão com todos os participantes foi realizada e pode-se destacar daí:

- A maioria dos participantes não teve contato com RV anteriormente e também por isso sentiram dificuldade na navegação no ambiente virtual.
- Todos os participantes consideraram o experimento perfeito para novos colaboradores da UHE Tucuruí.

- A baixa porcentagem de acertos na execução ocorreu porque quase todos os participantes executavam as ITV's diretamente no modo de execução Livre do Sistema ITV.
- O tempo das sessões foi menor que o tempo de execução da maioria das ITV's do experimento. Isto ocorreu porque os participantes precisavam interromper as sessões para realizar as tarefas referentes às suas atribuições na UHE Tucuruí. No entanto, o tempo médio total por participante ainda excedeu o tempo estipulado de 24 horas totais.

5.2.4.3 Ajustar

O experimento das ITV's aplicadas ao treinamento em procedimentos de uma UHE, teve êxito em tornar mais prático o treinamento convencional, que usa somente IT's, enquanto também provou-se mais acessível e seguro do que treinamento em campo com equipamentos reais. Todavia, os participantes não deixaram de contribuir com sugestões para possíveis futuras iterações do *framework*. As sugestões relacionadas a seguir foram selecionadas pelos gerentes do experimento como sendo as mais relevantes para os profissionais da UHE Tucuruí.

- Melhoria da navegação dando mais opções de interações como o *Kinect* e *joystick*.
- Mais imersão com o uso de óculos de RV ou mesmo uma *CAVE* que, segundo os participantes, poderia dar maior percepção de espaço no cenário virtual da UHE.
- Um ambiente colaborativo de autoria, onde quando uma ITV é alterada, todos os participantes podem ver as mudanças.
- Um período reservado para as sessões de execução da ITV, para que os profissionais dediquem-se melhor aos treinamentos. Considerou-se para isso, restringir a execução das ITV's somente nos computadores do laboratório.

CAPÍTULO 6 - CONCLUSÃO

Esta tese apresentou uma forma estruturada e flexível de melhorar aspectos práticos no ensino e treinamento de assuntos relacionados à Engenharia Elétrica, aproximando a teoria e a prática dos conceitos estudados, por meio de laboratórios em Realidade Virtual aliados a uma metodologia de ensino bem definida.

Um *framework* foi proposto para organizar as etapas de definição, desenvolvimento, execução e medição dos laboratórios virtuais que objetiva otimizar a agilidade e flexibilidade dando ênfase à melhoria dos aspectos mais carentes de ensino e aprendizado para o aluno e profissional Engenheiro Eletricista. Cada etapa e atividade do *framework* foi descrita em detalhes com sugestões de melhores práticas para sua implementação. Uma revisão sistemática identificou desafios, lacunas e casos de sucessos em estudos recentes de ensino e aprendizado usando Realidade Virtual.

Dois experimentos de utilização do *framework* foram relatados neste trabalho. O primeiro teve sucesso em melhorar o ensino prático de conversão de energia elétrica e transformadores em uma turma de graduação ao utilizar laboratórios em RV para apresentar um cenário e procedimentos virtuais que aplicam os conceitos estudados em sala de aula. O segundo aplica com êxito, laboratórios virtuais para treinamento de procedimentos de operação e manutenção a profissionais da Usina Hidrelétrica de Tucuruí, de modo a modernizar e melhorar a prática destes treinamentos que antes eram estudados em manuais textuais. Ambos os experimentos utilizaram o Sistema ITV para produção e execução dos laboratórios virtuais.

6.1 Comprovação da hipótese e perguntas

A hipótese desta tese é que laboratórios em realidade virtual para treinamentos de operação e manutenção em equipamentos elétricos, melhoram a prática do estudante e do profissional de Engenharia Elétrica.

Sendo assim, as principais contribuições deste trabalho para comprovar a hipótese são:

- Criação de um *framework* para aplicação de laboratórios virtuais em ensino e aprendizado que agiliza, flexibiliza e barateia a criação e aplicação dos experimentos.
- O *framework* proposto permite a aplicação dos laboratórios virtuais em diferentes metodologias pedagógicas.

- Demonstra como os experimentos desenvolvidos, baseados em procedimentos de operação e manutenção reais, aproximam o aluno à prática e ao mesmo tempo atendem à necessidade de treinamento dos profissionais da área.
- O *framework* proposto permite a criação de laboratórios virtuais de diferentes áreas da Engenharia Elétrica e não somente de uma área ou assunto específico.
- Apresentação de uma ferramenta de autoria, o Sistema ITV, como uma alternativa para desenvolvimento rápido e flexível de laboratórios virtuais, dando a oportunidade de estudo e treinamento em um ambiente controlado, seguro e customizável sem necessidade de conhecimentos de programação.

A hipótese foi comprovada com os resultados levantados nesta tese e as questões de partida (QP), apresentadas na Seção 1.2 são discutidas a seguir:

Q01: Que características os laboratórios virtuais devem ter para validar a hipótese?

A Seção 3.4 apresenta os resultados de uma revisão sistemática em trabalhos recentes na área de ensino e treinamento em Engenharia Elétrica usando RV. Constatou-se que os laboratórios usam tecnologias em RV, elementos de Realidade aumentada e características de *games*. A imersão não é um requisito nesses trabalhos, visto que RV Desktop foi considerado suficiente para demonstrar os experimentos e os conceitos de Engenharia Elétrica envolvidos. Contudo, tão importante quanto o laboratório virtual propriamente dito, é fundamental adotar uma metodologia adequada na implantação dos experimentos em sala de aula ou treinamento profissional. Verificou-se pela revisão que os alunos precisam entender os experimentos dentro do contexto de ensino daquele assunto. Utilizar algum mecanismo de *self-learning* para provocar o aprendizado ou mesmo a resolução de problemas, interessa para aumentar as habilidades práticas do aluno e futuro profissional.

Q02: Que aspetos metodológicos podem ajudar a unir teoria e prática no ensino com laboratórios virtuais?

A aplicação dos laboratórios virtuais para ensino e treinamento precisa estar alinhada com os interesses dos alunos e da instituição, do contrário os experimentos não surtirão efeitos para melhoria de motivação, retenção do conhecimento e muito menos para aliar teoria e prática. Assim, é necessário ajustar uma metodologia pedagógica que aproveite o experimento em prol da melhoria desses aspectos. Verificou-se pela revisão sistemática e pelos experimentos relatados no Capítulo 5 que utilizar mecanismos de *self-learning* e algumas características de PBL, como a aplicação de problemas reais para que os alunos solucionem a partir do

conhecimento teórico aprendido, trazem ganhos no conhecimento da aplicabilidade da teoria e no dia-a-dia profissional. Os experimentos relatados nesta tese utilizaram Instruções Técnicas e cenários reais para o desenvolvimento dos laboratórios virtuais, onde os próprios alunos e profissionais, indicaram maior satisfação e maior ganho de informação em utilizar problemas reais nos laboratórios em RV.

Q03: Como avaliar a melhoria do conhecimento prático que a hipótese sugere?

Poucos trabalhos revisados realizaram alguma medição nos efeitos de seus experimentos. Visto que para avaliar é necessário medir, algumas formas de medição foram relacionadas e também utilizadas nos experimentos desta tese. Questionários e relatórios dissertativos podem ser usados para uma medição qualitativa dos efeitos. Enquanto notas dos alunos, frequência e taxa de erros na execução de procedimentos podem servir para medições quantitativas da melhora da prática profissional. A escolha das medições também é dependente das possibilidades do experimento, a exemplo do estudo de caso relatado na Seção 5.2, onde não foi possível aplicar relatórios dissertativos nem a medição da taxa de erros para os profissionais da UHE Tucuruí, mas ainda assim foi possível realizar a medição e análise usando outros meios.

Q04: É possível criar uma metodologia para desenvolvimento e aplicação de laboratórios virtuais para ensino de Engenharia Elétrica?

Conforme o *framework* proposto e apresentado no Capítulo 4, é possível criar uma metodologia para desenvolvimento e aplicação de laboratórios virtuais para ensino de Engenharia Elétrica. O *framework* contém etapas para definição desenvolvimento e execução dos laboratórios, além de uma etapa de medição, avaliação e ajuste dos laboratórios. Aplicado em 2 oportunidades relatadas no Capítulo 5, este *framework* mostrou-se flexível e ágil para adequar-se a diferentes alunos, profissionais e áreas da Engenharia Elétrica. O Sistema ITV foi utilizado na implementação do *framework* nesses experimentos.

Destacam-se como principais conclusões do da tese e dos experimentos com o *framework*:

- **É fundamental definir uma metodologia de aplicação:** apenas utilizar os laboratórios virtuais como mais uma ferramenta para auxílio de ensino e aprendizado não surtirá o efeito máximo para os participantes. Pôde-se verificar com os experimentos que é importante adequar uma metodologia pedagógica que insira

os laboratórios em um contexto de ensino. Além disso, deve-se aproveitar as experiências dos alunos e participantes e respeitar as necessidades e as limitações da instituição para aplicar os experimentos sem impactos negativos ao aprendizado dos participantes.

- **O desenvolvimento usando ferramentas de autoria é mais rápido:** ao utilizar a ferramenta de autoria do Sistema ITV, foram desenvolvidos mais laboratórios virtuais em menos tempo do que usando programação. Ao passo que professores e especialistas na área de aplicação poderiam desenvolver seus próprios laboratórios no Sistema ITV, visto que não necessitariam de conhecimentos de programação.
- **A execução dos laboratórios virtuais deve ser supervisionada:** uma agenda de execução dos laboratórios organiza as sessões dos participantes e ao mesmo tempo facilita a supervisão (seja manual ou automática) dessas sessões. A supervisão é importante para coletar dados que possam indicar êxito ou fracasso na implementação do *framework*.
- **A etapa de medição é importante para a tomada de decisão:** os efeitos dos laboratórios virtuais no ensino e treinamento podem não ser aqueles esperados pelos gerentes do experimento. Porém as tarefas de medição, análise e ajustes propostas no *framework* ajudam a identificar os gargalos, pontos fracos e fortes da implementação, para assim reparar futuras iterações de etapas e do próprio *framework*.

6.2 Trabalhos futuros

Considerando as contribuições e conclusões elencadas neste capítulo e a própria natureza de constante melhoria de um trabalho científico, pode-se pensar em desdobramentos deste trabalho que possam melhorá-lo ou mesmo ultrapassar o escopo da pesquisa realizada nesta tese. Assim relaciona-se a seguir algumas sugestões de trabalhos futuros relativos à contribuição desta tese:

- **Novas aplicações:** espera-se que o *framework* seja aplicado em novas disciplinas de Engenharia Elétrica. Da mesma forma, novas áreas de treinamento podem utilizar o *framework* para desenvolvimento de treinamentos virtuais. Até mesmo áreas fora do escopo de Engenharia Elétrica podem utilizá-lo, como foi o caso do laboratório virtual para montagem de estruturas civis, criado pela Faculdade de Engenharia

Civil da UFPA. Este laboratório faz uso tanto do *framework* quanto do Sistema ITV para autoria dos experimentos.

- **Melhorias no Sistema ITV:** o Sistema ITV mostrou-se uma ferramenta bem alinhada às melhores práticas relacionadas para o *framework*. Contudo, algumas melhorias estão planejadas para a ferramenta a fim de abranger a autoria de mais aplicações em RV. Por exemplo, suporte a dispositivos de imersão e interação como óculos de RV, CAVE, Kinect e *joystick*; Funções para desenvolvimento de aplicações em Realidade Aumentada usando a ferramenta de autoria; Facilidades para desenvolvimento de treinamentos com simulação de erros em equipamentos virtuais.
- **Banco de dados de melhores práticas e medições:** um repositório online e colaborativo para melhoria do *framework*, onde seria possível relatar experimentos, sugerir alterações e melhorias nas etapas do *framework* e registrar ferramentas e metodologias usadas na implementação. Da mesma forma, um repositório com as medições dos experimentos servirá não só para melhoria do *framework*, mas também para futuras pesquisas em ensino e treinamento, onde outros autores poderão consultar resultados e conclusões de laboratórios virtuais já experimentados.

REFERÊNCIAS

- ABULRUB, A. G.; ATTRIDGE, A. N.; WILLIAMS, M. A. **Virtual reality in engineering education: The future of creative learning**IEEE Glob. Eng. Educ. Conf. **Anais...** In: IEEE GLOB. ENG. EDUC. CONF. abr. 2011
- ADAMO-VILLANI, N. et al. **A Photorealistic 3D Virtual Laboratory for Undergraduate Instruction in Microcontroller Technology**ACM SIGGRAPH 2006 Educators Program. **Anais...**: SIGGRAPH '06.New York, NY, USA: ACM, 2006Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1179295.1179317>>. Acesso em: 10 fev. 2015
- AGHINA, M. A. C. et al. Virtual Control Desks for Nuclear Power Plant Simulation: Improving Operator Training. **IEEE Computer Graphics and Applications**, v. 28, n. 4, p. 6–9, jul. 2008.
- AGUINIS, H.; KRAIGER, K. Benefits of Training and Development for Individuals and Teams, Organizations, and Society. **Annual Review of Psychology**, v. 60, n. 1, p. 451–474, 2009.
- ALEXANDER P. MAZZOLINI; SCOTT DANIEL. The Use of Active Learning Methods in Introductory Electronics Deliver Positive Learning Outcomes, Yet Some Academics Still Resist Change. In: **Proceedings of the 12th Asia Pacific Physics Conference (APPC12)**. JPS Conference Proceedings. [s.l.] Journal of the Physical Society of Japan, 2014. v. 1.
- ANDUJAR, J. M.; MEJIAS, A.; MARQUEZ, M. A. Augmented Reality for the Improvement of Remote Laboratories: An Augmented Remote Laboratory. **IEEE Transactions on Education**, v. 54, n. 3, p. 492–500, 2011.
- ANGELOV, A. N.; STYCZYNSKI, Z. A. **Computer-aided 3D Virtual Training in Power System Education**IEEE Power Engineering Society General Meeting, 2007. **Anais...** In: IEEE POWER ENGINEERING SOCIETY GENERAL MEETING, 2007. jun. 2007
- ANNETTA, L. A. et al. Investigating the impact of video games on high school students' engagement and learning about genetics. **Computers & Education**, v. 53, n. 1, p. 74–85, ago. 2009.
- ARENDARSKI, B.; TERMATH, W.; MECKING, P. **Maintenance of Complex Machines in Electric Power Systems Using Virtual Reality Techniques**Conference Record of the 2008 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, 2008. ISEI 2008. **Anais...** In: CONFERENCE RECORD OF THE 2008 IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ELECTRICAL INSULATION, 2008. ISEI 2008. jun. 2008
- AREVALILLO-HERRÁEZ, M.; MORÁN-GÓMEZ, R.; CLAVER, J. M. Conquer the Net: An educational computer game to learn the basic configuration of networking components. **Computer Applications in Engineering Education**, v. 20, n. 1, p. 72–77, 2012.
- AYDOGAN, H. et al. 3D virtual classroom environment for teaching renewable energy production and substation equipment. **International Journal of Electrical Engineering Education**, v. 48, n. 3, p. 294–306, 1 jul. 2011.

AYDOGAN, H. et al. A Study of Education on Power Transformers in a Virtual World. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, 5th World Conference on Educational Sciences. v. 116, p. 3952–3956, 21 fev. 2014.

AYDOGAN, H.; ARAS, F.; KARAKAS, E. **An assessment on distance education in a 3D virtual environment: How to produce electricity in a hydroelectric power plant** 2010 2nd International Conference on Education Technology and Computer (ICETC). **Anais...** In: 2010 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON EDUCATION TECHNOLOGY AND COMPUTER (ICETC). jun. 2010

AZER, S. A. Introducing a problem-based learning program: 12 tips for success. **Medical Teacher**, v. 33, n. 10, p. 808–813, 1 out. 2011.

BAETA MIRANDA, M. **Virtual Reality in the operation and protection relay in substations** Managing the Change, 10th IET International Conference on Developments in Power System Protection (DPSP 2010). **Anais...** In: MANAGING THE CHANGE, 10TH IET INTERNATIONAL CONFERENCE ON DEVELOPMENTS IN POWER SYSTEM PROTECTION (DPSP 2010). 2010

BANDAY, M. T.; AHMED, M.; JAN, T. R. Applications of e-Learning in Engineering Education: A Case Study. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, TAYLOR'S 6TH TEACHING AND LEARNING CONFERENCE 2013: TRANSFORMATIVE HIGHER EDUCATION TEACHING AND LEARNING IN PRACTICE PROCEEDINGS OF THE TAYLOR'S 6TH TEACHING AND LEARNING CONFERENCE 2013 (TTL2013), November 23, 2013, Taylor's University Lakeside Campus, Selangor Daruh Ehsan, Malaysia. v. 123, p. 406–413, 20 mar. 2014.

BARBOSA, P.; MEZZOMO, F.; LODER, L. **Motivos de Evasão no curso de Engenharia Elétrica: Realidade e perspectivas**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA. Blumenau, SC: 2011

BARNA, J. et al. **Open Source Tools in Assembling Process Enriched with Elements of Augmented Reality** Proceedings of the 2012 Virtual Reality International Conference. **Anais...**: VRIC '12. New York, NY, USA: ACM, 2012 Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2331714.2331717>>. Acesso em: 7 fev. 2015

BELLOC, O. D. R. et al. **Virtual Reality procedure training simulators in X3D** Proceedings of the 17th International Conference on 3D Web Technology. **Anais...**: Web3D '12. New York, NY, USA: ACM, 2012 Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2338714.2338741>>. Acesso em: 21 nov. 2012

BELTRÁN SIERRA, L. M.; GUTIÉRREZ, R. S.; GARZÓN-CASTRO, C. L. Second Life as a support element for learning electronic related subjects: A real case. **Computers & Education**, v. 58, n. 1, p. 291–302, jan. 2012.

BONWELL, C. C.; EISON, J. A. **Active Learning: Creating Excitement in the Classroom**. 1 edition ed. Washington, DC: Jossey-Bass, 1991.

BOUD, D.; FELETTI, G. **The Challenge of Problem Based Learning**. 2 edition ed. London: Routledge, 1998.

BOWEN, S. et al. **3DVRLab: A virtual reality learning tool for electrical teaching experiments**2013 International Conference on Measurement, Information and Control (ICMIC). **Anais...** In: 2013 INTERNATIONAL CONFERENCE ON MEASUREMENT, INFORMATION AND CONTROL (ICMIC). ago. 2013

BRASSARD, M. **QUALIDADE - FERRAMENTAS PARA UMA MELHORIA CONTINUA**. 1. ed. [s.l.] QUALITYMARK, 2002.

BURDEA, G. C.; COIFFET, P. **Virtual Reality Technology, Second Edition with CD-ROM**. 2 edition ed. Hoboken, N.J: Wiley-IEEE Press, 2003.

CALLAGHAN, M. J. et al. **Game-based strategy to teaching electronic & Electrical Engineering in Virtual Worlds**. In: INT. IEEE CONSUM. ELECTRON. SOC. GAMES INNOVATIONS CONF. Hong Kong: IEEE, dez. 2010Disponível em: <<http://eprints.ulster.ac.uk/25010/>>. Acesso em: 3 dez. 2013

CAMPORESI, C.; KALLMANN, M. **A framework for immersive VR and full-body avatar interaction**2013 IEEE Virtual Reality (VR). **Anais...** In: 2013 IEEE VIRTUAL REALITY (VR). mar. 2013

CECIL, J.; RAMANATHAN, P.; MWAVITA, M. **Virtual Learning Environments in engineering and STEM education**2013 IEEE Frontiers in Education Conference. **Anais...** In: 2013 IEEE FRONTIERS IN EDUCATION CONFERENCE. out. 2013

CHAPMAN, S. J. Transformers. In: **Electric Machinery and Power System Fundamentals**. 1st U.S. Edition edition ed. [s.l.] McGraw-Hill Higher Education, 2001.

CHATHAM, R. E. Games for Training. **Commun. ACM**, v. 50, n. 7, p. 36–43, jul. 2007.

COHEN, J. **Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences**. 2 edition ed. Hillsdale, N.J: Routledge, 1988.

COLLER, B. D.; SCOTT, M. J. Effectiveness of using a video game to teach a course in mechanical engineering. **Computers & Education**, v. 53, n. 3, p. 900–912, nov. 2009.

CONNOLLY, T. M. et al. A systematic literature review of empirical evidence on computer games and serious games. **Computers & Education**, v. 59, n. 2, p. 661–686, set. 2012.

CRUZ, F. **Scrum e PMBOK unidos no Gerenciamento de Projetos**. [s.l.] Brasport, 2013.

CRUZ-NEIRA, C. et al. The CAVE: audio visual experience automatic virtual environment. **Communications of the ACM**, v. 35, n. 6, p. 64–72, jun. 1992.

DE SOUSA, M. P. A. et al. Maintenance and operation of a hydroelectric unit of energy in a power system using virtual reality. **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**, v. 32, n. 6, p. 599–606, jul. 2010.

DE SOUSA, M. P. A. et al. A 3D learning tool for a hydroelectric unit. **Computer Applications in Engineering Education**, v. 20, n. 2, p. 269–279, 2012.

DEUBEL, P.; DEUBEL, P. Game On! **T.H.E. Journal**, v. 33, n. 6, 2006.

Dexta Robotics. Disponível em: <<http://dextarobotics.com>>. Acesso em: 30 jan. 2015.

ENGENHARIA ELÉTRICA. Disponível em: <<http://guiadoestudante.abril.com.br/profissoes/engenharia-producao/engenharia-eletrica-685859.shtml>>. Acesso em: 31 jan. 2015.

ESPÍNDOLA, D. B. et al. A model-based approach for data integration to improve maintenance management by mixed reality. **Computers in Industry**, v. 64, n. 4, p. 376–391, maio 2013.

FANQI, M.; YUNQI, K. **An improved virtual reality engine for substation simulation** 2010 2nd International Conference on Future Computer and Communication (ICFCC). **Anais...** In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON FUTURE COMPUTER AND COMMUNICATION (ICFCC). maio 2010

FEINER, S.; MACINTYRE, B.; SELIGMANN, D. Knowledge-based Augmented Reality. **Commun. ACM**, v. 36, n. 7, p. 53–62, jul. 1993.

FMOD | FMOD Studio – Digital Audio Workstation for games. Disponível em: <<http://www.fmod.org/>>. Acesso em: 9 dez. 2013.

GALVAN-BOBADILLA, I. et al. **Virtual reality training system for the maintenance of underground lines in power distribution system** 2013 Third International Conference on Innovative Computing Technology (INTECH). **Anais...** In: 2013 THIRD INTERNATIONAL CONFERENCE ON INNOVATIVE COMPUTING TECHNOLOGY (INTECH). ago. 2013

GARCIA, J.; HERNÁNDEZ, A. Active Methodologies in a Queueing Systems Course for Telecommunication Engineering Studies. **IEEE Transactions on Education**, v. 53, n. 3, p. 405–412, ago. 2010.

GARCIA-ROBLES, R. et al. An eLearning Standard Approach for Supporting PBL in Computer Engineering. **IEEE Transactions on Education**, v. 52, n. 3, p. 328–339, ago. 2009.

GAVISH, N. et al. Evaluating virtual reality and augmented reality training for industrial maintenance and assembly tasks. **Interactive Learning Environments**, v. 0, n. 0, p. 1–21, 2013.

GIMENO, J. et al. **An Occlusion-aware AR Authoring Tool for Assembly and Repair Tasks.** In: GRAPP/IVAPP. 2012 Disponível em: <<http://dblp.uni-trier.de/rec/bibtex/conf/grapp/GimenoMOF12>>. Acesso em: 27 nov. 2012

GONCALVES DOS SANTOS, F.; FONSECA, I. E. **A Training System to Help Professionals in the Electric Sector in Risky Operations** 2013 XV Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR). **Anais...** In: 2013 XV SYMPOSIUM ON VIRTUAL AND AUGMENTED REALITY (SVR). maio 2013

GOODSELL, A. S. Collaborative Learning: A Sourcebook for Higher Education. jan. 1992.

GUERRERO, P. et al. DEVELOPING ACTIVE LEARNING: EXPERIMENTATION IN CHEMISTRY FOR CHEMICAL ENGINEERING STUDENTS. **ICERI2011 Proceedings**, p. 275–277, 2011.

HÄFNER, P.; HÄFNER, V.; OVTCHAROVA, J. Teaching Methodology for Virtual Reality Practical Course in Engineering Education. **Procedia Computer Science**, 2013 International Conference on Virtual and Augmented Reality in Education. v. 25, p. 251–260, 2013.

HAMES, E.; BAKER, M. **EEG-based comparisons of performance on a mental rotation task between learning styles and gender** 2013 IEEE Frontiers in Education Conference. **Anais...** In: 2013 IEEE FRONTIERS IN EDUCATION CONFERENCE. out. 2013

HILLS, H. **Team-based Learning**. [s.l.] Gower Publishing, Ltd., 2001.

HOMMES, J. et al. Understanding the effects of time on collaborative learning processes in problem based learning: a mixed methods study. **Advances in Health Sciences Education**, v. 19, n. 4, p. 541–563, 28 jan. 2014.

HONGTAO, Z. et al. **A Remote Training System of Hydropower Plant Based on Interactive Virtual Environments** 2010 International Conference on Electrical and Control Engineering (ICECE). **Anais...** In: 2010 INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRICAL AND CONTROL ENGINEERING (ICECE). jun. 2010

HOOK, J. et al. The ReflecTable: Bridging the Gap between Theory and Practice in Design Education. In: KOTZÉ, P. et al. (Eds.). . **Human-Computer Interaction – INTERACT 2013**. Lecture Notes in Computer Science. [s.l.] Springer Berlin Heidelberg, 2013. p. 624–641.

HOSSEINZADEH, N.; HESAMZADEH, M. R. Application of Project-Based Learning (PBL) to the Teaching of Electrical Power Systems Engineering. **IEEE Transactions on Education**, v. 55, n. 4, p. 495–501, 2012.

HOSSEINZADEH, N.; HESAMZADEH, M.; SENINI, S. **A curriculum for electrical power engineering based on project based learning philosophy** IEEE International Conference on Industrial Technology, 2009. ICIT 2009. **Anais...** In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL TECHNOLOGY, 2009. ICIT 2009. fev. 2009

IWASAKI, Y. et al. **Development of the MR laboratory for electrical experiment using ARToolKit** 2010 9th International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training (ITHET). **Anais...** In: 2010 9TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION TECHNOLOGY BASED HIGHER EDUCATION AND TRAINING (ITHET). abr. 2010

JONG, B.-S. et al. Using Game-Based Cooperative Learning to Improve Learning Motivation: A Study of Online Game Use in an Operating Systems Course. **IEEE Transactions on Education**, v. 56, n. 2, p. 183–190, 2013.

JONG, T. DE; LINN, M. C.; ZACHARIA, Z. C. Physical and Virtual Laboratories in Science and Engineering Education. **Science**, v. 340, n. 6130, p. 305–308, 19 abr. 2013.

KANG, X. et al. **Transformer Overhaul Simulation System Design and Development** Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), 2011 Asia-Pacific. **Anais...** In: POWER AND ENERGY ENGINEERING CONFERENCE (APPEEC), 2011 ASIA-PACIFIC. mar. 2011

KAPP, K. M. **The Gamification of Learning and Instruction: Game-based Methods and Strategies for Training and Education**. [s.l.] John Wiley & Sons, 2012.

KIM, J. An Ill-Structured PBL-Based Microprocessor Course Without Formal Laboratory. **IEEE Transactions on Education**, v. 55, n. 1, p. 145–153, fev. 2012.

KIM, J. M. et al. BiLAT: A Game-Based Environment for Practicing Negotiation in a Cultural Context. **International Journal of Artificial Intelligence in Education**, v. 19, n. 3, p. 289–308, 1 jan. 2009.

KIRSCHNER, P. A.; SWELLER, J.; CLARK, R. E. Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work: An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, Experiential, and Inquiry-Based Teaching. **Educational Psychologist**, v. 41, n. 2, p. 75–86, 1 jun. 2006.

KITCHENHAM, B. Procedures for performing systematic reviews. **Keele, UK, Keele University**, v. 33, n. 2004, p. 1–26, 2004.

KOLB, D. A. **Learning style inventory: Self-scoring test and interpretation booklet**. [s.l.] McBer, 1976.

LAMAR, D. G. et al. Experiences in the Application of Project-Based Learning in a Switching-Mode Power Supplies Course. **IEEE Transactions on Education**, v. 55, n. 1, p. 69–77, fev. 2012.

LANGE, B. et al. Development of an Interactive Game-Based Rehabilitation Tool for Dynamic Balance Training. **Topics in Stroke Rehabilitation**, v. 17, n. 5, p. 345–352, 1 jan. 2010.

LARRAZA-MENDILUZE, E. et al. Game-Console-Based Projects for Learning the Computer Input/Output Subsystem. **IEEE Transactions on Education**, v. 56, n. 4, p. 453–458, nov. 2013.

LEHTOVUORI, A. et al. Promoting Active Learning in Electrical Engineering Basic Studies. **International Journal of Engineering Pedagogy (iJEP)**, v. 3, n. S3, p. pp. 5–12, 21 maio 2013.

LIAO, H.; QU, Z. **Virtual experiment system for electrician training based on Kinect and Unity3D** Proceedings 2013 International Conference on Mechatronic Sciences, Electric Engineering and Computer (MEC). **Anais...** In: PROCEEDINGS 2013 INTERNATIONAL CONFERENCE ON MECHATRONIC SCIENCES, ELECTRIC ENGINEERING AND COMPUTER (MEC). dez. 2013

LI, M.; WANG, S.; HE, T. **A Transformer Substation Simulation engine based on Virtual Reality** 2010 International Conference on Computer, Mechatronics, Control and Electronic Engineering (CMCE). **Anais...** In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER, MECHATRONICS, CONTROL AND ELECTRONIC ENGINEERING (CMCE). ago. 2010

LITZINGER, T. et al. Engineering Education and the Development of Expertise. **Journal of Engineering Education**, v. 100, n. 1, p. 123–150, 2011.

LIU, Q. et al. **Research and implementation of 3D training system for substation simulation** 22nd International Conference and Exhibition on Electricity Distribution (CIRED 2013). **Anais...** In: 22ND INTERNATIONAL CONFERENCE AND EXHIBITION ON ELECTRICITY DISTRIBUTION (CIRED 2013). jun. 2013

LIU, Z. et al. **Virtual 3D Simulation of Fault Diagnosis and its Realization in the Electrical System of Certain Equipment** 2012 Second International Conference on Instrumentation, Measurement, Computer, Communication and Control (IMCCC). **Anais...** In: 2012 SECOND INTERNATIONAL CONFERENCE ON INSTRUMENTATION, MEASUREMENT, COMPUTER, COMMUNICATION AND CONTROL (IMCCC). dez. 2012

LODER, L. L. Engenheiro em formação : o sujeito da aprendizagem e a construção do conhecimento em engenharia elétrica. 2009.

LYYTINEN, H. et al. Early identification of dyslexia and the use of computer game-based practice to support reading acquisition. **Nordic Psychology**, v. 59, n. 2, p. 109–126, 2007.

MARCELINO, R. et al. **3D virtual worlds using open source platform and integrated remote experimentation** 2012 9th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV). **Anais...** In: 2012 9TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON REMOTE ENGINEERING AND VIRTUAL INSTRUMENTATION (REV). jul. 2012

MARCELO DA SILVA HOUNSELL, E. L. DA S. A Model to Distinguish Between Educational and Training 3D Virtual Environments and its Application. **International Journal of Virtual Reality**, v. 9, n. 2, p. 1–10, 2010.

MARTÍN-GUTIÉRREZ, J. et al. Augmented reality to promote collaborative and autonomous learning in higher education. **Computers in Human Behavior**, 2014.

MARTIN-GUTIERREZ, J.; GUINTERS, E.; PEREZ-LOPEZ, D. Improving Strategy of Self-Learning in Engineering: Laboratories with Augmented Reality. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 51, p. 832–839, maio 2012.

MATSUTOMO, S. et al. Real-Time Visualization System of Magnetic Field Utilizing Augmented Reality Technology for Education. **IEEE Transactions on Magnetics**, v. 48, n. 2, p. 531–534, fev. 2012.

MCDONALD, J. D. (ED.). **Electric Power Substations Engineering, Second Edition**. 2 edition ed. Boca Raton: CRC Press, 2007.

MCDOWELL, P. et al. Delta3D: A Complete Open Source Game and Simulation Engine for Building Military Training Systems. **The Journal of Defense Modeling and Simulation: Applications, Methodology, Technology**, v. 3, n. 3, p. 143–154, 7 jan. 2006.

MERCHANT, Z. et al. The Learner Characteristics, Features of Desktop 3D Virtual Reality Environments, and College Chemistry Instruction: A Structural Equation Modeling Analysis. **Comput. Educ.**, v. 59, n. 2, p. 551–568, set. 2012.

MERCHANT, Z. et al. Effectiveness of virtual reality-based instruction on students' learning outcomes in K-12 and higher education: A meta-analysis. **Computers & Education**, v. 70, p. 29–40, jan. 2014.

MICHAU, R. et al. An investigation of theory-practice gap in undergraduate paramedic education. **BMC Medical Education**, v. 9, n. 1, p. 23, 18 maio 2009.

Microsoft HoloLens. Disponível em: <<http://www.microsoft.com/microsoft-hololens/en-us>>. Acesso em: 30 jan. 2015.

Microsoft Kinect. Disponível em: <<http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/>>.

Microsoft PowerPoint | Slide Presentation Software. Disponível em: <<http://products.office.com/en-us/powerpoint>>. Acesso em: 30 jan. 2015.

MILLIS, B. J.; COTTELL, P. G., Jr. **Cooperative Learning For Higher Education Faculty**:. Phoenix, Ariz.: Rowman & Littlefield Publishers, 1997.

Modelo de Acessibilidade em Governo Eletrônico. Disponível em: <<http://emag.governoeletronico.gov.br/>>.

Moodle. Disponível em: <<https://moodle.org/>>.

MOREIRA, C. C. **Navegação, reconhecimento de gestos e controle de interface no Sistema ITV utilizando o dispositivo Kinect.** Universidade Federal do Pará, 2013.

MORSI, R.; RICHARDS, C.; RIZVI, M. **Work in progress #x2014; BINX: A 3D XNA educational game for engineering education**2010 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE). **Anais...** In: 2010 IEEE FRONTIERS IN EDUCATION CONFERENCE (FIE). out. 2010

MUNOZ, M. et al. **Active learning in first-year engineering courses at Universidad Catolica de la Santisima Concepcion, Chile.** Disponível em: <<http://search.informit.com.au/documentSummary;dn=242946495870277;res=IELENG>>. Acesso em: 27 jan. 2015.

MURRAY, T. Authoring Intelligent Tutoring Systems: An analysis of the state of the art. **International Journal of Artificial Intelligence in Education**, v. 10, p. 98–129, 1999.

NAKAMOTO, P. T. et al. An Virtual Environment Learning of Low Cost for the Instruction of Electric Circuits. **Latin America Transactions, IEEE (Revista IEEE America Latina)**, v. 8, n. 6, p. 695–702, 2010.

NASCIMENTO, M. **Modelagem de objetos tridimensionais para um ambiente interativo de instruções técnicas virtuais.** Mestrado—Pará: Universidade Federal do Pará, 2010.

NEWMAN, M. J. Problem Based Learning: an introduction and overview of the key features of the approach. **Journal of Veterinary Medical Education**, v. 32, n. 1, p. 12–20, 2005.

NYSTAD, E.; STRAND, S. **Using virtual reality technology to include field operators in simulation and training.** In: 27TH ANNUAL CANADIAN NUCLEAR SOCIETY CONFERENCE AND 30TH CNS/CNA STUDENT CONFERENCE. Toronto: 2006

OGRE – Open Source 3D Graphics Engine. Disponível em: <<http://www.ogre3d.org/>>. Acesso em: 14 maio. 2013.

OLIVEIRA NETTO, A. A. DE; TAVARES, W. R. **Introdução à Engenharia de Produção.** 1. ed. [s.l.] Visual Books, 2006.

ONIME, C.; UHOMOIBHI, J.; PIETROSEMOLI, E. **A demonstration of an augmented virtuality based solar energy power calculator in electrical engineering**2014 11th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV). **Anais...**

In: 2014 11TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON REMOTE ENGINEERING AND VIRTUAL INSTRUMENTATION (REV). fev. 2014

OpenSG. Disponível em: <<http://www.openscenegraph.org/>>.

OTHMAN, N. F.; ARSHAD, H. **Binary search tree traversal for Arrick Robot virtual assembly training module** 2011 International Conference on Electrical Engineering and Informatics (ICEEI). **Anais...** In: 2011 INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRICAL ENGINEERING AND INFORMATICS (ICEEI). jul. 2011

OXFORD, R. L. **Teaching & Researching: Language Learning Strategies**. 1 edition ed. Harlow: Routledge, 2011.

OZANNE, H. S. Operations and Maintenance Manuals. In: **Pipeline Planning and Construction Field Manual**. Boston: Gulf Professional Publishing, 2011. p. 465–482.

PAMPLONA, A. **Hidrogeradora Virtual: Utilização de Técnicas de Realidade Virtual Desktop para o Estudo de uma Unidade Hidrelétrica de Energia**. Pará: Universidade Federal do Pará, dez. 2006.

POHL, M.; RESTER, M.; JUDMAIER, P. Interactive Game Based Learning: Advantages and Disadvantages. In: STEPHANIDIS, C. (Ed.). . **Universal Access in Human-Computer Interaction. Applications and Services**. Lecture Notes in Computer Science. [s.l.] Springer Berlin Heidelberg, 2009. p. 92–101.

POPESCU, D. et al. **Real, virtual, simulated and remote experiments for Electrical Engineering education** EAEEIE Annual Conference, 2009. **Anais...** In: EAEEIE ANNUAL CONFERENCE, 2009. 2009

PRENSKY, M. **Digital Game-Based Learning**. Paragon House Ed edition ed. St. Paul, Minn.: Paragon House, 2007.

PRINCE, M. Does Active Learning Work? A Review of the Research. **Journal of Engineering Education**, v. 93, n. 3, p. 223–231, 2004.

Qt Project. Disponível em: <<http://qt-project.org/>>. Acesso em: 9 dez. 2013.

RAMIREZ, H. et al. Authoring Software for Augmented Reality Applications for the Use of Maintenance and Training Process. **Procedia Computer Science**, 2013 International Conference on Virtual and Augmented Reality in Education. v. 25, p. 189–193, 2013.

REEVES, T. C.; LAFFEY, J. M. Design, Assessment, and Evaluation of a Problem-based Learning Environment in Undergraduate Engineering. **Higher Education Research & Development**, v. 18, n. 2, p. 219–232, 1 jun. 1999.

REEVES, W. T. Particle Systems—a Technique for Modeling a Class of Fuzzy Objects. **ACM Transactions on Graphics**, v. 2, n. 2, p. 91–108, abr. 1983.

REGENT, P.; RAIMBAULT, P.; MARTY, A. **Serious games serving the professionalisation of electricity technicians** 22nd International Conference and Exhibition on Electricity Distribution (CIRED 2013). **Anais...** In: 22ND INTERNATIONAL CONFERENCE AND EXHIBITION ON ELECTRICITY DISTRIBUTION (CIRED 2013). jun. 2013

RESTIVO, T. et al. **Augmented reality to improve STEM motivation** 2014 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON). **Anais...** In: 2014 IEEE GLOBAL ENGINEERING EDUCATION CONFERENCE (EDUCON). abr. 2014

REYNOLDS, R.; CAPERTON, I. H. Contrasts in student engagement, meaning-making, dislikes, and challenges in a discovery-based program of game design learning. **Educational Technology Research and Development**, v. 59, n. 2, p. 267–289, 27 fev. 2011.

Rift. Disponível em: <<https://www.oculus.com/rift/>>. Acesso em: 29 jan. 2015.

ROBLES-DE-LA-TORRE, G. The importance of the sense of touch in virtual and real environments. **IEEE MultiMedia**, v. 13, n. 3, p. 24–30, jul. 2006.

ROMERO, G. et al. Virtual reality applied to a full simulator of electrical sub-stations. **Electric Power Systems Research**, v. 78, n. 3, p. 409–417, mar. 2008.

RUSSELL, R. M. et al. **Issues and challenges in conducting systematic reviews to support development of nutrient reference values: Workshop summary**. [s.l.] Agency for Healthcare Research and Quality, 2009.

SAAVEDRA MONTES, A. J.; CASTRO, H. A. B.; RIVEROS, J. A. H. How to Motivate Students to Work in the Laboratory: A New Approach for an Electrical Machines Laboratory. **IEEE Transactions on Education**, v. 53, n. 3, p. 490–496, ago. 2010.

SABAG, N.; DOPPELT, Y. Methodology of Change Assimilation in Technology Education #x2014; A Case Study. **IEEE Transactions on Education**, v. 55, n. 2, p. 190–195, maio 2012.

SAMPAIO, A. Z.; MARTINS, O. P. The application of virtual reality technology in the construction of bridge: The cantilever and incremental launching methods. **Automation in Construction**, v. 37, p. 58–67, jan. 2014.

SANTOS-MARTIN, D. et al. Problem-Based Learning in Wind Energy Using Virtual and Real Setups. **IEEE Transactions on Education**, v. 55, n. 1, p. 126–134, fev. 2012.

SCARBROUGH, H. et al. Project-Based Learning and the Role of Learning Boundaries. **Organization Studies**, v. 25, n. 9, p. 1579–1600, 11 jan. 2004.

SCHAF, F. M. et al. Collaborative learning and engineering workspaces. **Annual Reviews in Control**, v. 33, n. 2, p. 246–252, dez. 2009.

SCHONING, M.; HAMEYER, K. **Virtual product development for electrical motors** Electric Machines Drives Conference, 2007. IEMDC '07. IEEE International. **Anais...** In: ELECTRIC MACHINES DRIVES CONFERENCE, 2007. IEMDC '07. IEEE INTERNATIONAL. maio 2007

SCULLY, N. J. The theory-practice gap and skill acquisition: An issue for nursing education. **Collegian**, v. 18, n. 2, p. 93–98, jun. 2011.

Second Life. Disponível em: <<http://secondlife.com/whatis/>>.

SHAOHUA, L.; CHENGLEI, Z. **The application of virtual reality technology in design of transform substations** 2010 International Conference on Computer Application and System

Modeling (ICCASM). **Anais...** In: 2010 INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER APPLICATION AND SYSTEM MODELING (ICCASM). 2010

SHERMAN, W. R.; CRAIG, A. B. **Understanding Virtual Reality: Interface, Application, and Design**. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc., 2002.

SOUSA, M. P. A. **Uma Nova Abordagem de Treinamento de Manutenção em uma Unidade Hidrogeradora Elétrica, Utilizando Tecnologias de Realidade Virtual Desktop**. Doutorado—Brasil: Universidade Federal do Pará, 2009.

SRINIVASAN, M. et al. Comparing problem-based learning with case-based learning: effects of a major curricular shift at two institutions. **Academic Medicine: Journal of the Association of American Medical Colleges**, v. 82, n. 1, p. 74–82, jan. 2007.

STÖCKLEIN, J. et al. **MiReAS: A Mixed Reality Software Framework for Iterative Prototyping of Control Strategies for an Indoor Airship** Proceedings of the 7th International Conference on Computer Graphics, Virtual Reality, Visualisation and Interaction in Africa. **Anais...**: AFRIGRAPH '10. New York, NY, USA: ACM, 2010 Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1811158.1811164>>. Acesso em: 7 fev. 2015

SWELLER, J. The worked example effect and human cognition. **Learning and Instruction**, Recent Worked Examples Research: Managing Cognitive Load to Foster Learning and Transfer Recent Worked Examples Research: Managing Cognitive Load to Foster Learning and Transfer. v. 16, n. 2, p. 165–169, abr. 2006.

TERZIDOU, T. et al. **Utilizing Virtual Worlds for Game Based Learning: Grafica, a 3D Educational Game in Second Life** 2012 IEEE 12th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT). **Anais...** In: 2012 IEEE 12TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED LEARNING TECHNOLOGIES (ICALT). 2012

TOMHAVE, B. L. **Alphabet Soup: Making Sense of Models, Frameworks, and Methodologies**, 2005. Disponível em: <http://www.researchgate.net/publication/237125787_Alphabet_Soup_Making_Sense_of_Models_Frameworks_and_Methodologies>. Acesso em: 21 jan. 2015

TRAVASSOS VALDEZ, M.; MACHADO FERREIRA, C.; BARBOSA, F. P. M. **Electrical engineering teaching and distance learning using a desktop virtual reality system** Power Engineering Conference (UPEC), 2013 48th International Universities'. **Anais...** In: POWER ENGINEERING CONFERENCE (UPEC), 2013 48TH INTERNATIONAL UNIVERSITIES'. set. 2013

Usina Hidrelétrica. Disponível em: <<http://www.infoescola.com/energia/usina-hidreletrica/>>. Acesso em: 4 fev. 2015.

VAANANEN, M.; HORELLI, J.; KATAJISTO, J. **Virtual learning environment concept for PLC-programming - case: Building automation** 2010 2nd International Conference on Education Technology and Computer (ICETC). **Anais...** In: 2010 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON EDUCATION TECHNOLOGY AND COMPUTER (ICETC). jun. 2010

VANLEHN, K. The Relative Effectiveness of Human Tutoring, Intelligent Tutoring Systems, and Other Tutoring Systems. **Educational Psychologist**, v. 46, p. 197–221, out. 2011.

VIEIRA, S. **Bioestatística Tópicos Avançados**. 3 edition ed. [s.l.] Elsevier Editora Ltda., 2011.

VOS, N.; VAN DER MEIJDEN, H.; DENESSEN, E. Effects of constructing versus playing an educational game on student motivation and deep learning strategy use. **Computers & Education**, v. 56, n. 1, p. 127–137, jan. 2011.

VRML. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/VRML>>.

WANG, W.; LI, G. **Virtual reality in the substation training simulator**2010 14th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design (CSCWD). **Anais...** In: 2010 14TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER SUPPORTED COOPERATIVE WORK IN DESIGN (CSCWD). abr. 2010

WANG, Y. et al. Project based learning in mechatronics education in close collaboration with industrial: Methodologies, examples and experiences. **Mechatronics**, Special Issue on Intelligent Mechatronics (LSMS2010 & ICSEE2010). v. 22, n. 6, p. 862–869, set. 2012.

WEBEL, S. et al. An augmented reality training platform for assembly and maintenance skills. **Robot. Auton. Syst.**, v. 61, n. 4, p. 398–403, abr. 2013.

WOLFF, A. **Problem based learning. The role of the tutor: A resource guide for faculty**. Vanvouver, Canadá, 2000.

YANG, X. et al. A Training Simulator for PD Detection Personnel. **Journal of Power and Energy Engineering**, v. 02, n. 04, p. 573–578, 2014.

YOON, H. et al. The Efficacy of Problem-based Learning in an Analytical Laboratory Course for Pre-service Chemistry Teachers. **International Journal of Science Education**, v. 36, n. 1, p. 79–102, 2 jan. 2014.

YU, B. et al. Exploring the Preference in Learning Approach among the Hong Kong University Students: Case Study, Problem-Based or Traditional Textbook Question. **Developments in Business Simulation and Experiential Learning**, v. 32, n. 0, 24 fev. 2014.

ZHANG, T. et al. **A gaming environment approach to analysis of energy storage for electric/hybrid vehicle**2011 International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP). **Anais...** In: 2011 INTERNATIONAL CONFERENCE ON CLEAN ELECTRICAL POWER (ICCEP). jun. 2011