

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

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

WILLIE DUARTE TEIXEIRA

**UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE REALIDADE VIRTUAL PARA TREINAMENTO
DE OPERAÇÃO DE
TERMO-VÁCUO NA MANUTENÇÃO DE ÓLEO TRANSFORMADORES DE
POTÊNCIA**

DM: 33/2017

**UFPA/ITEC/PPGEE
Campus Universitário do Guamá
Belém-Pará-Brasil
2017**

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

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

WILLIE DUARTE TEIXEIRA

**UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE REALIDADE VIRTUAL PARA TREINAMENTO
DE OPERAÇÃO DE
TERMO-VÁCUO NA MANUTENÇÃO DE ÓLEO TRANSFORMADORES DE
POTÊNCIA**

DM: 33/2017

**UFPA/ITEC/PPGEE
Campus Universitário do Guamá
Belém-Pará-Brasil
2017**



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

WILLIE DUARTE TEIXEIRA

**UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE REALIDADE VIRTUAL PARA TREINAMENTO
DE OPERAÇÃO DE
TERMO-VÁCUO NA MANUTENÇÃO DE ÓLEO TRANSFORMADORES DE
POTÊNCIA**

Dissertação de Mestrado submetida à Banca Examinadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica como quesito a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Elétrica com ênfase em Computação Aplicada.

Orientador: Prof. Dr. Manoel Ribeiro Filho

**UFPA/ITEC/PPGEE
Campus Universitário do Guamá
Belém-Pará-Brasil
2017**

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

Teixeira, Willie Duarte, 1987-

Utilização de técnicas de realidade virtual para treinamento de operação de termo-vácuo na manutenção de óleo transformadores de potência. – 2017.

Orientador: Manoel Ribeiro Filho

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica , Belém, 2017.

1. Realidade virtual. 2. Pessoal – treinamento – simulação por computador. .
3. Estratégias de aprendizagem. I. Título.

CDD 23. ed. 006.8

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

UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE REALIDADE VIRTUAL PARA TREINAMENTO DE OPERAÇÃO DE TERMO-VÁCUO NA MANUTENÇÃO DE ÓLEO TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA

AUTOR: WILLIE DUARTE TEIXEIRA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO 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 MESTRE EM ENGENHARIA ELÉTRICA NA ÁREA DE COMPUTAÇÃO APLICADA.

APROVADA EM ___/___/_____

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Manoel Ribeiro Filho
(Orientador – PPGEE/UFPA)

Prof. Dr. João Crisóstomo Wely Albuquerque Costa
(Avaliador Interno – PPGEE/UFPA)

Prof. Dr. Adam Dreyton Ferreira dos Santos

VISTO:

Prof. Dr. Evaldo Gonçalves Pelaes
(Coordenador do PPGEE/ITEC/UFPA)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, sou muitíssimo grato ao meu Deus por tudo.

Agradeço a UFPA, e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, especialmente ao professor Dr. João Crisóstomo Weyl Albuquerque Costa por me oportunizar a realização deste curso.

Agradeço ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA), pela parceria celebrada junto a UFPA, viabilizando-me essa formação.

Agradeço grandemente ao professor Dr. Manoel Ribeiro Filho, meu orientador, pela diligência e por todo o conhecimento compartilhado, algo indispensável para o bom andamento de um trabalho científico de mestrado como esse.

A minha esposa amada, Katia Micaelly Pereira Silva Teixeira, por todo o apoio, carinho, dedicação e compreensão, durante o curso desse trabalho.

Aos meus pais Antônio Donizete Teixeira e Maria de Fátima Duarte Teixeira que sempre me apoiaram no decorrer de toda a minha formação, sendo meus grandes incentivadores.

Aos meus irmãos Wilker Duarte Teixeira e Ingrid Carvalho da Silva, pelo apoio de incentivo.

RESUMO

É consenso entre as empresas que atuam no Sistema Interligado Nacional (SIN), que existe uma imprescindibilidade de capacitação de seus profissionais, a fim de que sejam evitadas perdas financeiras e principalmente danos físicos aos envolvidos nas atividades operacionais. No contexto operacional do SIN um dos processos mais importantes na manutenção preventiva e corretiva em equipamentos de subestações é o tratamento do óleo mineral isolante. O óleo mineral isolante tem o papel de elevar a isolação das partes ativas de equipamentos de alta-tensão, sendo assim, a manutenção das condições Físico-Químicas dentro dos padrões, torna-se essencial para o bom funcionamento de equipamentos que operem em alta-tensão. O presente trabalho utiliza técnicas de Realidade Virtual na criação de um ambiente virtual de treinamento na operação de termo-vácuo, que são máquinas responsáveis pelo tratamento do óleo mineral isolante. A proposta desse trabalho foi trazer ganhos qualitativos e quantitativos ao processo de treinamento de profissionais que operam ou operarão tais equipamentos, com enfoque principal aos que estão em processo de formação em instituições formais de ensino, mais especificamente para a utilização em disciplinas de máquinas elétricas e afins.

Palavras-chave: Realidade Virtual, Plataforma, Termo-vácuo, Treinamento.

ABSTRACT

It is a consensus among the companies that work in the National Interconnected System (SIN), that there is an essential qualification of their employees, to avoid financial losses and mainly physical damages to those involved in operational activities. In the operational context of the SIN one of the most important processes in preventive and corrective maintenance for substation equipment of the the treatment of the insulating mineral oil. Insulating mineral oil has the role of raising the insulation of the active parts of high-voltage equipment, thus maintaining the Physical-Chemical conditions within the standards, becomes essential for the proper functioning of equipment that operates in high- voltage. The present work uses Virtual Reality techniques in the creation of a virtual training environment for the operation of term vacuum, which are machines responsible for the treatment in mineral insulating oil. The proposal of this work was to bring qualitative and quantitative gains to the process of training professionals who operate or operate such equipment, with a focus on those who are in the process of training in the formal educational institutions, more specifically for the use in disciplines, such as electrical machinery and other related ones.

KEYWORDS: Virtual Reality, Platform, Thermovacuum, Training.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|-----------|
| Figura 1 – Exemplo ilustrativo de transformador de potência..... | 16 |
| Figura 2 – Exemplo ilustrativo de simulador de atividades espaciais..... | 18 |
| Figura 3 – Imagem ilustrativa da Taxonomia de Bloom..... | 21 |
| Figura 4 – Modelo de avaliação..... | 27 |
| Figura 5. A - Quadro com a questão de a ser respondida e B – Visualização do trajeto do objeto durante o lançamento..... | 28 |
| Figura 6 – Ambiente 3D, simulando ambiente de uma subestação..... | 29 |
| Figura 7 – Simulador de manobras de disjuntores de uma subestação..... | 30 |
| Figura 8 – Avatares e modelos da plataforma..... | 31 |
| Figura 9. Simulação de troca de isoladores..... | 32 |
| Figura 10. Arquitetura do simulador..... | 33 |
| Figura 11 – Tela inicial do Unity..... | 35 |
| Figura 12 – Figura demonstrativa da tela inicial do SketcUp..... | 36 |
| Figura 13 – Figura demonstrativa da tela de desenvolvimento do 3D MAX..... | 37 |
| Figura 14 – Equipamento modelado utilizando o 3D MAX..... | 38 |
| Figura 15 – Compilador de linguagem C# MonoDevelop..... | 39 |
| Figura 16 – Transformador de distribuição e suas partes..... | 40 |
| Figura 17 – Transformador de força novo..... | 41 |
| Figura 18 – Óleo mineral isolante em tambores de 200 litros..... | 42 |
| Figura 19 – Diagrama de blocos de decisões com base em resultados de análises cromatográficas..... | 45 |
| Figura 20 – Diagrama das rotas do transporte e destinos dos PCB's na corrente sanguínea de peixes..... | 47 |

| | |
|---|----|
| Figura 21 – Diagrama de funcionamento de máquina para termo-vácuo..... | 49 |
| Figura 22 – Diagrama de máquina termo-vácuo durante enchimento de transformadores..... | 50 |
| Figura 23 – Diagrama de blocos do simulador..... | 52 |
| Figura 24 – Script em C# para movimentação de personagem em ambiente 3D. Imagem retirado do software MonoDevelop..... | 53 |
| Figura 25 – Menu Inicial do Simulador..... | 56 |
| Figura 26 – Menu “Opções” do Simulador..... | 56 |
| Figura 27 – Menu “NR’s” do Simulador..... | 57 |
| Figura 28 – Acesso a NR10 pelo simulador..... | 59 |
| Figura 29 – Menu de “Teste”, verificação de conhecimentos..... | 60 |
| Figura 30 – Simulador de tratamento de óleo, tela inicial..... | 61 |
| Figura 31 – Modelo 3D da máquina de termo-vácuo MVI 3000..... | 62 |
| Figura 32 – Modelo 3D de tambores de óleo..... | 63 |
| Figura 33 – Menu de informações sobre tratamento de óleo..... | 64 |
| Figura 34 – Figura 34 – Simulação com mangueiras ainda não acopladas “A” e acopladas “B”..... | 65 |
| Figura 35 – Bomba de vácuo e bomba de entrada de óleo acionadas no simulador..... | 66 |
| Figura 36 – Aplicação do questionário inicial para aferição de conhecimentos..... | 68 |
| Figura 37 – Aula com o auxílio do simulador de tratamento de óleo de transformadores..... | 69 |
| Figura 38 – Resultados dos questionários aplicados durante os testes do simulador..... | 72 |
| Figura 39 – Resultados pelo método tradicional de ensino..... | 73 |

| | |
|--|-----------|
| Figura 40 – Contribuição do simulador para a aprendizagem de tratamento de óleo mineral isolante..... | 74 |
| Figura 41 – Eficiência do simulador, comparando-o com outras atividades de ensino..... | 74 |
| Figura 42 – Contribuição do simulador para a vida profissional dos alunos..... | 75 |
| Figura 43 – Confiança dos alunos quanto a aprendizagem..... | 76 |
| Figura 44 – Facilidade de entender e usar o simulador como material didático..... | 76 |
| Figura 45 – Conexão entre o conteúdo do simulador e conhecimentos anteriores..... | 77 |
| Figura 46 – Relevância do conteúdo do simulador para os interesses de cada aluno..... | 77 |
| Figura 47 – Capacidade do simulador em manter a atenção dos alunos..... | 78 |
| Figura 48 – Capacidade do simulador em manter a atenção dos alunos..... | 78 |
| Figura 49 – Sobre o design do simulador..... | 79 |
| Figura 50 – Organização do conteúdo..... | 79 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|-----------|
| Tabela 1 – Valores de referência para análises Físico-Química em óleo usado..... | 44 |
| Tabela 2 – Principais Scripts do simulador..... | 54 |
| Tabela 3 – Avaliação prévia dos alunos. | 70 |
| Tabela 4 – Avaliação pós teste dos alunos. | 71 |
| Tabela 5 – Avaliação realizada em turmas anteriores..... | 71 |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 15 |
| 1.1 MOTIVAÇÃO | 16 |
| 1.2 OBJETIVO GERAL | 17 |
| 1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS E CONTRIBUIÇÕES..... | 19 |
| 1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO | 20 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICAS..... | 21 |
| 2.1 MÉTODOS INTELLECTUAIS ABRANGIDOS NO PROCESSO DE APRENDIZAGEM..... | 21 |
| 2.2 USO DE SIMULADORES NO PROCESSO DA APRENDIZAGEM..... | 22 |
| 2.3 MÉTODOS DE DESENVOLVIMENTO E TESTES DE SIMULADORES..... | 25 |
| 2.4 TRABALHOS CORRELATOS..... | 27 |
| 2.4.1 Simulador Computacional para o Ensino de Física..... | 28 |
| 2.4.2 Treinamento em Subestações Através de Realidade Virtual..... | 29 |
| 2.4.3 Simulador de Uma Subestação Para Ensino de Princípios Básicos de Eletricidade..... | 30 |
| 2.4.4 Modelagem e Animação de Objetos de um Sistema de Distribuição de Energia..... | 31 |
| 2.4.5 Simulador para treinamento de manutenção em isoladores elétricos..... | 31 |
| 3. METODOLOGIAS E FERRAMENTAS..... | 34 |
| 3.1 Ferramentas computacionais utilizadas na criação da plataforma..... | 34 |
| 3.1.1 UNITY 3D..... | 35 |
| 3.1.2 SketcUp..... | 36 |
| 3.1.3 – 3D MAX..... | 37 |
| 3.2 Transformadores e suas finalidades..... | 39 |

| | |
|--|-----------|
| 3.3 O óleo mineral..... | 41 |
| 3.3.1 Tipos de análises de óleo..... | 43 |
| 3.3 Procedimento de tratamento termo-vácuo..... | 48 |
| 4. PROJETO, IMPLEMENTAÇÃO E TESTES..... | 52 |
| 4.1 IMPLEMENTAÇÃO DOS SCRIPTS DO SIMULADOR..... | 53 |
| 4.2 IMPLEMENTAÇÃO DAS ÁREAS DO SIMULADOR E PRODUTO FINAL..... | 55 |
| 4.3 Contexto de Uso..... | 67 |
| 4.5 TESTES DO SIMULADOR..... | 68 |
| 5. RESULTADOS..... | 70 |
| 5.1 AVALIAÇÃO DE APRENDIZAGEM..... | 70 |
| 5.2 AVALIAÇÃO DO SIMULADOR..... | 73 |
| 5.3 AVALIAÇÃO MOTIVACIONAL..... | 75 |
| 5.4 SUGESTÕES DE MELHORIAS..... | 80 |
| 6. CONCLUSÃO..... | 81 |
| 6.1 TRABALHOS FUTUROS..... | 82 |
| 6.2 PUBLICAÇÕES..... | 82 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 83 |
| APÊNDICE A | 89 |
| APÊNDICE B | 93 |

1. INTRODUÇÃO

A procura por novos métodos de ensino é um fenômeno antigo. Jogos, plataformas e simuladores são cada vez mais utilizados como ferramentas de auxílio no processo de ensino-aprendizagem para os mais diversos objetivos, testes de conhecimentos, de aptidões, de verificações, de criar métodos de desenvolver o pensamento humano, etc. As técnicas utilizadas são distintas e múltiplas para cada aplicação. Entretanto, uma metodologia não invalida outras, por ser o processo de aprendizagem plural e individual.

Em relação aos processos de manutenção, o pouco conhecimento de procedimentos ou equipamentos utilizados em manutenções é um fator determinante na elevação de perdas materiais e humanas, elevando os riscos envolvidos nas diversas modalidades de manutenção (RIBEIRO, 2009).

Nesse contexto um dos componentes cruciais para o funcionamento dos atuais Sistemas Elétricos de Potência (SEP) são os transformadores (MARCIEL, 2010). Sendo sua vida útil fortemente ligada à qualidade do óleo mineral isolante em seu interior.

A deterioração da isolação dá origem à água e outros produtos, e, como consequência, há seu enfraquecimento mecânico, ficando o poder dielétrico também reduzido. O processo pode continuar e haver a formação de corona, e finalmente haver a falha de isolação. Costuma-se dizer que o transformador não morre, mas é matado. (MILASCH, 1984)

Transformador é um equipamento que opera por meio da indução eletromagnética, transferindo energia de um circuito primário a um circuito secundário, sendo mantida a potência, porém com tensões e correntes diferentes (MAMEDE FILHO, 2013).

Os transformadores são componente do SEP, conforme ilustrado na Figura 1, que são sistemas de energia que abrangem: geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. A geração é feita normalmente nas usinas hidrelétricas, depois disso, é necessário a elevação dos níveis de tensão para que a energia possa ser transportada com redução das perdas por aquecimento dos condutores das linhas de transmissão, então entra em ação os transformadores elevadores.

Ao chegar próxima aos grandes centros consumidores, é necessário que a tensão seja reduzida para níveis utilizáveis pelos consumidores, ocorre então o contrário, ou seja, entram em ação os transformadores abaixadores, que reduzem os níveis de tensão.

Os Sistemas Elétricos de Potência (SEP's) são idealizados com o intuito de fornecer energia de qualidade com alta confiabilidade. Tal qualidade e confiabilidade depende em muito do estado de operação dos transformadores, sendo esse, por sua vez, dependente da eficácia das manutenções realizadas. Essa eficácia, como já mencionado, depende diretamente do óleo mineral isolante em uso (OLIVEIRA,2009).



Figura 1 – Exemplo ilustrativo de transformador de potência.

Fonte: do autor.

Quanto ao óleo mineral isolante pode-se conceituá-lo da seguinte maneira:

O óleo mineral isolante utilizado em aparelhos elétricos é extraído do petróleo. Sua composição e características depende da natureza do petróleo do qual foi extraído e do processo empregado em sua preparação. O óleo mineral isolante é constituído de uma mistura de hidrocarbonetos em sua maioria, e de não-hidrocarbonetos, também chamados de heterocompostos, em pequena proporção (MILASCH, 1984).

Como o óleo mineral isolante tem sua função de elevar a isolação entre partes energizadas e não energizadas do equipamento, sua manutenção, para mantê-lo dentro de

parâmetros adequados é importantíssima para a elevação da vida útil do equipamento em que o óleo está contido.

Em caso de desgaste dos parâmetros do óleo, faz-se necessário o tratamento desse óleo desgastado, sendo o meio mais eficaz o tratamento por termo-vácuo. O tratamento do óleo em câmara de vácuo (termo-vácuo) é um meio eficaz de retirar água, gases e ácidos voláteis do óleo. Em geral, o óleo novo ou pouco contaminado sofre somente tratamento de filtração. Ao óleo muito contaminado dá-se um tratamento de filtração e desidratação a vácuo ou centrifugação e desidratação a vácuo, ou, ainda, os três tratamentos ao mesmo tempo (MILASCH, 1984).

Caso as intervenções e trabalho do transformador sejam corretamente conduzidos, a vida útil do mesmo poderá chegar a mais de cinco décadas. É portanto, preciso o acompanhamento do crescimento da deterioração da isolação dos transformadores, que tem início quando o transformador começa a operar.

Com o intuito de trazer ganhos quantitativos e qualitativos no processo de treinamento de profissionais que atuem ou atuarão no SEP e principalmente a alunos dos cursos do setor de energia, foram pensadas soluções utilizando Realidade Virtual, conforme será abordado neste trabalho.

Este trabalho consistiu no desenvolvimento de uma aplicação para *desktop* na qual o ambiente 3D simulado é similar a uma subestação de energia, sendo trazidos para o ambiente de ensino elementos utilizados nas práticas de manutenção de transformadores, principalmente o que tange ao processo de tratamento de óleo mineral isolante, denominado de tratamento termo-vácuo.

1.1 Motivação

Atualmente existem simuladores para diversas aplicabilidades do mundo físico. Existem simuladores nas áreas de saúde, medicina, engenharia, espaciais, etc., como pode-se verificar na Figura 2.

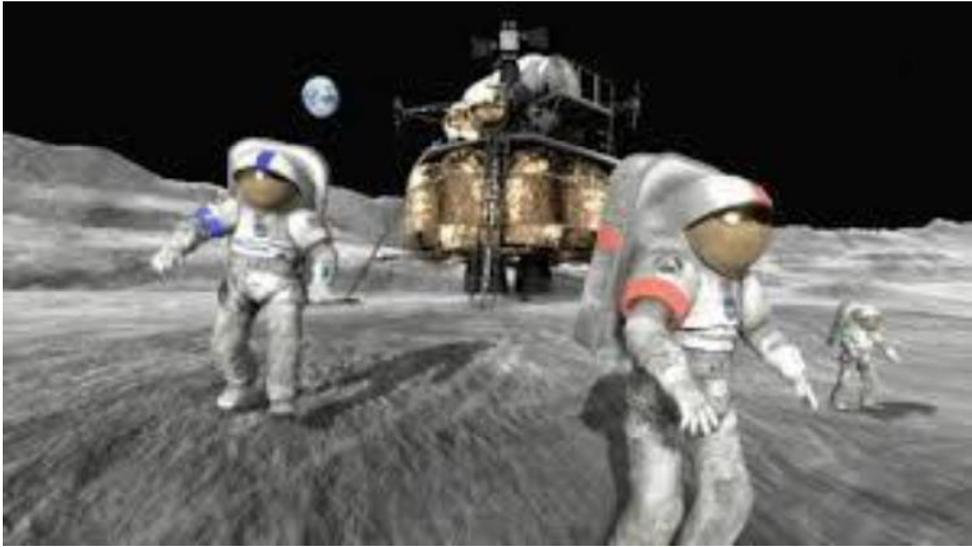


Figura 2 – Exemplo ilustrativo de simulador de atividades espaciais.

Fonte: Ferreira et al. (2016).

Nas instituições de ensino, disciplinas como física, química, biologia, começam a possuir atividades que envolvam cenários simulados, transformando o ambiente de ensino em aula prática e aplicada.

O uso de simuladores possibilita a vivência de situações possíveis e impossíveis na prática, mitigando assim grande parte dos riscos. A manutenção em SEP é uma área com muitos riscos físicos, inclusive fatais, tornando essa pesquisa bastante relevante, uma vez que o tratamento de óleo passa a ser executado em uma plataforma operacional similar as atividades a serem executadas por profissionais ou futuros profissionais de operação em termo-vácuo terão que lidar, sem, contudo, a exposição aos riscos reais das atividades.

A utilização de simuladores em parceria com o conteúdo ministrado em sala de aula pode maximizar a fixação de conhecimento e compreensão por parte dos alunos, tornando a aula mais proveitosa (Silva. et all, 2016).

Logo, a capacitação adequada dos futuros profissionais para atuarem na operação de equipamentos termo-vácuo e/ou supervisão de tal tarefa, é de suma importância para o bom funcionamento do SEP em questão, além da diminuição de riscos inerentes às tarefas.

Visando preencher lacunas existentes na capacitação de profissionais que já atuam e futuros profissionais do Sistema Elétrico de Potências, como no caso dos alunos dos cursos do

setor de energia, em relação a operação de equipamentos de tratamento de óleo mineral isolante, foi desenvolvida a aplicação descrita no decorrer deste trabalho.

1.2 Objetivo Geral

O Objetivo deste trabalho é desenvolver uma plataforma operacional, parte em 3D e parte em 2D, para o auxílio ao ensino de tratamento de óleo por termo-vácuo, simulando procedimentos básicos realizados durante o tratamento de óleo mineral isolante em transformadores.

1.3 Objetivos Específicos e Contribuições

- Propiciar o entendimento dos processos de análise de óleo mineral isolante, suas propriedades Físico-Químicas e contaminantes.
- Proporcionar ambientação a uma tarefa prática de operação de máquinas de termo-vácuo;
- Criar, ampliar e desenvolver os conhecimentos dos procedimentos de operação em termo-vácuo.
- Proporcionar o estudo de alguns conceitos de tratamento de óleo mineral isolante através da plataforma.
- Aproximar a teoria à prática.
- Apresentar uma ferramenta de auxílio ao mestre em sala de aula na disciplina de Máquinas Elétricas.
- Motivar os discentes a aprenderem através da plataforma de forma prática.
- Garantir aos usuários a facilidade para aprender novos conceitos.

1.4 Estrutura da Dissertação

Esta dissertação está dividida em seis capítulos que estão organizados da seguinte forma:

- **Capítulo 2 – Referencial Bibliográfico:** Capítulo onde será apresentado Referencial Bibliográfico sobre a educação e treinamento através de simuladores e trabalhos relacionados.
- **Capítulo 3 – Metodologias e Ferramentas:** Serão mostrados os procedimentos adotados no desenvolvimento da plataforma operacional, assim como as ferramentas utilizadas.
- **Capítulo 4 – Projeto e Implementação:** Apresentação do projeto e descrição do desenvolvimento da plataforma, assim como a metodologia utilizada para verificação da aprendizagem com o uso da plataforma.
- **Capítulo 5 – Resultados:** São mostrados os resultados da utilização da plataforma em sala de aula e os resultados aferidos.
- **Capítulo 6 – Conclusão:** Apresenta as considerações finais, trabalhos futuros, e publicações obtidas com este trabalho.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Métodos intelectuais abrangidos no processo de aprendizagem

Desde os primórdios da humanidade que o homem cria meios que servem de apoio ao processo de passagem de conhecimento, esses meios passaram a ser mais difundidos com a revolução industrial (LOPES, 2013).

Muitas pesquisas na área da educação e psicologia do aprendizado tem buscado a compreensão e melhor categorização dos mecanismos de aprendizagem. No ano de 1956, Benjamin Bloom publicou a Taxonomia dos Objetivos Educacionais. Sua divisão em seis níveis do raciocínio foi muito adotada e usada em diversas situações, sendo os níveis assim descritos: Conhecimento, Compreensão, Aplicação, Análises, sínteses e Avaliação (ANDERSON et al, 2001).

A Figura 3 apresenta uma estrutura resumida da chamada Taxonomia de Bloom. Diversos trabalhos acadêmicos surgiram a partir da divulgação da famosa Taxonomia no Domínio Cognitivo. Entretanto, com as novas tecnologias do sistema de ensino, foi preciso uma reformulação e releitura das hipóteses teóricas que sustentavam as pesquisas de Benjamin Bloom (FERRAZ, 2010).

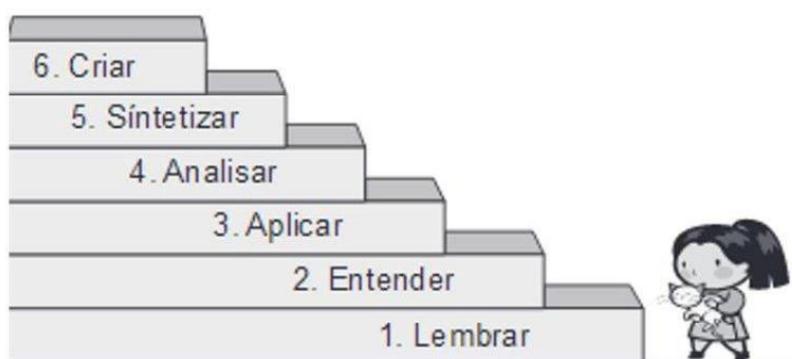


Figura 3 – Imagem ilustrativa da Taxonomia de Bloom.

Fonte: Ferraz (2010).

A nova armação apresentada na Taxonomia de Bloom “revisada”, na dimensão conhecimento e de processos cognitivos passa a ser mais bem delimitada, originando um novo modelo de utilização da referida Taxinomia (ANDERSON et al, 2001).

Ferraz (2010), mostra que a falta de estudos e planejamento pedagógico eficaz, de modo que o conteúdo e as estratégias pedagógicas eficientes sejam limitados, pode elevar até mesmo os níveis de ansiedade por parte do docente, em função da percepção que os seus alunos não estão desenvolvendo-se adequadamente.

Castro (2008), destaca a importância de o docente ensinar o conteúdo e preparar os discentes para serem cidadãos atuantes na sociedade. Em relação a ensinamento dos conteúdos, a utilização de tecnologias da informação é cada dia mais relevante.

É bastante citada em diversas pesquisas que a utilização do computador e tecnologias apresenta um ganho ao processo de ensino-aprendizagem, não apenas por possibilitar a comunicação e as inovadoras formas de transferência de conhecimentos, mas similarmente pela grande carga motivadora que traz em uma sociedade embebida nas tecnologias (GÂNDARA, 2013).

Já Machado (2011), mostra que com o avanço das tecnologias e equipamentos e periféricos permitiu-se a colocação de novos aspectos nas aplicações para computadores e o crescimento da Realidade Virtual (RV) como na área da computação passa a abranger três conceitos: imersão, interação e envolvimento. A utilização de RV tem a capacidade de dar respostas ao usuário em tempo real em ambiente com três dimensões (3D).

Surge então as técnicas de simulação com o intuito de proporcionar uma melhor visão do problema por parte do estudante, podendo além disso impelir o professor a demonstrar problemáticas mais fidedignas as da realidade (RODRIGUES, 2008).

2.2 Uso de simuladores no processo da aprendizagem

Segundo Volz (2016), uma nova geração de educandos, inseridos nas tecnologias atuais, vem aparecendo a cada dia. Esses novos discentes estão se inserindo nas instituições de ensino e nas empresas, tendo um foco diferenciado, um modo de pensar e um estilo de aprender diferente se comparados com as gerações passadas. Essa geração de discentes e colaboradores conseguem aprender de forma satisfatória em ambos os mundos – real ou virtual.

Para Guillermo; Endres; Lima (2013), a utilização de RV (realidade virtual) no processo ensino-aprendizagem tem se tornado cada vez mais real e imprescindível em atividades de ensino. Essa tática tem se firmado entre os educadores por oportunizar um local onde os alunos podem testar vários eventos úteis ao seu progresso. Tais simuladores, podem ser utilizados em

ambientes formais de ensino e também como forma de fortalecimento de conhecimentos já adquiridos.

Valdez; Ferreira; Barbosa (2014), mostram que a RV é muito utilizada em muitas disciplinas investigativas e em aplicações práticas. As simulações podem ser feitas através de um ambiente 3D, permitindo a interação entre o usuário e o ambiente. Isso ocorre através de modelos renderizados por meios computacionais.

Araújo et al. (2014), descreve as seguintes características como importante no desenvolvimento de simuladores:

- Imersão: Que nada mais é que a sensação do usuário em vivenciar o que está acontecendo no ambiente virtual.
- Interação: Está atrelada à capacidade da máquina em identificar as entradas de informações do usuário e alterar em tempo real o ambiente virtual.
- Envolvimento: Está ligado ao quão motivada está uma pessoa para realização de uma determinada tarefa.
- Ambiente de prática seguro: Simulações e plataformas em tempo real são bons métodos de capacitação porque eles são intrinsecamente protegidos, uma vez que o usuário pratica habilidades dentro de um ambiente virtual, sem nenhum risco de lesões corporais, refazendo-a múltiplas vezes em segurança.

Heckler; Saraiva; Oliveira (2007), informam que como as tecnologias da informação são usadas cada vez mais cedo pelas gerações atuais, deve-se tentar explorar essa familiaridade que a maioria de nossos discentes tem com as máquinas, com o intuito de promover o desenvolvimento cognitivo dos tais. Criando assim aplicações para tal finalidade.

De acordo com Martins (2014), o desenvolvimento e a criação de aplicações de RV no processo educativo se divide estrategicamente nas seguintes fases:

- Avaliação da infraestrutura educacional e ferramentas computacionais: tem como objetivo desenvolver o planejamento do projeto. Ela necessita de foco em três pontos básicos, que precisam ser vislumbrados de forma paralela. O primeiro faz menção aos recursos físicos disponíveis, por exemplo, salas de aula, computadores pessoais, dispositivos de interação e, etc. O segundo demonstra o planejamento didático. Nele deve

conter o parecer sobre qual assunto será discutido e como será desenvolvido em aula. Essa etapa precisa de um quadro interdisciplinar que cuidará dos diversos aspectos do conhecimento. Por fim cruza-se os dois pontos anteriores, ou seja, analisa-se a orientação pedagógica de acordo com os recursos computacionais a disposição, e propõem-se uma solução;

- Desenvolvimento da proposta Pedagógica e Tecnológica: no decorrer dessa fase será executado todo o planejamento anterior. Logo, os pontos mencionados anteriormente tem que ser levados em consideração, ou seja, deve-se fazer as mudanças necessárias nos recursos computacionais, o planejamento pedagógico deve ser seguido e o aplicativo deve ser criado;
- Aplicação da ferramenta em sala de aula: nessa etapa é aplicado o *software* em sala de aula (laboratório). É essencial que o docente use a ferramenta de RV em conformidade com o planejado, bem como faça a aplicação do procedimento de avaliação do uso. Só assim, será possível examinar os benefícios ou não, realizando os aprimoramentos necessários;
- Verificação: essa etapa tem como finalidade verificar o uso da aplicação. Tem como pilar inicial as informações adquiridas na fase anterior com todos os envolvidos no processo. O fruto dessa verificação tem que servir como um norteador de ajustes que serão implementados nas próximas vezes que a aplicação for empregada. Os resultados podem mostrar modificações que envolvam infraestrutura, processo pedagógico ou ferramenta desenvolvida.

Segundo sugere Rodrigues (2008), a utilização simuladores como auxiliador do processo de aprendizado tem se mostrado bastante produtivo. Aprender apenas por meio dos métodos inertes além de ser desanimador para o discente, pode levá-lo a criar conceitos errôneos sobre o conteúdo, já que na maioria das vezes o educador não consegue corrigir todos os exercícios em tempo oportuno.

Por fim, Khalil (2012) diz que uso de aplicações computacionais de RV é hoje uma realidade na prática pedagógica, especialmente nas áreas de exatas. A utilização das mesmas, oportuniza uma mecânica de aprendizagem eficaz para propiciar um aprendizado mais abrangente, motivando o aluno na construção do saber. Por isso a observação das boas práticas

na implantação dessas aplicações é importante no processo de construção do conhecimento nos dias atuais.

2.3 Métodos de Desenvolvimento e Testes de Simuladores

Muitos simuladores são criados atualmente com o intuito de aproximar práticas educacionais dinâmicas e atuais para melhorar as atividades de ensino e o processo de aprendizagem. Vários benefícios podem ser apontados com esse novo tipo de abordagem. Problemas técnicos e pedagógicos existem, mas com o avanço dos estudos nessa área, muitos dos resultados alçados atualmente são realmente animadores (SAVI, 2008).

Segundo Amate (2007), os simuladores têm como características fazer o usuário sentir as mesmas sensações que sentiria no ambiente real, além de trazer representação de um ambiente hostil ou de risco, possibilitando o acesso de aprendizes a experiências essenciais para sua segurança.

No panorama da educação por simulação, os recursos mútuos e os métodos de colaboração de treinamento coabitam com a realidade formal de avaliação, que dão maior importância a mera reprodução de instruções. Isso acontece primeiramente pelo simples fato de que o uso de novos recursos tecnológicos não é garantia de inovação no processo de construção do saber (CALDEIRA, 2004).

Vilas (2012) descreve o grupo de características a serem consideradas na análise e criação de um simulador como sendo:

- **Papel do usuário** – Deve-se definir os níveis de liberdade e controle do ambiente que o usuário terá.
- **Metas e objetivos** – Define-se aqui o conjunto de habilidade a serem atingidas no decorrer da simulação. Essa é a parte pedagógica, definindo níveis crescente de habilidades de modo capaz de proporcionar um ganho de competências.
- **Problemas** – Deve ocorrer a adequação progressiva dos desafios da simulação às competências do usuário, que deve ser crescente a medida que ele passa de fases, evitando que o mesmo fique entediado.
- **Interação dos usuários** – A problemática do simulador deve exigir o emprego de intelecto de modo a posicionar ao usuário um nível alto de interação: a aquisição de

conhecimento sobre algo que se opera ativamente, propiciando a percepção do contexto por mais de um ponto de vista, porém desenvolvendo habilidades de resolução de problemas relativos ao conteúdo em questão.

- **Resultados e opinião** – Nos simuladores o *feedback* tem função essencial, sendo ele o responsável por avaliar o desempenho do jogo, trazendo assim um norte para as melhorias. A opinião dos usuários é também imprescindível para avaliar o quão satisfeito ele está, sendo também uma ferramenta de análise de qualidade do jogo.

Savi (2011), em sua tese, apresenta um modelo de avaliação de simuladores educativos, que busca retirar do discente os níveis de motivação propiciado pelo simulador, experiências com a interação e resultados na aquisição de conhecimento. O modelo tem como finalidade a contribuição na melhoria da qualidade dos simuladores educacionais.

O modelo de avaliação está fundamentado nas teorias de design de instruções, como a taxonomia de Bloom, modelo de Kirkpatrick, modelo ARCS (Attention, Relevance, Confidence, Satisfaction), e na junção de diversos estudos recentes na área da prática com usuário de jogos sérios e simuladores. A partir dessas teorias é que foi criado um modelo para mensurar a eficácia de jogos sérios ou simulador, sendo esses modelos dividido em três subcomponentes: motivação, experiência do usuário e aprendizagem (SAVI, 2011).

A Figura 4 detalha o modelo de Savi (2011), sendo os círculos os aspectos teóricos e os retângulos representam as variáveis dos modelos utilizados na nova concepção.

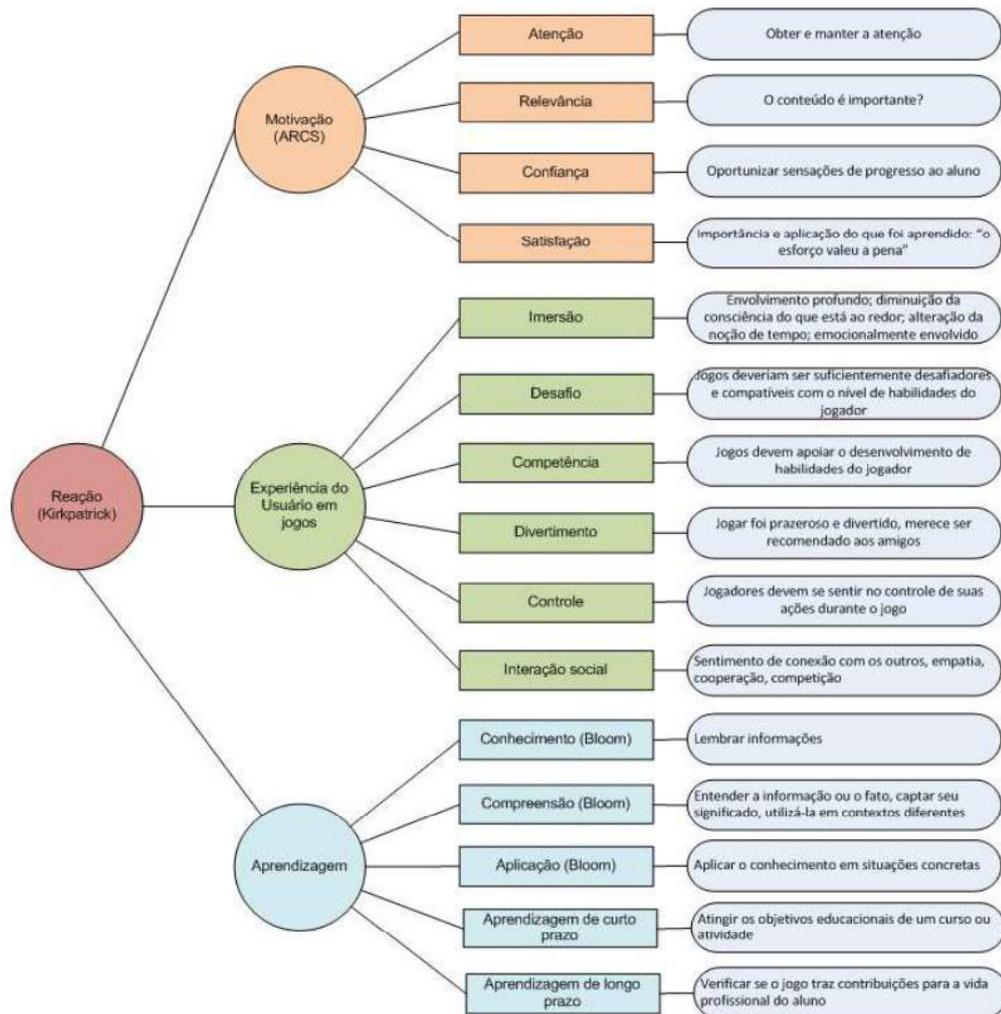


Figura 4 – Modelo de avaliação

Fonte: Savi (2011).

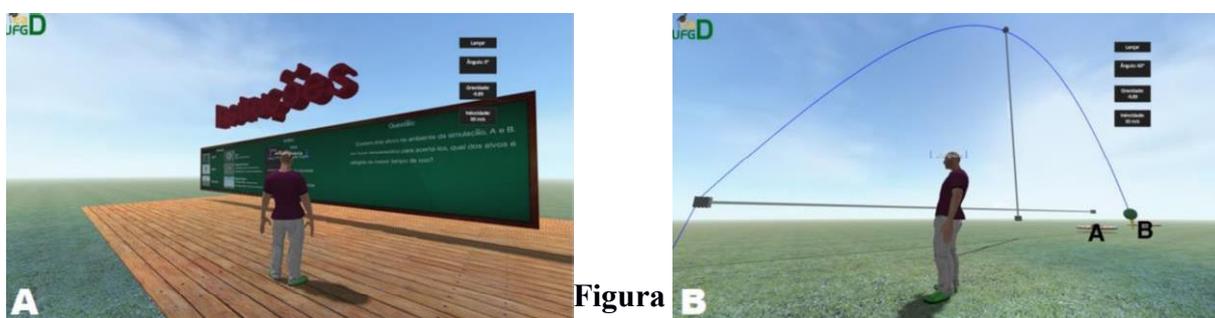
Como pode-se perceber, existem uma diversidade de observações a serem feitas quando se deseja criar/desenvolver um jogo ou simulador, isso porque deve-se considerar a diversidade existente no contexto do mesmo.

2.4 Trabalhos correlatos

Nesse tópico são mostrados trabalhos acadêmicos que fazem referência a simuladores em áreas relativas ao projeto desenvolvido neste trabalho. Os referidos trabalhos buscam através da RV proporcionar aos usuários a compreensão e a prática de conceitos de conteúdos relevantes.

2.4.1 Simulador computacional para o Ensino de Física.

Ferreira et al. (2016) apresenta uma plataforma em ambiente virtual 3D, conforme pode ser observado na Figura 5, para o auxílio na formação de docentes de Física. Baseado em simulação 3D, de dois em dois os discentes de Licenciatura em Física de uma universidade pública federal fizeram trabalhos em parceria na resolução de um problema que envolve lançamento oblíquo. Resultados preliminares mostraram que, para a maioria dos discentes a ferramenta propiciou um melhor contato com o colega, colaborando assim no processo de aprendizado.



5. A

Figura

Figura 5. B

Figura 5. A - Quadro com a questão a ser respondida e B – Visualização do trajeto do objeto durante o lançamento.

Fonte: Ferreira et al. (2016).

O simulador apresenta um problema a ser resolvido, existindo dois objetos no ambiente, os alunos deveriam informar ao final qual dos objetos foi atingido em menor tempo. A interação entre as duplas aconteceu por meio de ferramenta chat, onde um poderia tirar dúvidas e contribuir com o outro.

O experimento mostrou-se adequado para a finalidade de ensino do conceito de lançamento oblíquos, tendo uma boa aceitação pelos discentes (FERREIRA et al., 2016).

2.4.2 Treinamento em Subestações Através de Realidade Virtual.

Silva et al. (2012), criou um ambiente de treinamento usando técnicas de RV para capacitação de alunos de Engenharia Elétrica na manipulação de objetos em uma subestação

(3D) e painéis de comando (2D), sendo essa ferramenta promissora, principalmente por mitigar riscos oriundos de um treinamento no mundo físico. A Figura 6 mostra o aspecto 3D do trabalho.

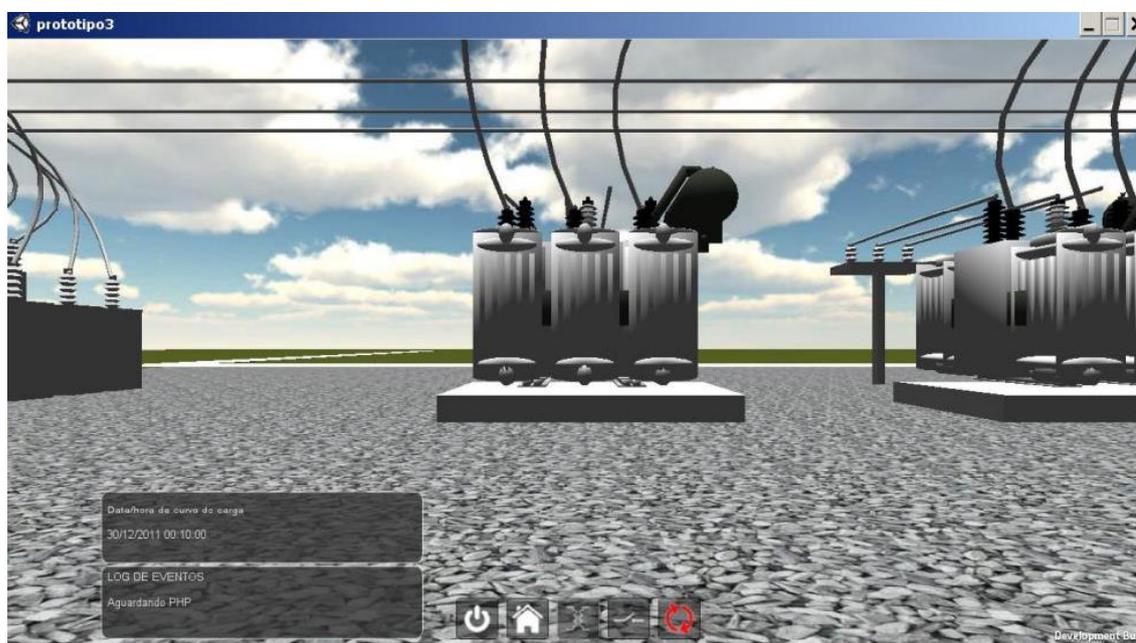


Figura 6. Ambiente 3D, simulando ambiente de uma subestação.

Fonte: Silva et al. (2012).

O usuário navega pelo ambiente executando tarefas pré-determinadas, essas tarefas são mapeadas e podem posteriormente ser avaliadas pelo professor da disciplina, contendo assim um mecanismo de orientação/correção de possíveis erros no manuseio de determinado equipamento ou sistema.

Questionários aplicados aos usuários, alunos, professores e especialista, mostraram que a metodologia foi bem aceita e atingiu os objetivos do trabalho, trazendo ganhos qualitativos ao processo de aprendizagem desse ramo importante da engenharia elétrica (SILVA et al. 2012).

2.4.3 Simulador de Uma Subestação Para Ensino de Princípios Básicos de Eletricidade.

Da Silva (2017), traz uma proposta similar à de Silva (2012), porém a grande diferença está no público-alvo, no nível de aplicabilidade e na integração da plataforma com uma parte

de *hardware*, sendo esse último voltado para discentes de cursos técnicos dos chamados médio integrado, criou-se então uma plataforma para estudos de conceitos básicos de eletricidade, conservação de energia e questões relacionadas as seguranças.

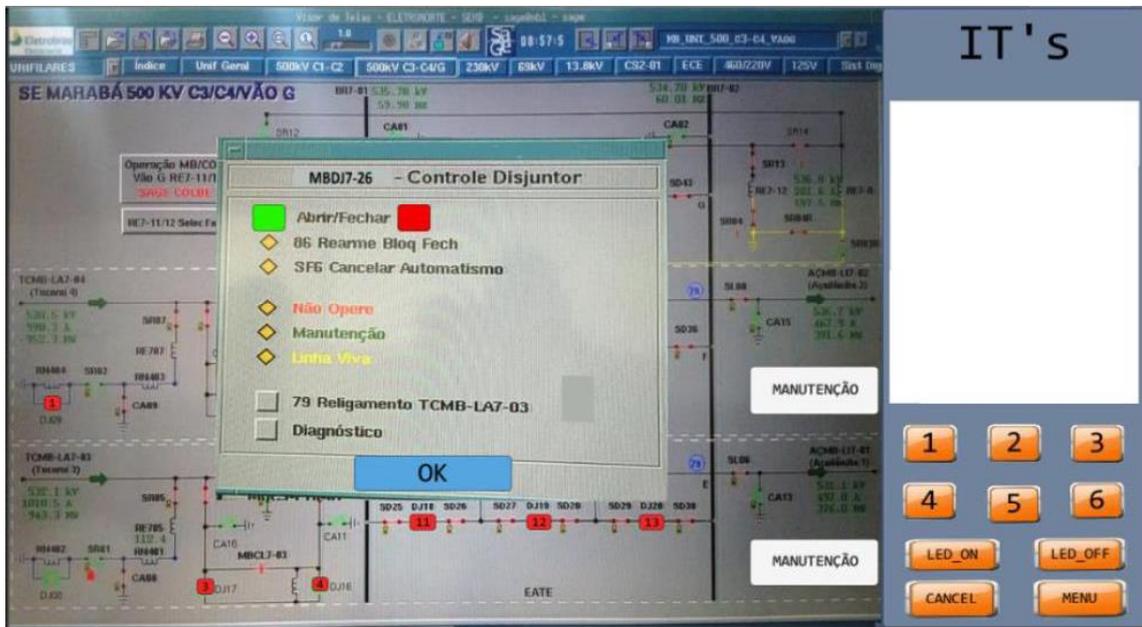


Figura 7. Simulador de manobras de disjuntores de uma subestação.

Fonte: Da Silva (2017).

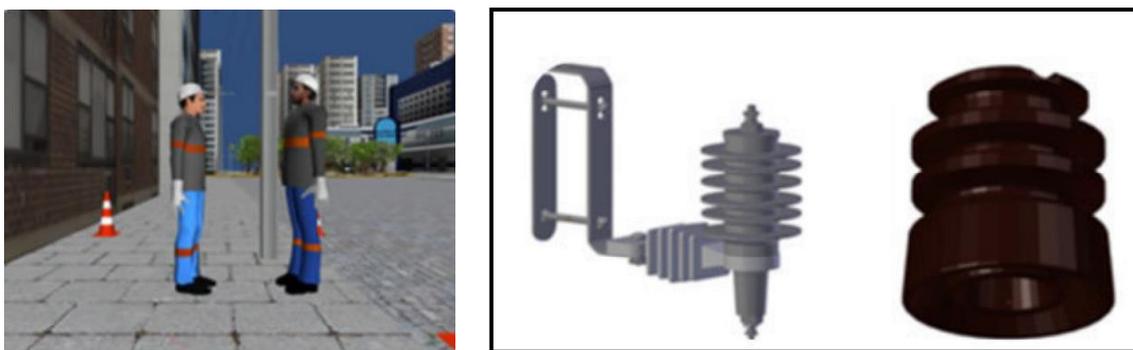
A Figura 7 apresenta a parte do trabalho que mostra manobras em disjuntores de uma subestação da empresa Eletronorte SA, na cidade de Marabá-PA, sendo que os alunos foram instigados a realizar manobras nos mesmos, assim a aplicação norteia as atividades, trazendo informações básicas sobre os componentes de um Sistema Elétrico de Potência (SEP).

Da Silva (2017), conclui seu trabalho afirmando que os conceitos estudados em aula expositiva puderam ser vistos na prática, graças a utilização da ferramenta, oferecendo aos alunos a chance de fazer operações específicas, fato impossível de ser executado por meio de visitas a subestação, em laboratórios ou em aulas expositivas.

2.4.4 Modelagem e Animação de Objetos de um Sistema de Distribuição de Energia.

O trabalho de Araújo (2014), dá ênfase a criação de um simulador para capacitação em engenharia elétrica.

O trabalho objetivou a criação um ambiente em realidade virtual para *desktop* que dê suporte ao processo de aprendizagem nas disciplinas de distribuição de energia em cursos de Engenharia Elétrica. O ambiente 3D em RV é composto por: cenário, avatares e armações compostas por equipamentos explorados nas disciplinas e no treinamento. A Figura 8 mostra a modelagem dos avatares e componentes do *software*.



(A) Avatares

(B) Para-raios poliméricos e isolador de pino

Figura 8. Avatares e modelos da plataforma.

Fonte: Araújo (2014).

Ao final das atividades da pesquisa, constatou-se pelo grau de motivação dos envolvidos, que utilização de realidade virtual em processos com elevado grau de risco é de grande valia no treinamento de operadores. Além disso, a técnica pode ser usada para padronizar procedimentos de manutenção das distribuidoras de energia (ARAÚJO, 2014).

2.4.5 Simulador para treinamento de manutenção em isoladores elétricos.

Esse trabalho apresenta um simulador para treinamento de pessoal que exercerá atividades de manutenção de redes de distribuição, principalmente no tocante aos isoladores de alta-tensão.

O trabalho de Castro et al. (2014) propõe um melhor treinamento de profissionais de distribuidoras de energia, tendo em vista os riscos das atividades, utilizando seu simulador que é baseado em RV.

Esse simulador faz o profissional em treinamento ter a nítida sensação de trocar um isolador de alta-tensão com a rede de energia energizada, procedimento que é muito comum em concessionárias de distribuição de energia, principalmente em níveis de tensão menos elevados, como 13,8kV.

Antes de iniciar os procedimentos de troca de isoladores, o usuário é direcionado a uma sala de ferramentas, onde escolhe os materiais e ferramentas necessárias para os procedimentos desejados.

A Figura 9 mostra o usuário realizando as atividades de troca de isolador com a utilização de luvas de alta-tensão, esse procedimento é considerado muito arriscado, pela distância que o operador tem das partes energizadas da linha.

Figura 9.



Simulação de troca de isoladores.

Fonte: Castro et al. (2014).

A movimentação pelo cenário é feita a partir do movimento das mãos, para movimentar o “operário”, e com isso a câmera, basta mover uma mão ou as duas na direção desejada (CASTRO et al., 2014).

Na Figura 10 podemos ver o modelo da arquitetura inicial do projeto, mostrando quatro partes principais; o cenário, a avaliação, o gerenciador de todos os objetos interativos e o banco de dados presentes no cenário além da interface com o usuário (CASTRO et al., 2014).

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

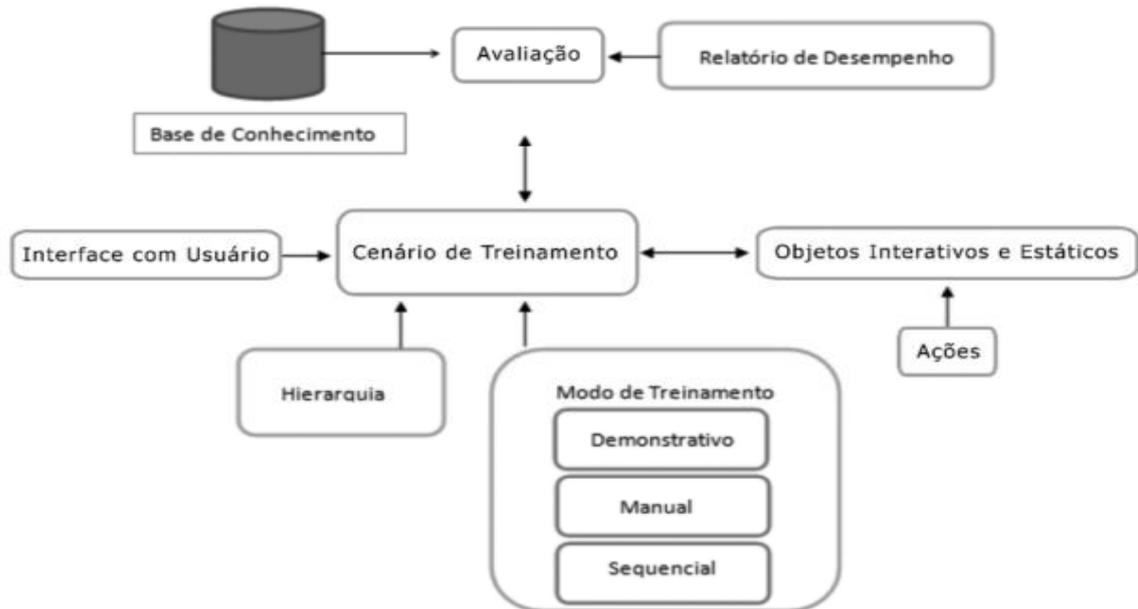


Figura 10. Arquitetura do simulador.

Fonte: Castro et al. (2014).

Castro et al. (2014) conclui reafirmando que seu simulador ainda encontra-se em estágio final de desenvolvimento, e que, ao final do desenvolvimento serão realizados testes com profissionais de empresas de energia para comprovação da eficácia da ferramenta, verificando assim as vantagens e desvantagens da utilização da mesma.

3. METODOLOGIAS E FERRAMENTAS

O simulador operacional desenvolvido nesse trabalho é uma plataforma projetada para servir como base de apoio no processo de aprendizagem dos procedimentos básicos de operação de máquinas termo-vácuo no tratamento de óleo mineral isolante de transformadores.

Neste simulador o aluno ou profissional em treinamento tem acesso aos procedimentos básicos de operação de equipamentos de termo-vácuo, sendo utilizado para tal, ambiente 3D e telas 2D, onde os usuários tem acesso as diversas informações e deve manipular objetos afim de executar virtualmente o tratamento de óleo de um transformador.

Existem algumas informações e processos importantes de serem compreendidos para poder-se compreender melhor o processo simulado na plataforma, como se segue:

- Ferramentas computacionais utilizadas na criação da plataforma – são as aplicações utilizadas em todo o processo de criação do simulador, desde ferramentas de modelagem até o motor de jogos usado para criação da plataforma em si;
- Transformadores e suas finalidades – entendimento da função dos transformadores no sistema elétrico de potência;
- O óleo mineral isolante e seu papel – compreensão da importância do óleo mineral isolante nos sistemas elétricos de potência;
- Procedimento de termo-vácuo – a importância do tratamento termo-vácuo na manutenção de equipamentos de alta-tensão;
- Normas e procedimentos adotados – normas técnicas, manuais e padrões adotados no trabalho.

Todos esses pontos são tratados de forma mais detalhada nos tópicos que se seguem, onde poderão ser verificados para que servem e a correlação entre cada ponto citado anteriormente.

3.1 Ferramentas computacionais utilizadas na criação da plataforma

Diversas ferramentas foram utilizadas no desenvolvimento da plataforma de treinamento operacional para treinamento em operação de máquinas de tratamento por termo-vácuo, sendo elas detalhas a seguir.

3.1.1 Unity 3D

O aplicativo Unity 3D se apresenta como uma *Game Engine*, ou motor de jogo, entretanto na realidade é muito mais do que isso. O *software* possui um estilo de desenvolvimento e organização dos projetos próprio, além de ser bastante simples.

O Unity foca claramente no desenvolvimento, muito embora possa ser usado para diversos tipos de projeto com muito facilidade (MACHADO, 2016), a tela inicial do Unity 3D pode ser vista de forma ilustrativa na Figura 11.

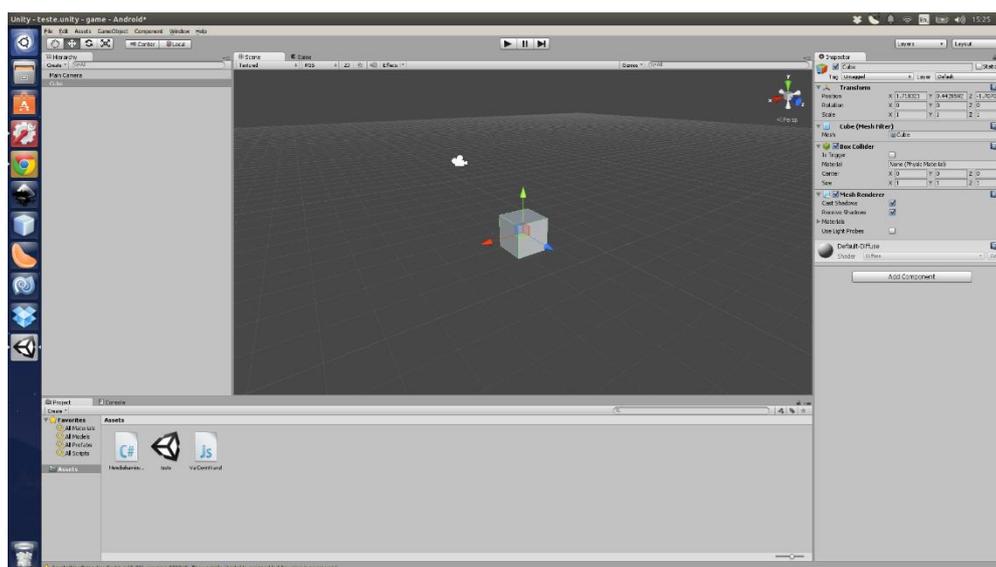


Figura 11- Tela inicial do Unity

Fonte: Unity Community (2009)

Esse motor de jogos tem uma interface bastante amigável, tendo como um dos objetivos facilitar a criação de jogos ou simuladores dos mais variados tipos (DA SILVA, 2017). A *game engine* permite rapidez no processo de desenvolvimento de um jogo, uma vez que possui diversas funções básicas e também várias avançadas para a criação completa de jogos (TEIXEIRA, 2017).

Essas características foram cruciais na escolha dessa plataforma de desenvolvimento para a criação do simulador proposto neste trabalho.

O software Unity é um software proprietário, porém por ser superior em recursos, se comparado com seus concorrentes, e também por possuir licenças livre para estudos e pesquisas acadêmicas, foi escolhido como a melhor opção para o desenvolvimento da plataforma operacional desse trabalho.

3.1.2 SketchUp

O SketchUp é uma ferramenta do tipo CAD (Desenho Auxiliado por Computador) de fácil uso, utilizado na modelagem e em projetos mecânicos, artísticos e arquitetônicos em geral. Ele possibilita a criação de esboços e projetos com alta precisão e de forma amigável (ROSA, 2016).

O aplicativo SketchUp foi utilizado na modelagem de alguns objetos contidos no ambiente 3D da subestação simulada na plataforma operacional criada nesse projeto, sendo os principais deles, objetos em pequena escala no contexto da aplicação, a saber: mangueiras, registros, botões, etc..

Esse *software* foi escolhido por seu bom desempenho na modelagem de objetos 3D, da facilidade na modelagem e por ser um software livre, ou seja, sem custos para aquisição de licença. Figura12 mostramos a tela principal de modelagem do SketchUp e suas ferramentas contidas na barra de ferramentas que está na coluna vertical a esquerda da figura.:

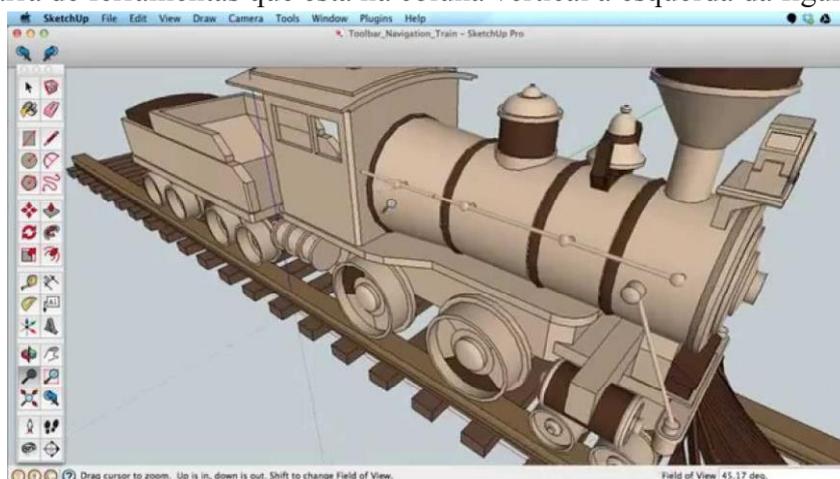


Figura 12 – Figura demonstrativa da tela inicial do SketchUp.

Fonte: Rosa, 2016

3.1.3 – 3D MAX

O *software* 3D MAX é também de modelagem 3D para criação de imagens, animações, design de jogos, etc (MARTINS, 2011). O *software* 3D MAX assim como o motor de jogos Unity é proprietário, possuindo, porém versão livres para estudantes e pesquisadores.

Possuindo suporte a efeitos físicos, é possível inserir gravidade, colisão, massa, etc., sendo possível a inserção de objetos prontos ou a modelagem de objetos desde o começo. A tela de design e criação do 3D MAX é apresentada na Figura 13, onde podemos ver a criação de um objeto e seus quatro lados simultaneamente, sendo isso uma facilidade ao desenvolvedor.



Figura 13 – Figura demonstrativa da tela de desenvolvimento do 3D MAX.

Fonte: Help Center (2017).

O 3D MAX foi o *software* escolhido para a modelagem da máquina termo-vácuo contida na plataforma de treinamento operacional, sendo exportado posteriormente para a Unity, como pode ser observado na Figura 14, onde foram inseridas as propriedades físicas e animações necessárias.

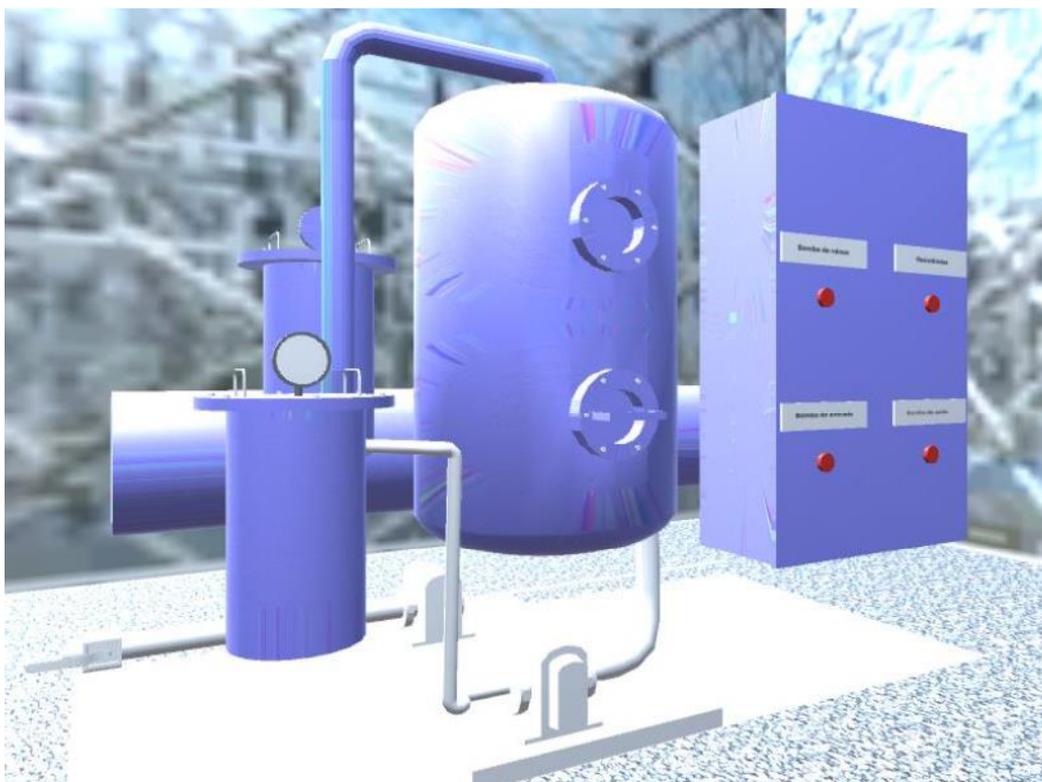


Figura 14 – Equipamento modelado utilizando o 3D MAX.

Fonte: do autor.

3.1.4 – MonoDevelop

O MonoDevelop é uma aplicação de desenvolvimento integrado, fornecido juntamente com Unity. Sendo uma aplicação de desenvolvimento que combina operação familiar ao de um editor de texto com meios suplementares para a compilação, além de outras atividades de gestão de projetos (UNITY DOCUMENTATION, 2017).

A Figura 15 mostra o MonoDevelop que como editor de texto é muito intuitivo, mas a parte principal dessa ferramenta é a de compilador de códigos na linguagem C#, linguagem essa que foi utilizada na criação dos *scripts* que fazem todas as tarefas da nossa plataforma de treinamento.

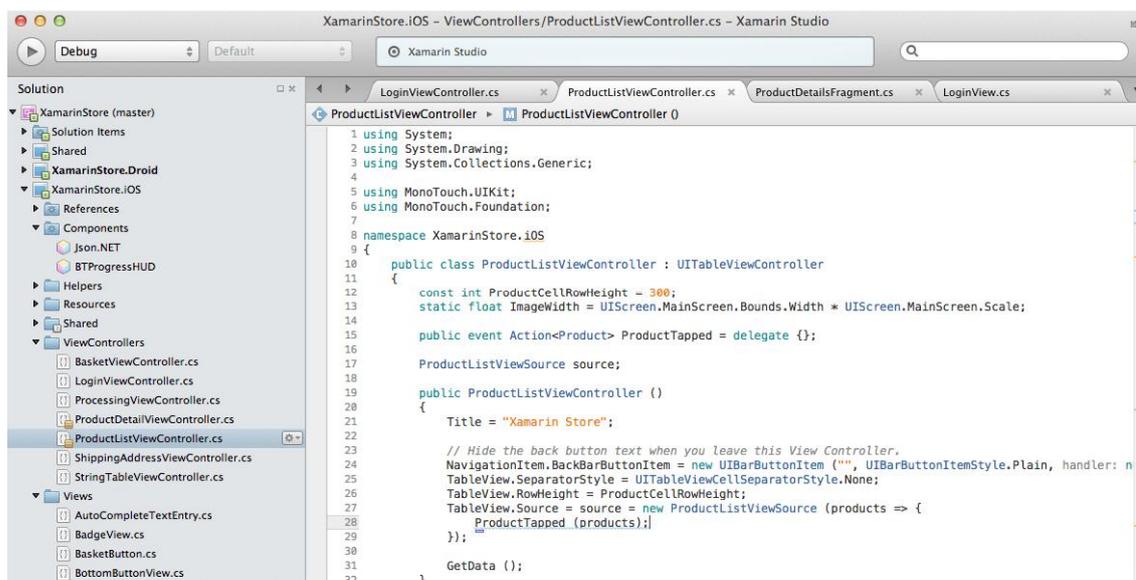


Figura 15 – Compilador de linguagem C# MonoDevelop.

Fonte: MONODEVELOP.COM, 2017.

O MonoDevelop é instalado juntamente o Unity, mas deve-se fazer a verificação se ele está configurado para ser o editor de script externo padrão do Unity, fazendo isso o Unity irá abrir o MonoDevelop todas as vezes que se for editar um *script* (Unity Documentation, 2017). Pela facilidade e comodidade de vir junto com o Unity, e pelo bom desempenho na depuração dos *scripts* essa ferramenta foi escolhida para ser utilizada em nosso projeto.

3.2 Transformadores e suas finalidades

Os transformadores são basicamente formados por fios enrolados em espiras ao redor de um núcleo ferromagnético. Normalmente um enrolamento, dito primário, ao receber uma corrente de excitação, produz um fluxo magnético que percorre o núcleo feito de material ferromagnético, esse fluxo ao ser concatenado por outro enrolamento, dito secundário, gera uma força eletromotriz que será responsável por produzir uma corrente elétrica no secundário (WIRTH, 2013).

A Figura 16 mostra as principais partes que compõem um transformador de distribuição que opera em alta-tensão. Pela Figura 16 podemos verificar que basicamente o transformador

não é composto por muitas partes, podendo ser dividido em parte ativa, núcleo, terminais, bobinas e tanque, que é onde é colocado o óleo mineral isolante.

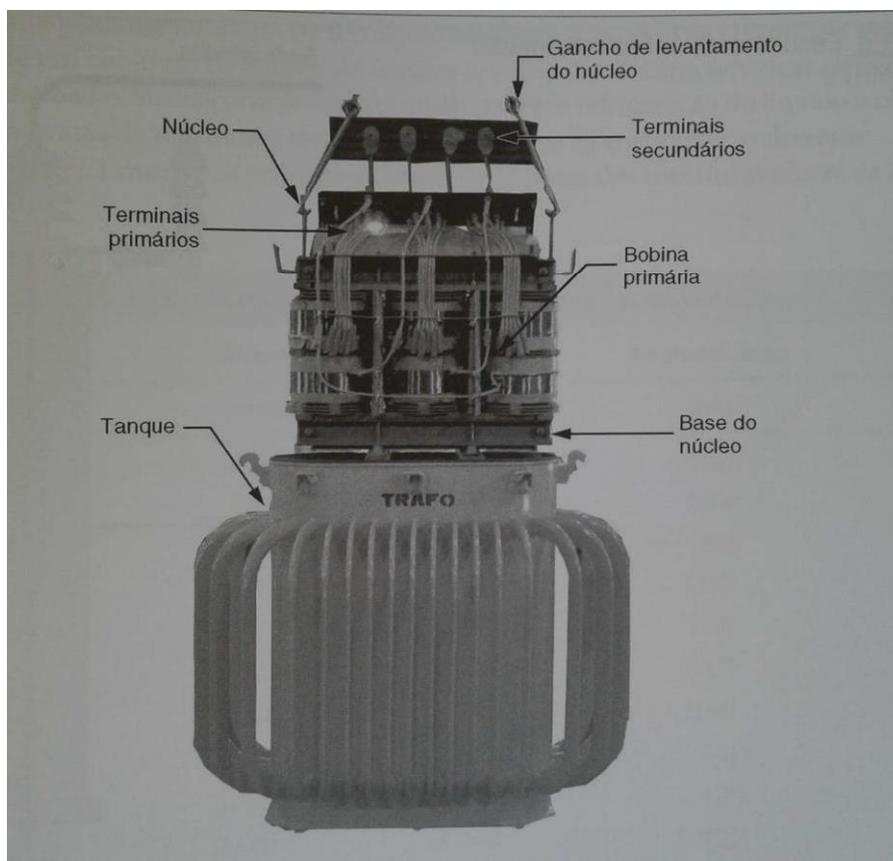


Figura 16 – Transformador de distribuição e suas partes.

Fonte: Mamede Filho, 2013.

Apesar de seu funcionamento aparentemente simples, são os componentes do SEP que possibilitam que as fontes geradoras estejam localizadas fisicamente distantes dos centros consumidores, uma vez que, caso não fosse possível a elevação dos níveis de tensão após a geração, as perdas na transmissão ou os custos de implantação das linhas tornaria inviável a geração deslocada do consumo. Logo podemos ter a noção da importância desse componente para o SEP e para a sociedade moderna que é tão dependente de energia elétrica.

A vida útil de um transformador é dependente por sua vez da forma de operação e de como são administradas suas manutenções. Um transformador que opere por um longo período em estado de sobreaquecimento terá sua vida útil bastante diminuída. É, portanto, essencial o acompanhamento da evolução da degradação da isolação do transformador, que se inicia

quando o transformador começa a operar. Nossos sentidos como: visão, audição e olfato, permitem-nos a verificação das condições exteriores do transformador (MILASCH, 1984).

Transformadores que operem em alta-tensão tem suas partes energizadas, ditas partes ativas, separadas das partes não energizadas com o auxílio do óleo mineral isolante, conforme será mostrado mais detalhadamente adiante. A Figura 17 mostra um exemplo de um transformador de força novo ainda não instalado em uma subestação de energia.

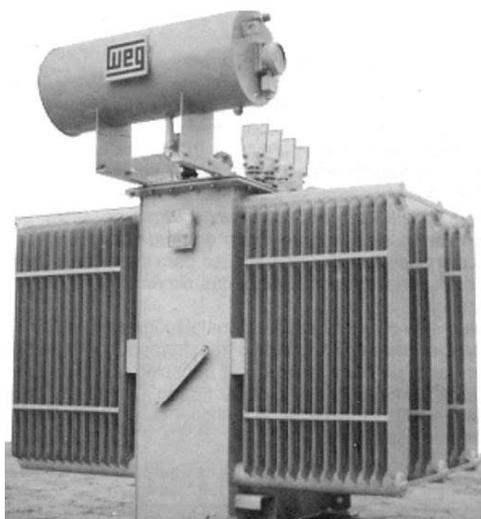


Figura 17 – Transformador de força novo.

Fonte: WEG EQUIPAMENTOS ELÉTRICO, 2010.

Importante salientar que, antes da qualquer manutenção ser executada em transformadores é bom lembrar que todos os trabalhadores que atuem em instalações elétricas, independente de qual seja, devem ser sempre orientados sobre os riscos envolvidos, além de serem inteirados sobre as normas de segurança em vigor, sendo fortemente recomendados a segui-las (WEG EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS, 2010).

3.3 O óleo mineral

O óleo mineral isolante usado nos equipamentos elétricos de alta-tensão é derivado do petróleo, sendo o responsável por compor a isolação e fazer o arrefecimento de tais equipamentos. Suas características são dependentes do tipo do petróleo que foi retirado e dos processos usados em sua extração e preparação (MILASCH, 1984).

Em geral os transformadores são transportados sem óleo ou com óleo rebaixado, nesses casos, o óleo para enchimento normalmente é transportado separadamente em tambores, conforme Figura 18.



Figura 18 – Óleo mineral isolante em tambores de 200 litros.

Fonte: do autor.

O manual de transformadores elétricos contido em WEG Equipamentos Elétricos (2010), recomenda que a montagem dos equipamentos seja feita o quanto antes, preferencialmente até 3 meses depois do recebimento no local onde o transformador será montado, o que reduz consideravelmente os riscos de contaminação do óleo e também da deterioração da isolação do transformador.

Para realizar o enchimento, deve ocorrer antes, a montagem dos acessórios do transformador, que também são transportados separadamente (radiadores, relés, tanque, etc.), o óleo é então tratado em tanque auxiliar externo ao transformador, garantindo assim que o óleo mineral isolante estará com suas características dielétricas em boas condições (MAMEDE, 2013).

Milasch 1984, explica que após a entrada em operação é necessário a realização de ensaios periódicos no óleo mineral isolante para se medir as condições de deterioração do mesmo e do equipamento o qual ele se encontra. Sendo possível com tais testes a constatação

de falhas em estágios iniciais, o que pode orientar quanto as medidas a serem tomadas do ponto de vista da manutenção.

Ainda segundo Milasch 1984, os seguintes parâmetros são importantes quanto as propriedades Físico-Químicas do óleo mineral isolante:

- Fator de potência – Testes que pode indicar a existência de misturas polares e apolares no óleo;
- Rigidez dielétrica – medida de aptidão do óleo em resistir a tensão elétrica sem falhas;
- Número de neutralização – indica quão deteriorado está o óleo mineral isolante da amostra testada;
- Tensão interfacial – pode indicar a presença de contaminantes no óleo;
- Umidade – mostra a quantidade de água, dissolvida e não dissolvida, contida no óleo, sendo essa a maior inimiga da isolação de um transformador;
- Densidade – a densidade é um teste que pode demonstrar o quantitativo de partículas misturadas no óleo;

3.3.1 Tipos de análises de óleo

O manual de transformadores do fabricante WEG, em WEG Equipamentos Elétricos (2010), recomenda a adoção dos seguintes ensaios e análises no óleo mineral isolante:

- Análise físico-químico – Rigidez dielétrica; Teor de água; Fator de potência; Índice de neutralização; Ponto de Fulgor · Densidade.
- Análise cromatográfica – análise dos gases contidos no óleo.
- Índice de PCB's – quantidade de contaminantes tóxicos contidos no óleo.

➤ Análise Físico-Químico

A Tabela 1, mostra os valores de referência para análises Físico-Químico de óleos minerais isolantes em equipamentos que já estejam em operação, salientamos ainda a importância desses tipos de análises para a detecção do estado atual de isolação do óleo mineral isolante.

Logicamente ao ser detectados alguma alteração nas análises Físico-Química, deve-se proceder com alguma manutenção que venha a restaurar as condições do óleo para dentro de valores aceitáveis.

Tabela 1 – Valores de referência para análises Físico-Química em óleo usado.

| Ensaio | Valores de referência | | Método de ensaio |
|------------------------|-----------------------|----------------|---|
| | Até 230kV | Acima de 230kV | |
| Rigidez Dielétrica | >60 kV | > 70 | D877 (NBR 6869) |
| Conteúdo de água (ppm) | < 25 | < 15 | Método Karl Fischer ASTM D1533 MB-818 |
| Acidez (mgKOH/g) óleo | < 0,3 | < 0,1 | ASTM D974 MB-101 ASTM D664 MB-494 |
| Tensão interfacial N/m | > 0,025 | > 0,025 | ASTM D971 NBR 6234 ASTM D2285 |
| Cor | < 3 | 3 - 4 | ASTM D1500 MB-351 |
| Fator de potência (%) | 0,5 | 0,5 - 1,5 | 20°C 25°C ASTM D 100 °C 924 90°C VDE 370 |

Fonte: WEG Equipamentos Elétricos, 2010.

➤ CROMATOGRAFIAS

Para Milasch (1984), atualmente o método mais adequado para a constatação de falhas nos equipamentos elétricos de potência e o acompanhamento do envelhecimento do óleo é a análise cromatográfica.

Analisar os resultados de cromatografias é um recurso importantíssimo para os técnicos e profissionais de engenharia tem, permitindo detecção de falhas em fase inicial e em progressão com grande precisão.

Antes de entrar em operação são retiradas amostras de óleo para realização de testes Físico-Químico e Cromatográficos, sendo que os resultados das análises cromatográficas

servirão como referência de comparação com futuras análises desse tipo, mostrando assim a evolução gasosa no óleo do equipamento (WEG Equipamentos Elétricos, 2010).

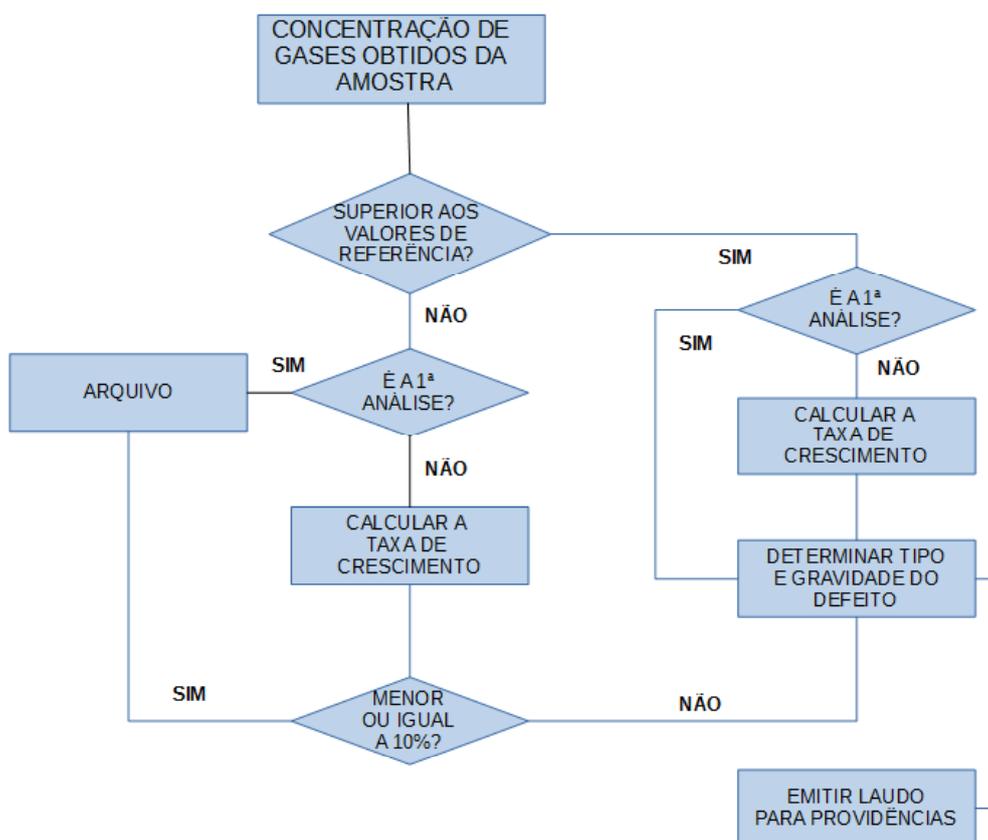


Figura 19 – Diagrama de blocos de decisões com base em resultados de análises cromatográficas.

Fonte: Milasch, 1984.

A Figura 19 mostra o diagrama de tomada de decisão a partir de cromatografias, no qual demonstra ainda a importância da amostra inicial como referência para tomada de decisões futuras.

Como pode-se notar pela análise do diagrama da Figura 19, uma taxa de crescimento de algum gás superior a 10% é o suficiente para indicar algum defeito no equipamento, e consequentemente indicar algum procedimento de manutenção a ser adotado.

➤ OS PCB's

Por último, é essencial a realização de análises para contaminantes, os chamados PCB's, Antonello et al. (2007), informa que até o início da década de 80 os óleos utilizados para a isolação de transformadores eram compostos organoclorados por nome PCB's ("PolyChlorinated Biphenyls"). Os PCBs eram produzidos por diversas companhias multinacionais com diferentes nomenclaturas, sendo vendido no Brasil com o nome de ascarel.

Por ser altamente tóxico oferecendo riscos ao meio ambiente e pessoal que tenha contato direto com eles, a utilização dos PCB's no Brasil foi proibido em 1981. Muito embora, durante a substituição, em alguns casos, aconteceram contaminações do óleo novo por ascarel devido à falta de cuidados técnicos (ANTONELLO et. al., 2007).

Segundo Milasch (1984), pessoas que possam realizar trabalhos tendo contato com líquidos que tenham PCB's devem tomar alguns cuidados e, entre eles, os principais são:

- Evitar o contato direto do óleo com a pele. Usar equipamentos de proteção adequados para isso.
- Usar máscara para o rosto.
- Evitar respirar vapores que tenha PCB.
- Evitar os vapores gerados por arco elétrico.

O PCB é um tóxico que acumula-se no organismo dos seres vivos durante a vida, e suas consequências são lentas, porém muito graves, sendo cancerígeno inclusive. Por não serem biodegradáveis, quando depositados no meio ambiente podem contaminar até o plancto, que é a parte de cadeia alimentar de peixes que por sua vez fazem parte da cadeia alimentar de seres humanos.

A Figura 20 mostra o processo de acumulação dessas substâncias nos organismos dos peixes, sendo esse processo análogo também ao processo de acumulação que ocorre nos demais animais.

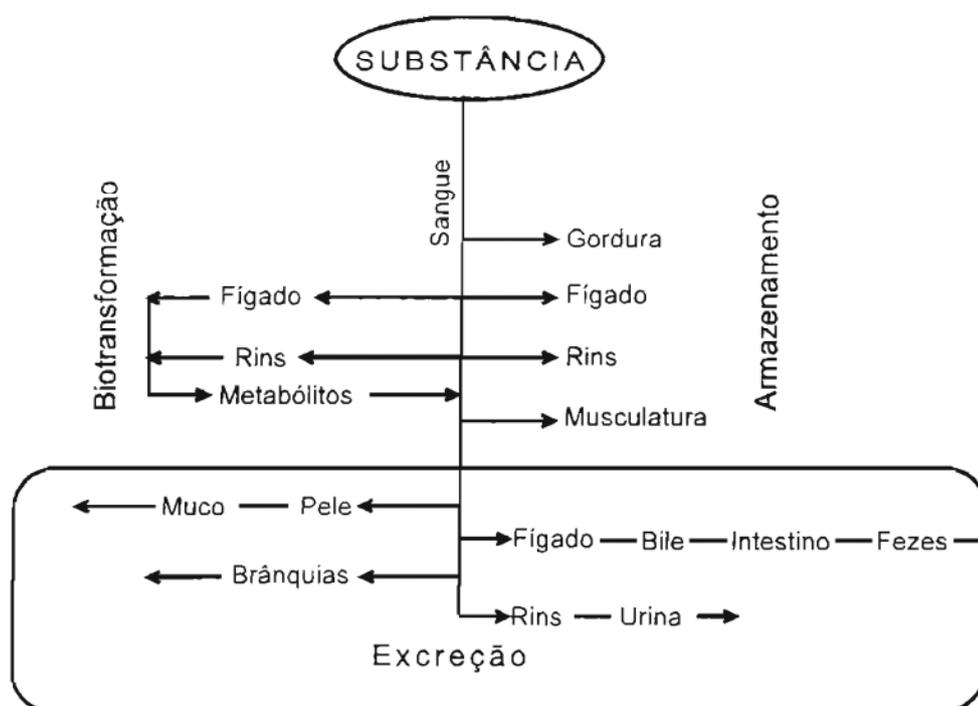


Figura 20 – Diagrama das rotas do transporte e destinos dos PCB's na corrente sanguínea de peixes.

Fonte: Instituto de Pesca/TECA/FUNDEPAG/SMA/BIRD, 1998.

Pelo diagrama da Figura 20, pode-se notar que parte das substâncias é descartada pelo organismo, mas outra parte fica armazenada, na gordura, no fígado, nos rins, musculatura, etc., sendo então repassadas aos seus predadores, entre eles os seres humanos.

Por essas razões é importante a verificação e análise das quantidades de PCB's em equipamentos elétricos, sendo essa verificação obrigatória sempre que houverem manutenções ou intervenções que possam contaminar o óleo mineral isolante com PCB's (MILASCH, 1984).

Segundo a norma NBR8371/94 da ABNT, são considerados sem PCB's os óleos de equipamentos que tenham menos de 3 µg/mL, não contaminados com PCB's os óleos com menos de 50 µg/mL, contaminados com ascarel os óleos com até 500 µg/mL, acima de 500 µg/mL os óleos são considerados como sendo PCB's. Sendo que todo equipamento que estiver com óleo do tipo PCB's ou contaminado com o mesmo, deve ter seu óleo trocada assim que forem necessárias manutenções no mesmo.

3.4 Procedimento de tratamento termo-vácuo

A condição do óleo mineral isolante é o principal critério para a tomada de decisão sobre qual o melhor método a ser usado no processo de manutenção de transformadores. A seguir serão descritos alguns dos métodos de tratamento de óleo mineral isolante, dando ênfase ao processo de tratamento por termo-vácuo por ser o objeto deste trabalho.

Durante sua vida útil, os transformadores sofrem aquecimento devido a perdas internas. Esse aquecimento faz com que o óleo isolante, no qual o equipamento está contido degrade gradativamente, nesse processo químico de degradação ocorre a liberação de moléculas de água, a qual é a principal responsável pela diminuição das propriedades dielétricas do óleo mineral isolante.

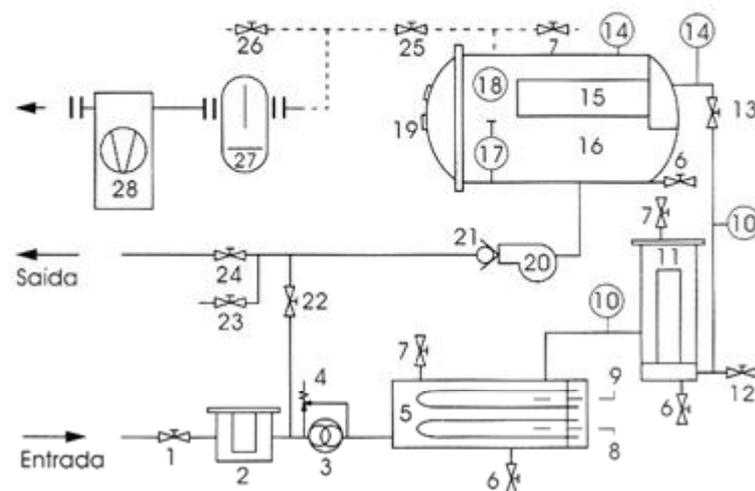
Segundo Raab et al. (1969, apud SILVA, 2006) há apenas três possíveis destinos ao óleo mineral isolante degradado: o descarte, a recuperação e o recondicionamento. O descarte nada mais é do que a destinação final de um óleo muito contaminado ou degradado, ou de um óleo com PCB's.

Grim (1962, apud SILVA, 2006) descreve o processo de recuperação do óleo como um processo que utilize produtos químicos e absorventes. Esse processo normalmente utiliza-se de um composto argilomineral por nome de terra *fuller*.

Já o processo de recondicionamento é utilizado em óleo menos contaminados, podendo alguns desses procedimentos serem feitos inclusive com o equipamento em operação, como é o caso neste trabalho.

Segundo Milsch (1984) os métodos de recondicionamento mais usuais são três: filtração, centrifugação e termo-vácuo ou desidratação a vácuo. Sendo que podem ser empregados mais de um desses métodos para a obtenção de um resultado satisfatório.

O processo de tratamento por desidratação a vácuo ou termo-vácuo, é melhor compreendido quando se apresenta o modo de funcionamento de uma máquina para processo termo-vácuo, a Figura 21 detalha o processo pelo qual o óleo é submetido no interior de tais máquinas.



| | |
|--------------------------------|------------------------------------|
| 1. Válvula de entrada | 15. Desidratadores |
| 2. Pré-filtro | 16. Câmara de Vácuo |
| 3. Bomba de entrada | 17. Nível de bóia |
| 4. Válvula de alívio | 18. Fotocélula |
| 5. Câmara de aquecimento | 19. Visor |
| 6. Válvula dreno | 20. Bomba de saída |
| 7. Válvula de entrada de ar | 21. Válvula de retenção |
| 8. Termômetro | 22. Válvula de recirculação |
| 9. Termostato | 23. Tomada de amostras |
| 10. Manômetro | 24. Válvula de saída |
| 11. Câmara de filtragem | 25. Válvula de vácuo |
| 12. Válvula de saída lateral | 26. Vácuo auxiliar |
| 13. Circulação câmara de vácuo | 27. Reforçador de Roots (opcional) |
| 14. Vacuômetro | 28. Bomba de vácuo |

Figura 21 – Diagrama de funcionamento de máquina para termo-vácuo.

Fonte: Delta P, 2007.

O manual Delta P (2007) descreve a passagem do óleo pelo equipamento assim:

- O óleo isolante primeiramente entra na máquina termo-vácuo com o auxílio da sucção da bomba de entrada, onde passa por um filtro de entrada, esse filtro também é chamado de pré-filtro e tem por finalidade retirar partículas de maior granulometria;
- Em seguida o óleo passa pela própria bomba de entrada de óleo e é direcionado à câmara de aquecimento, onde deve ser aquecido a uma temperatura entre 50°C e 60°C, facilitando assim o desprendimento das moléculas de contaminantes do óleo;

- Após o aquecimento o óleo é filtrado novamente, agora em um filtro mais fino, retirando-se partículas menores que ainda existam;
- O óleo isolante é então direcionado para a câmara de vácuo, onde é submetido a vácuo, que combinado a temperatura faz com que as partículas de contaminantes evaporem, sendo então expelidas pela bomba de vácuo;
- Por último a bomba de saída puxa o óleo já tratado da câmara de vácuo, empurrando-o para a saída do processo.

Como pode-se notar, é um processo aparentemente simples, porém não o é, mas de vital importância para a maximização da vida útil de transformadores de potência. A Figura 22 mostra a interconexão entre as máquinas de termo-vácuo e os transformadores, conforme manual do fabricante de transformadores WEG (2010).

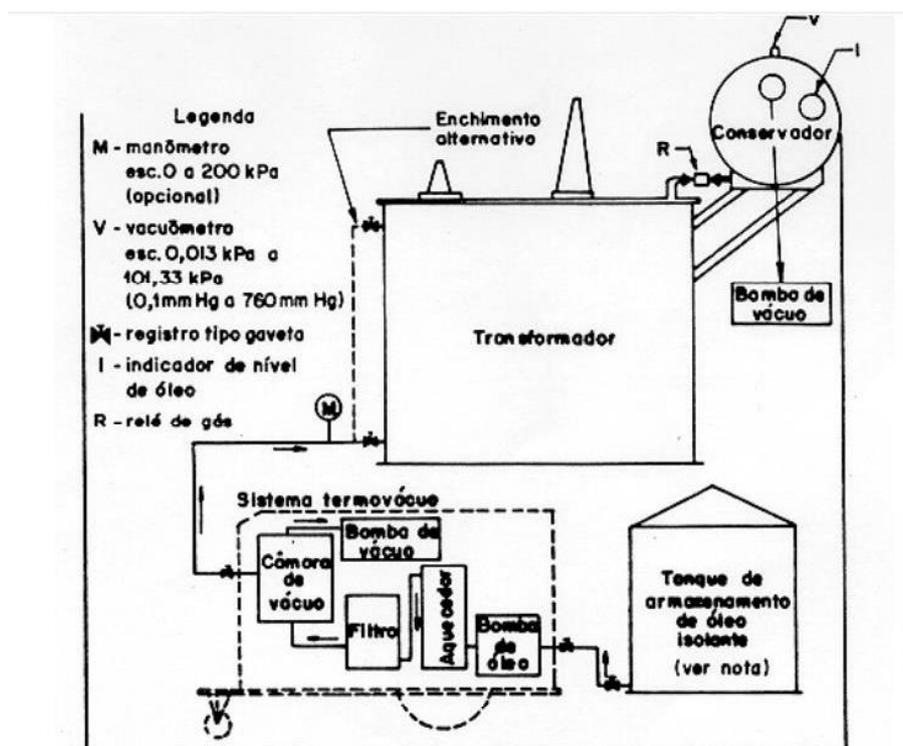


Figura 22 – Diagrama de máquina termo-vácuo durante enchimento de transformadores.

Fonte: WEG Equipamentos Elétricos, 2010.

Pela Figura 22 podemos notar que a interconexão entre máquinas termo-vácuo e os transformadores é feita por mangueiras, mangueiras essas que devem sempre estar em perfeitas

condições e limpas, principalmente internamente. Um vazamento de óleo durante o tratamento pode significar um dano irreparável ao meio ambiente, além do mais, em casos de tratamento termo-vácuo com transformador em funcionamento, tal vazamento pode ser o suficiente para a queima do equipamento.

Por fim, analisamos como fundamental um bom treinamento nesses procedimentos, uma vez que envolve atividade de risco e de suma importância para o bom funcionamento de transformadores, e porque não dizer, do sistema elétrico de potência como um todo.

4. PROJETO, IMPLEMENTAÇÃO E TESTES

O projeto de uma plataforma de simulação e treinamento em operação de equipamentos termo-vácuo para a manutenção de transformadores tem como finalidade levar maior qualidade de aprendizado nesses procedimentos para alunos de cursos técnicos e superiores das áreas de energia e potência, bem como os profissionais de empresas que estejam atuando nesse tipo de tratamento, são o foco principal do referido projeto.

Este projeto salienta principalmente que o ambiente simulado foi pensado como auxiliador no processo e nos primeiros contatos com equipamentos de tratamento por termo-vácuo, porém não teve o intuito de substituir as experiências e práticas físicas dos procedimentos, sendo, portanto, projetado como um acelerador do processo e norteador para alunos e futuros profissionais.

A Figura 23 mostra o diagrama de blocos do projeto do simulador desenvolvido neste trabalho. Como será visto nas próximas seções.

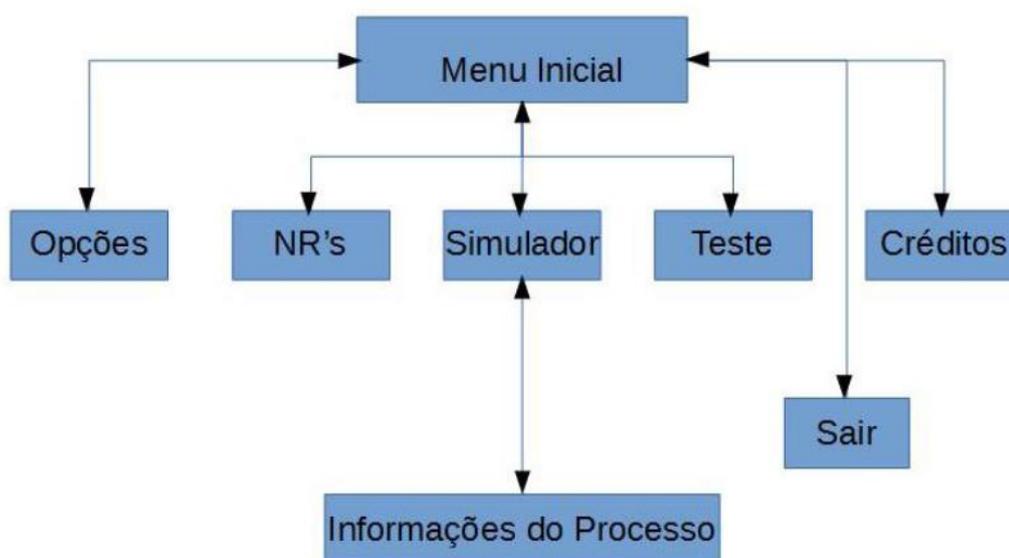


Figura 23 – Diagrama de blocos do simulador.

Fonte: do autor.

Os procedimentos simulados foram baseados e estão em concordância com os manuais de fabricantes de equipamentos termo-vácuo, especialmente dos modelos fabricados pela

empresa *Delta P*, estando também em consonância com os manuais e instruções normativas do fabricante WEG de Transformadores, sendo, portanto, fortemente indicado como simulador para operação de equipamentos desses fabricantes.

4.1 IMPLEMENTAÇÃO DOS SCRIPTS DO SIMULADOR

Dentro do motor de jogos Unity há basicamente dois tipos de linguagem que se pode adotar, o Java-Script ou o C# Script, sendo que foi adotado no desenvolvimento deste simulador a linguagem C# Script, por ser uma linguagem mais familiar aos desenvolvedores envolvidos no projeto.

Os Scripts são os responsáveis por “dar vida” a uma aplicação desenvolvida na plataforma Unity. Praticamente todas as ações desempenhadas por um jogo ou simulador são movidas via Scripts. A Figura 24 mostra o Script escrito em C# com o nome: “Movimentação”, responsável por fazer a movimentação do aluno pelo ambiente 3D.

```

1 using UnityEngine;
2 using System.Collections;
3
4 public class Movimentacao : MonoBehaviour {
5     public float VelocidadeMov;
6     public float VelocidadeRot;
7     // Use this for initialization
8     void Start () {
9         VelocidadeRot = 3.5f;
10        VelocidadeMov = 1.5f;
11    }
12
13    // Update is called once per frame
14    void Update () {
15        if (Input.GetButton ("w")){
16            transform.Translate (0,0,-VelocidadeMov);
17        }
18        if (Input.GetButton ("s")){
19            transform.Translate (0,0,VelocidadeMov);
20        }
21        if (Input.GetButton ("a")){
22            transform.Rotate (0,-VelocidadeRot,0);
23        }
24        if (Input.GetButton ("d")){
25            transform.Rotate (0,VelocidadeRot,0);
26        }
27    }
28 }
29
30
31
32
33
34 }

```

Figura 24 – Script em C# para movimentação de personagem em ambiente 3D. Imagem retirado do software MonoDevelop

Através da Figura 24 tem-se a estrutura de um *script* em C#. Muitos *scripts* foram necessários para o desenvolvimento do simulador desenvolvido nesse trabalho, a grande maioria bem mais externos que o mostrado na Figura 24, por isso resolveu-se fazer apenas uma descrição dos principais *scripts* presentes no simulador em questão. A Descrição dos principais nomes dos *scripts* e suas funções é mostrada na Tabela 2.

Tabela 2 – Principais Scripts do simulador.

| Nome do Script | Função |
|-----------------------|---|
| BombaSaida | Mostrar e executar as animações e informações referentes a bomba de saída da máquina termo-vácuo. |
| BotEntrada | Mostrar e executar as animações e informações referentes a bomba de entrada da máquina termo-vácuo. |
| BotVacuo | Mostrar e executar as animações e informações referentes a bomba de vácuo da máquina termo-vácuo. |
| BotResistencia | Mostrar e executar as animações e informações referentes resistências da máquina termo-vácuo. |
| Menu | Responsável pelas informações e links dos menus do simulador. |
| Movimentacao | Faz a movimentação do personagem pelo ambiente 3D mediante comandos dados pelo aluno no teclado. |
| Plataforma | Faz as animações iniciais e finais do ambiente 3D do simulador. |

Dentro do motor de Jogos Unity 3D os scripts são colocados nos *game objects* referentes a ação que deve ser feita através do referido script. Por exemplo, o script de movimentação foi colocado no *game object* no qual a câmera foi inserida.

4.2 IMPLEMENTAÇÃO DAS ÁREAS DO SIMULADOR E PRODUTO FINAL

A seguir serão mostradas as telas desenvolvidas na fase de implementação do projeto, utilizando as ferramentas já descritas na seção 3.1.

A primeira tela em que o usuário tem acesso ao menu iniciar, a simulação é a tela do menu inicial onde então o discente tem uma série de opções de acesso, opções essas que vão desde configurações de resolução de tela, até acesso as normas de segurança e o acesso à tela 3D de simulação.

A tela inicial da aplicação foi desenvolvida na aplicação Unity 3D e é mostrada na Figura 25, onde as seguintes opções são apresentadas ao usuário através dos botões a serem clicados com o mouse:

- Opções – Botão que leva o usuário para configurações e informações sobre os controles de movimentos do simulador;
- NR's – Botão que direciona para o acesso as principais Normas Regulamentadoras relacionadas ao processo de tratamento de óleo;
- Teste – Botão para um teste de conhecimento sobre informações do processo de tratamento de óleo por máquinas de termo-vácuo;
- Créditos – Mostra os créditos e agradecimentos da equipe de desenvolvimento do simulador;
- Simulador – Botão que direciona o discente ao ambiente da subestação onde os procedimentos de tratamento de óleo utilizando máquina termo-vácuo serão executados;
- Sair – Fecha o simulador.



Figura 25 – Menu Inicial do Simulador

A tela de “OPÇÕES” foi projetada e implementada para a adequação do simulador aos *hardwares* disponível em diferentes instituições de ensino, tendo em vista que nem todas as instituições possuem bons computadores com placas de vídeo capazes de renderização 3D de alta qualidade, logo foram inseridos nessa tela “OPÇÕES” algumas configurações de resolução, conforme pode ser visto na Figura 26.



Figura 26 – Menu “Opções” do Simulador

Ao clicar sobre alguma das opções da coluna de qualidade do menu “OPÇÕES” é possível escolher desde o máximo de qualidade “FANTÁSTICO”, para bons *hardwares*, até a opção de qualidade “PÉSSIMO” para *hardwares* ruins.

A coluna de resolução serve para adequar o simulador a resolução de tela do computador onde será rodado, e a opção volume serve para ajustar os volumes dos sons da plataforma.

No botão “CONTROLES” mostra ao usuário como deve ser o controle dos movimentos durante a simulação, sendo que a tecla “D” desloca o avatar para a direita, a tecla “A” desloca o avatar para a esquerda, a tecla “W” desloca o avatar para frente e o deslocamento para trás é feito com a tecla “S”. As demais configurações, como seleção de objetos, apertado de botões, etc. são realizadas apenas clicando com o botão esquerdo do mouse no objeto.

Ao clicar no botão “NR’s” do menu inicial do simulador são apresentadas algumas das NR’s que devem sempre ser observadas quando atividades de tratamento de óleo forem executadas em subestações de energia elétrica. A tela de “NR’s” é mostrada na Figura 27.



Figura 27 – Menu “NR’s” do Simulador

As NR’s fazem parte do ordenamento jurídico do país, as utilizadas e mostradas nessa tela do simulador são as seguintes:

- NR 1 – Essa NR traz as disposições gerais sobre as normas regulamentadoras de saúde e segurança do trabalho, mostrando a obrigatoriedade de adoção das medidas contidas nas demais NR’s a todos os empregadores e empregados do país, não desobrigando do

cumprimento de demais normas ou procedimentos de segurança que sejam necessários. A NR1 mostra que as demais NR's representam o mínimo a ser observado para as atividades que a mesma estiver normatizando;

- NR6 – Dispõe sobre os equipamentos de proteção individual (EPI's), sua obrigatoriedade de uso, gratuidade por parte do empregado, modo de venda, rastreabilidade e mecanismos de fiscalização, além de ao final trazer uma lista de EPI's para cada tipo de risco.
- NR10 – Regulamenta atividade em instalações e serviços em eletricidade, estabelecendo medidas de controle, equipamentos de proteção coletiva, equipamentos de proteção individual, segurança na construção, montagem e manutenção de instalações elétricas energizadas ou não energizadas. Essa é a principal NR para operários e empresas do setor elétrico no âmbito da segurança do trabalho, a Figura 28 mostra o acesso a NR10 no simulador.
- NR 26 – Dispõe sobre sinalização de segurança e isolamento de áreas de serviço, assim essa norma mostra como indicar e advertir sobre riscos existentes em atividade laborais de risco.
- NR 35 – Normatiza as condições de trabalho em altura. Essa NR é pertinente ao processo de tratamento de óleo por muitas vezes ser necessária a subida do trabalhador ao topo dos transformadores que normalmente é mais alto que dois metros.

NR 10 – SEGURANÇA EM INSTALAÇÕES E SERVIÇOS EM ELETRICIDADE

| | |
|---|---------------|
| Publicação | D.O.U. |
| Portaria MTb n.º 3.214, de 08 de junho de 1978 | 06/07/78 |
| Alterações/Atualizações | D.O.U. |
| Portaria SSMT n.º 12, de 06 de junho de 1983 | 14/06/83 |
| Portaria MTE n.º 598, de 07 de dezembro de 2004 | 08/09/04 |
| Portaria MTPS n.º 508, de 29 de abril de 2016 | 02/05/16 |

(Texto dado pela Portaria GM n.º 598, de 07 de dezembro de 2004)

10.1 - OBJETIVO E CAMPO DE APLICAÇÃO

10.1.1 Esta Norma Regulamentadora - NR estabelece os requisitos e condições mínimas objetivando a implementação de medidas de controle e sistemas preventivos, de forma a garantir a segurança e a saúde dos trabalhadores que, direta ou indiretamente, interajam em instalações elétricas e serviços com eletricidade.

10.1.2 Esta NR se aplica às fases de geração, transmissão, distribuição e consumo, incluindo as etapas de projeto, construção, montagem, operação, manutenção das instalações elétricas e quaisquer trabalhos realizados nas suas proximidades, observando-se as normas técnicas oficiais estabelecidas pelos órgãos competentes e, na ausência ou omissão destas, as normas internacionais cabíveis.

10.2 - MEDIDAS DE CONTROLE

10.2.1 Em todas as intervenções em instalações elétricas devem ser adotadas medidas preventivas de controle do risco elétrico e de outros riscos adicionais, mediante técnicas de análise de risco, de forma a garantir a segurança e a saúde no trabalho.

10.2.2 As medidas de controle adotadas devem integrar-se às demais iniciativas da empresa, no âmbito da preservação da segurança, da saúde e do meio ambiente do trabalho.

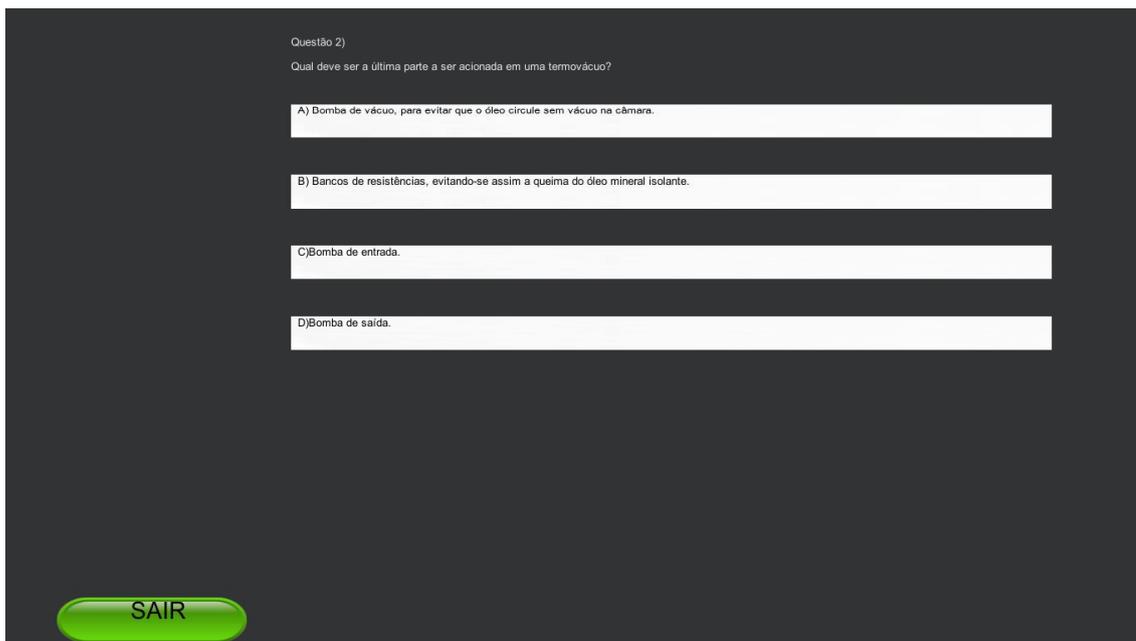
SAIR

Figura 28 – Acesso a NR10 pelo simulador.

Achou-se necessária a implementação dessas NR's no simulador para ajudar os usuários que nunca tiveram contato com áreas de risco, de forma a irem se familiarizando com os procedimentos de segurança e medicina do trabalho. Todas as normas citadas acima podem ser estudadas integralmente pelos discentes no menu “NR's” do simulador aqui demonstrado.

No menu de “Teste” é aplicado um questionário sobre o tratamento de óleo e configurações de máquinas termo-vácuo. Conforme a Figura 29 demonstra, esse teste é aplicado com o intuito de medir a quantidade de conhecimento do discente ao final do treinamento de tratamento de óleo mineral isolante em transformadores, portanto deve ser realizado ao final da simulação.

Para aferição do ganho de conhecimento, foi aplicado antes desse teste final no menu “Teste” da plataforma um questionário similar a esse. Também foi realizado a aplicação de questionários complementares de avaliação da plataforma, esses questionários seguem o modelo proposto por Savi (2011) em sua tese de doutorado, que avalia simuladores e jogos sérios quanto ao ganho pedagógico das aplicações como ferramentas de auxílio no ensino e na aprendizagem.



Questão 2)
Qual deve ser a última parte a ser acionada em uma termovácuo?

A) Bomba de vácuo, para evitar que o óleo circule sem vácuo na câmara.

B) Bancos de resistências, evitando-se assim a queima do óleo mineral isolante.

C) Bomba de entrada.

D) Bomba de saída.

SAIR

Figura 29 – Menu de “Teste”, verificação de conhecimentos.

Considera-se portanto para avaliação do simulador a relação de causa como material educacional que foi determinado pelo retorno do aluno sob o efeito motivador do simulador, a experiência adquirida e o ganho de aprendizagem identificado (SAVI, 2011). Mais a frente apresentaremos o resultado e os questionários aplicados aos usuários de forma mais detalhada.

O botão “Créditos” é um local destinado apenas aos créditos e agradecimentos da equipe de desenvolvimento do simulador, não tendo um cunho pedagógico, é apenas destinado a demonstração de gratidão as pessoas e instituições que ajudaram no desenvolvimento deste projeto.

O botão do menu “Simulador” direciona o aluno a simulação propriamente dita, onde o mesmo deve realizar as atividades de tratamento de óleo mineral isolante com o auxílio do professor e das informações fornecidas pelo simulador através de áudios e texto que vão direcionando os procedimentos a serem feitos. A Figura 30 mostra o início da simulação, onde é apresentado ao aluno o ambiente 3D e também uma mensagem de boas vindas.

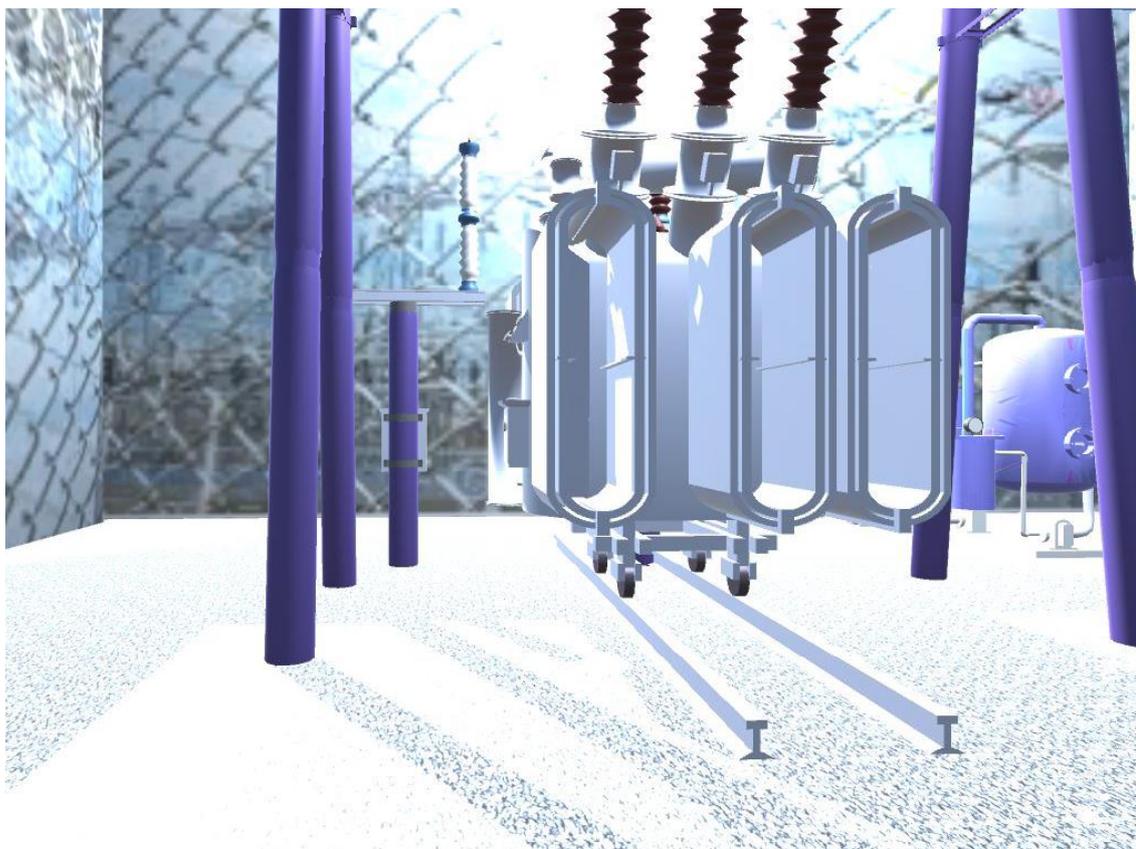


Figura 30 – Simulador de tratamento de óleo, tela inicial.

O modelo do transformador trifásico apresentado na Figura 30 foi encontrado e importado de uma comunidade denominada *GRABCAD* disponível em Grabcad (2017). Essa comunidade disponibiliza diversos modelos 3D para realidade virtual, alguns são vendidos e outros grátis. O modelo do transformador foi ajustado e exportado para a plataforma Unity com o auxílio do *software* 3D MAX.

Já o modelo da máquina para termo-vácuo, por ser um modelo específico do procedimento de manutenção de óleo de transformadores, sendo de um fabricante e modelo bem definido, não foi encontrado. Portanto, essa máquina foi totalmente modelada pela equipe de desenvolvimento no *software* 3D MAX, sendo observados os padrões e dimensões do modelo de termo-vácuo MVI 3000 de fabricação da empresa DELTA P.

A Figura 31 mostra o modelo da máquina termo-vácuo MVI 3000 sendo renderizado lateralmente no simulador. Ao modelar tal equipamento teve-se o cuidado de criar a representação de todos os principais componentes do modelo MVI 3000, porém alguns detalhes foram propositalmente deixados de serem modelados, por exemplo a estrutura metálica de suporte da máquina, isso foi feito com o intuito de diminuir a quantidade de informações a

serem renderizadas, evitando-se assim uma sobrecarga nas placas de vídeo dos computadores que rodarão a simulação.

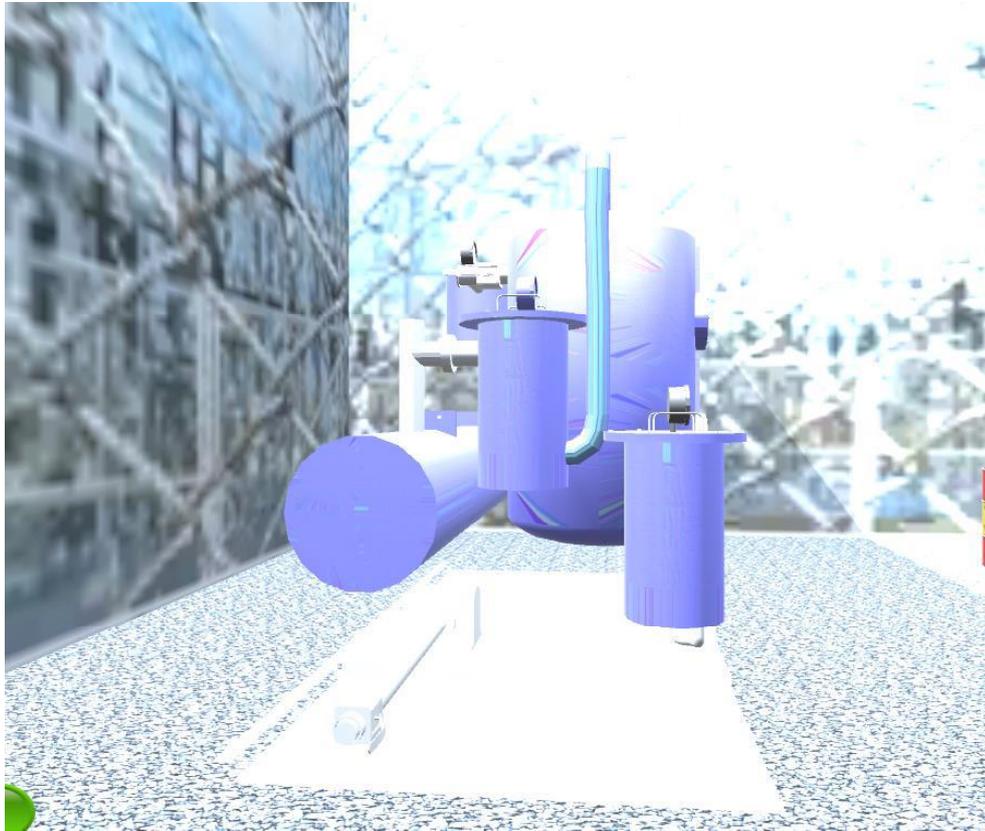


Figura 31 – Modelo 3D da máquina de termo-vácuo MVI 3000.

Foram modelados filtros, banco de resistência, bombas da entrada e de saída, câmara de vácuo, painel de comandos e bomba de vácuo. A texturização do modelo também foi bem simplificada para evitar problemas de sobrecargas nos *hardwares*.

No ambiente 3D também foram inseridos tambores de óleo de transformadores, conforme pode ser visto na Figura 32, esses tambores são usados para mostrar aos discentes qual o padrão de armazenamento de óleo em subestações de energia elétrica, além disso, ao clicar nos tambores o aluno em treinamento é direcionado a um menu 2D onde recebe muitas informações sobre o óleo mineral isolante e os ensaios realizados no óleo.

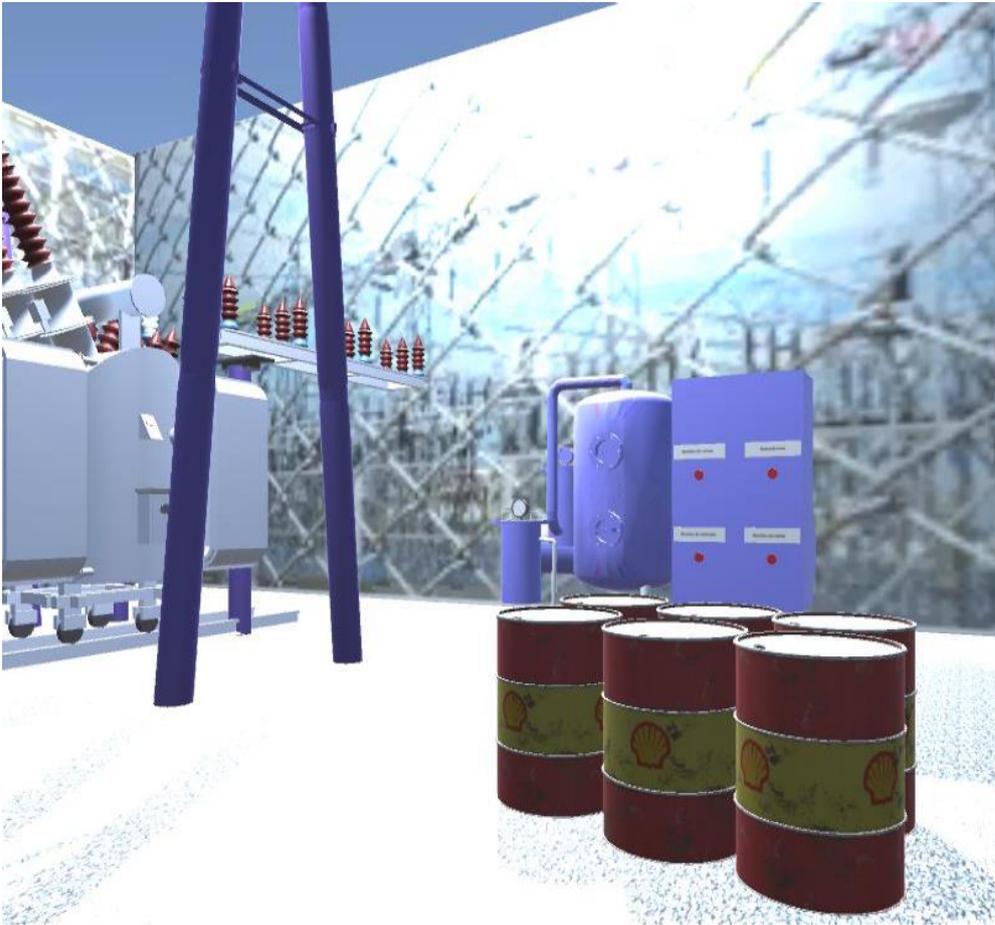


Figura 32 – Modelo 3D de tambores de óleo.

Ao clicar sobre o transformador ou sobre os tambores de óleo o simulador direciona o usuário a um menu 2D de informações, conforme mostrado na Figura 33. Esse menu apresenta os seguintes botões:

- O que é termo-vácuo? – Mostra informações sobre o processo de manutenção de óleo mineral isolante por termo-vácuo.
- Óleo mineral isolante – mostra uma série de informações técnicas sobre o óleo mineral isolante.
- Acomodação do óleo – mostra informações sobre as orientações técnicas de acomodação do óleo de transformadores em campo.

- Deterioração do óleo – mostra como ocorre o processo de deterioração do óleo ao longo do tempo de trabalho do transformador.
- Ascarel – demonstra a importância dos procedimentos de verificação e dos perigos de contaminação do meio ambiente e pessoas por Ascarel.
- Análises de óleo – ao clicar nesse botão o usuário terá informações sobre os principais tipos de análises de óleo existentes, a periodicidade de amostragem, a importância de cada tipo de análise, as conclusões que podem ser tomadas a partir das análises de óleo e os cuidados a serem tomados durante a amostragem.
- Tratamento do óleo – mostra informações sobre os procedimentos de tratamento de óleo mineral isolante.
- Partes de uma termo-vácuo – mostra informações básicas sobre os principais componentes de uma máquina de tratamento por termo-vácuo.
- Galeria de Fotos – por fim é mostrado, ao clicar nesse botão, um conjunto de fotos sobre o tratamento de óleo mineral isolante em transformadores de força.



Figura 33 – Menu de informações sobre tratamento de óleo.

É importante ressaltar que em cada botão podem existir sub-menus para serem acessados com mais informações, isso foi feito para dar uma maior organização aos conteúdos disponíveis na simulação.

As atividades de simulação na parte 3D do simulador são iniciadas com informações sobre o equipamento e sobre as mangueiras. Logo em seguida o estudante é orientado a proceder com o acoplamento das mangueiras nos registros de entrada e saída de óleo da máquina de termo-vácuo, isso ocorre quando acontece um clique sobre os registros, então aparecem as mangueiras ligando a máquina ao transformador que se encontra ao lado. Esse procedimento pode ser visto na Figura 34, onde é mostrada a simulação antes e após o acoplamento das mangueiras a máquina de termo-vácuo e o transformador que terá seu óleo tratado.

Nesse momento o simulador, através de áudios, orienta o aluno quanto aos procedimentos adequados de verificação e acomodação das mangueiras de óleo, tendo em vista que a menor quantidade de umidade no interior da mangueira é o suficiente para contaminar o óleo e comprometer suas propriedades isolantes, é fundamental a acomodação das mangueiras em locais e de modo adequado.

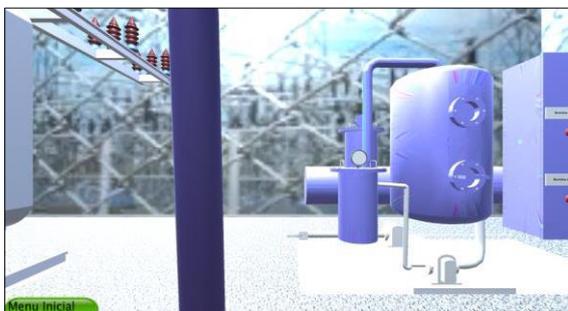


Figura 34. A

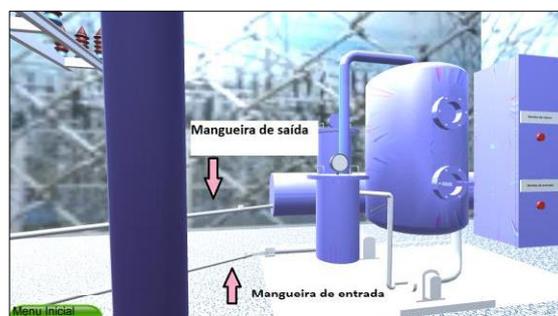


Figura 34. B

Figura 34 – Simulação com mangueiras ainda não acopladas (A) e acopladas (B).

Após o acoplamento das mangueiras vem as orientações para o acionamento das máquinas termo-vácuo de modelo MVI 3000, onde deve-se iniciar com o acionamento da bomba de vácuo logo após a abertura e regulagem dos registros e da válvula de circulação.

Com o acionamento da bomba de vácuo passa-se as orientações quanto ao acionamento da bomba de entrada, sendo a bomba de vácuo a responsável por dar o vácuo no interior da câmara de vácuo e por onde a umidade e os gases combustíveis são retirados do óleo. A Figura 35 mostra os botões da bomba de entrada e da bomba de vácuo já acionados.

A bomba de entrada é a responsável por fazer a sucção do óleo vindo do registro inferior do transformador trazendo-o para dentro da máquina de termo-vácuo.

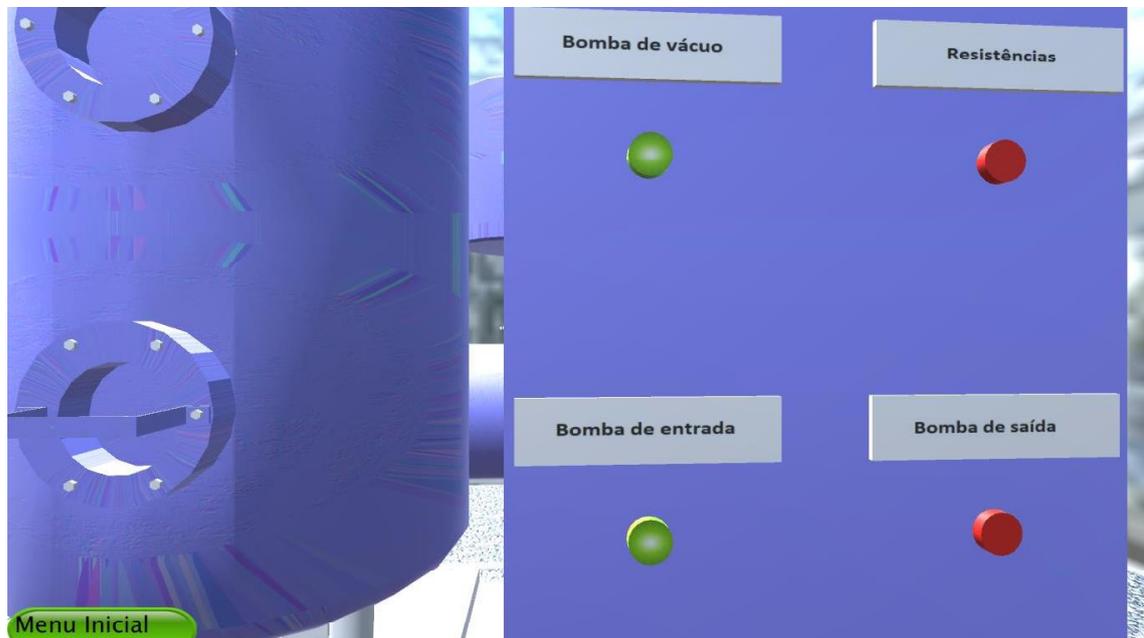


Figura 35 – Bomba de vácuo e bomba de entrada de óleo acionadas no simulador.

O próximo passo, segundo orientações do manual do fabricante do equipamento DELTA P (2007), é o retorno do óleo para a caixa do transformador pelo registro superior através do acionamento de bomba de saída de óleo.

Após o acionamento da bomba de saída tem-se então a circulação do óleo, saindo do transformador, passando pela máquina de termo-vácuo e retornando ao transformador. Esse processo se completa com o acionamento dos bancos de resistência, que devem ser os últimos a serem acionados para evitar a queima do óleo.

Os bancos de resistências são encapsulados de forma que o óleo não tenha contato direto com as resistências e sim com a referida capsula cilíndrica que envolve cada resistência, mas apenas essa característica construtiva não é o suficiente para garantir que o óleo mineral isolante não será queimado com o consequente surgimento de gases combustíveis. Por isso deve-se adotar os procedimentos sugeridos pelo fabricante e demonstrados no simulador, como não circular o óleo muito lentamente ou acima da temperatura ideal de tratamento que fica entre 50 e 60 °C.

4.3 Contexto de Uso

Salientamos aqui que para a adequada utilização, este simulador deve ser aplicado como ferramenta de auxílio no processo de aprendizagem, sendo pensada para ajudar professores ou pessoas que estejam ensinando, sobre o processo de tratamento de óleo mineral isolante, não sendo, portanto, uma ferramenta para profissionais autodidatas ou pessoas que queiram aprender sozinha, muito embora isso possa ser feito.

Ao usar o simulador os alunos serão treinados a identificar os principais componentes de uma máquina de tratamento por termo-vácuo, seu modo de operação e procedimentos de segurança no trabalho. Para tal, é preciso que o discente esteja atento, siga as orientações do instrutor ou professor e também as instruções que a plataforma irá lhe passando ao longo da simulação.

O treinamento se dá em uma subestação virtual em 3D, onde o cenário realístico traz ao usuário a impressão de estar em uma subestação real, ao passo que começa a receber de forma consciente e até mesmo inconsciente, informações que serão úteis para quando o mesmo tiver que vivenciar na prática tais atividades. Muitas informações estão contidas em telas 2D, onde pode-se incluir informações, figuras e instruções normativas.

Na conclusão do treinamento com o simulador o aluno deve ser capaz de identificar as principais partes de uma termo-vácuo, bem como conceitos sobre o óleo mineral isolante, as principais análises realizadas em óleo minerais isolante e o porque da realização de cada uma delas, bem como a seguir orientações e normas de segurança do trabalho que são uma salvaguarda a todos os envolvidos nos tratamentos de óleo por termo-vácuo.

4.5 TESTES DO SIMULADOR

Como o simulador foi concebido com a finalidade de auxiliar a aprendizagem do processo de tratamento de óleo em aulas de máquinas elétricas, ele foi testado nos cursos técnicos em Eletrotécnica e de Automação Industrial do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Pará – IFPA, no Campus Industrial Marabá localizado na Folha 22 Quadra especial Lote especial 2 na cidade de Marabá-PA.

Para verificar a eficácia da ferramenta no auxílio do processo de ensino e aprendizagem, foram agendadas aulas com a utilização do simulador nos dois cursos citados, com a seleção de forma aleatória de 20 (vinte) alunos dos cursos para realização dos testes. A limitação dos testes

em 20 alunos fez-se necessária devido a limitações de computadores disponíveis nos laboratórios do Campus que são de 20 computadores.



Figura 36 – Aplicação do questionário inicial para aferição de conhecimentos.

Antes do início das atividades com o simulador foram aplicados questionários prévios, conforme a Figura 36, com o intuito de verificar o nível de conhecimento inicial dos alunos sobre o processo de tratamento de óleo de transformadores. Ao final foram aplicados mais dois tipos de questionários para medir o conhecimento adquirido e verificar o grau de motivação e de satisfação com a ferramenta de simulação. Os três tipos de questionários aplicadas aos alunos estão no Apêndice A deste trabalho e são adaptações dos questionários presentes na Tese de Doutorado de Rafael Save (2011), que trata justamente de meios de avaliação de jogos sérios e simuladores educacionais.

Após a aplicação do primeiro questionário foram iniciadas as aulas, onde foram ensinados com o auxílio do simulador conceitos sobre transformadores, óleo mineral isolante, análises de óleo, procedimento de segurança e tratamento de óleo por termo-vácuo. A Figura 37 mostra a aplicação de uma dessas aulas, durante a exposição os alunos foram orientados a

fazerem perguntas e observações quanto ao processo de tratamento de óleo e quanto a melhorias e sugestões referentes ao simulador.



Figura 37 – Aula com o auxílio do simulador de tratamento de óleo de transformadores.

Ao final das aulas os alunos tiveram que preencher novamente o questionário de verificação de conhecimento, com o intuito de ser comparado com os primeiros questionários preenchidos antes da aula. A comparação dos questionários e também de dados estatísticos de notas de turmas anteriores possibilitou a avaliação da evolução dos conhecimentos e a efetividade da ferramenta no processo de auxílio de professores e alunos no entendimento do processo de tratamento de óleo mineral isolante.

Também foi aplicado ao final um questionário de avaliação do simulador, onde além de avaliar a ferramenta os alunos foram orientados a fazerem sugestões de melhorias da plataforma, norteadas por adequações a serem feitas.

Durante os testes ficou identificado o interesse dos alunos pelo tema, interesse que foi posteriormente aferido e quantizado quando foram realizados os tratamentos dos dados retirados dos questionários.

5. RESULTADOS

5.1 AVALIAÇÃO DE APRENDIZAGEM

Primeiramente demonstraremos os resultados aferidos nos questionários aplicados aos alunos durante os testes do simulador, depois é feita uma comparação com os resultados aferidos com os métodos padrões de ensino, retirados dos históricos de notas referentes a esse conteúdo que foi aplicado em turmas anteriores dos mesmos cursos.

Os questionários aplicados antes do início da aula com o simulador retornaram os dados contidos na Tabela 3, demonstrando a carência inicial dos discentes em relação aos processos de tratamento de óleo nos cursos avaliados.

Tabela 3 – Avaliação prévia dos alunos.

| Item avaliado | Percentual de notas para cada item avaliado | | | |
|---|---|------|-----|------|
| | INS. | REG. | BOM | EXC. |
| Origem do óleo isolante | 65% | 15% | 15% | 5% |
| Análises realizadas no óleo | 70% | 20% | 5% | 5% |
| Funções e importância dos transformadores | 55% | 10% | 10% | 25% |
| Conceito de tratamento por termo-vácuo | 85% | 5% | 10% | 0% |
| Contaminação do óleo | 95% | 0% | 5% | 0% |

Pelos resultados apresentados na Tabela 3, observa-se o baixo conhecimento prévio dos discentes sobre os temas abordados no simulador, isso deve-se primeiramente ao fato de o tratamento de óleo isolante não ser um conteúdo muito exposto em cursos da área de energia elétrica, além disso os discentes escolhidos para realização dos testes foram os dos primeiros períodos dos cursos.

Após a aula e com a utilização do simulador os alunos foram novamente submetidos ao Questionário 1, contido no Apêndice A deste trabalho, onde os resultados são apresentados na Tabela 4 a seguir.

Tabela 4 – Avaliação pós teste dos alunos.

| Item avaliado | Percentual de notas para cada item avaliado | | | |
|---|---|------|-----|------|
| | INS. | REG. | BOM | EXC. |
| Origem do óleo isolante | 0% | 15% | 20% | 65% |
| Análises realizadas no óleo | 0% | 15% | 15% | 70% |
| Funções e importância dos transformadores | 20% | 20% | 25% | 35% |
| Conceito de tratamento por termo-vácuo | 20% | 20% | 10% | 50% |
| Contaminação do óleo | 25% | 20% | 25% | 30% |

A Tabela 5 mostram os resultados alcançados através dos métodos tradicionais de ensino em sala de aula, ou seja, sem auxílio do simulador.

Tabela 5 – Avaliação realizada em turmas anteriores.

| Item avaliado | Percentual de notas para cada item avaliado | | | |
|---|---|------|-----|------|
| | INS. | REG. | BOM | EXC. |
| Origem do óleo isolante | 10% | 15% | 55% | 20% |
| Análises realizadas no óleo | 20% | 35% | 45% | 5% |
| Funções e importância dos transformadores | 15% | 15% | 45% | 25% |
| Conceito de tratamento por termo-vácuo | 15% | 40% | 40% | 5% |
| Contaminação do óleo | 40% | 30% | 20% | 10% |

Como pode-se verificar pelas Tabelas 3 e 4 ocorreu um ganho nos índices das avaliações realizadas após o treinamento com o simulador se comparados com as avaliações prévias. Nas Tabelas 4 e 5 é possível fazer uma comparação do processo de ensino e aprendizagem com o

auxílio do simulador em comparação ao método padrão de ensino desses mesmos conteúdos em aulas regulares.

Observa-se que na Tabela 4 a coluna de conceitos INS (Insuficientes) possui em geral percentuais menores que a mesma coluna da Tabela 5, demonstrando que um percentual menor de alunos não obtivera conhecimento mínimo quando utilizado o método de ensino com o simulador.

Observa-se também que na Tabela 4 a coluna de conceitos EXC. (Excelente) possui percentuais maiores que essa mesma coluna da Tabela 5, ou seja, um maior percentual de alunos conseguiu a obtenção de notas altas quando utilizado o simulador no processo de aprendizagem.

As Figura 38 e Figura 39 mostram os gráficos dos resultados, onde pode-se constatar a evolução dos rendimentos entre as Tabelas 4 e 5.

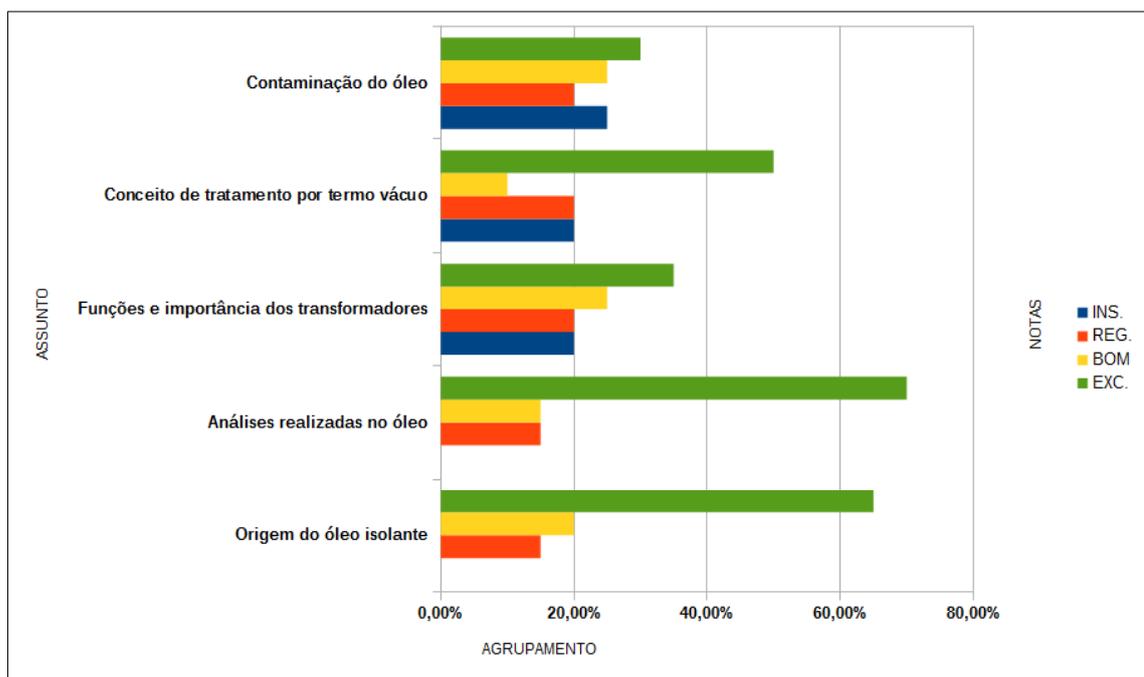


Figura 38 – Resultados dos questionários aplicados durante os testes do simulador.

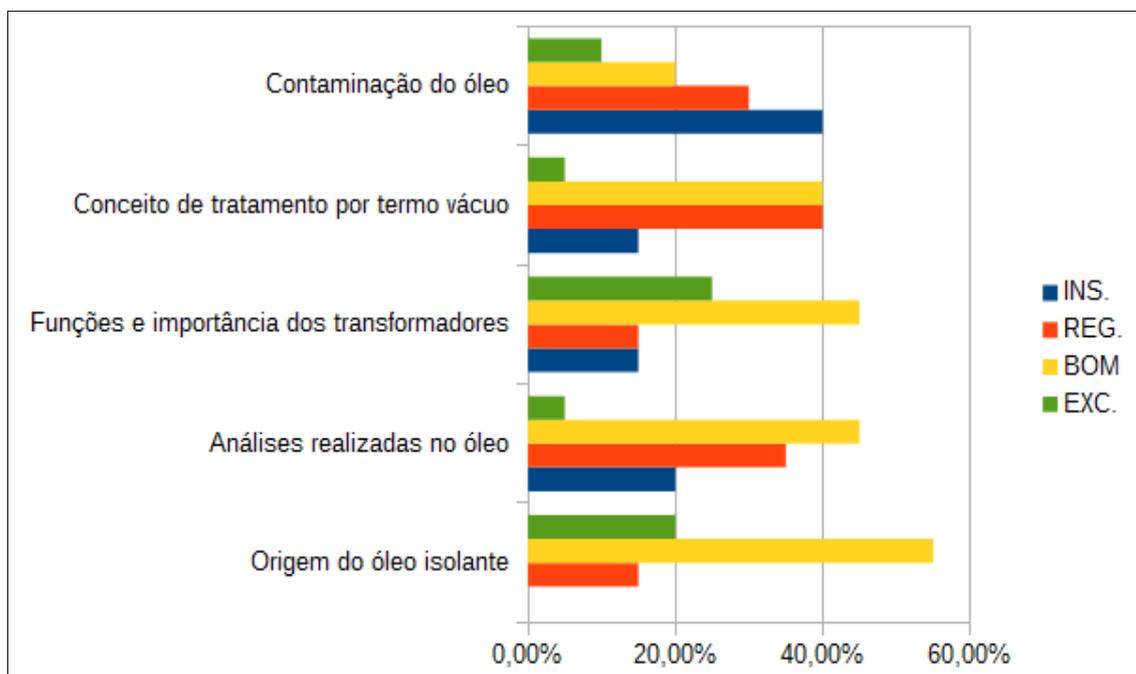


Figura 39 – Resultados pelo método tradicional de ensino.

Os resultados dos testes após a utilização da plataforma mostram um ganho significativo de conhecimento dos discentes em comparação as aulas expositivas tradicionais, principalmente nas questões relativas as análises realizadas no óleo, onde 70 % dos alunos obtiveram excelentes resultados e nenhum obteve resultado insuficiente.

5.2 AVALIAÇÃO DO SIMULADOR

Depois da aula com o simulador foram aplicados questionários, Apêndice A Questionário 3, sobre a opinião dos discentes a respeito da aula com o uso do simulador e todos os procedimentos, conforme será mostrado nas próximas figuras.

A Figura 40 mostra a avaliação subjetiva dos alunos sobre a contribuição do simulador para a aprendizagem na área de tratamento de óleo mineral isolante por termo-vácuo. A maioria dos alunos concordaram totalmente que o simulador contribuiu para o aprendizado de tratamento de óleo, 55%, sendo que 35% concordaram e 10% se mostraram sem opinião, nenhum aluno discordou dessa afirmativa.

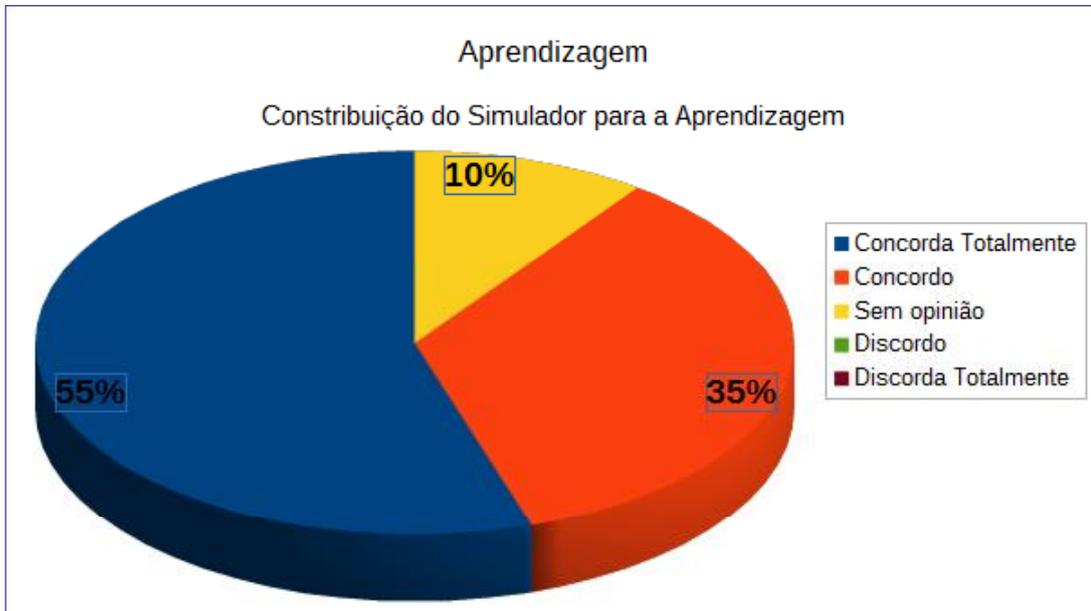


Figura 40 – Contribuição do simulador para a aprendizagem de tratamento de óleo mineral isolante.

A Figura 41 reflete em um gráfico as respostas dos alunos para a seguinte pergunta: O simulador foi eficiente para a aprendizagem, comparando-o com outras atividades da área?

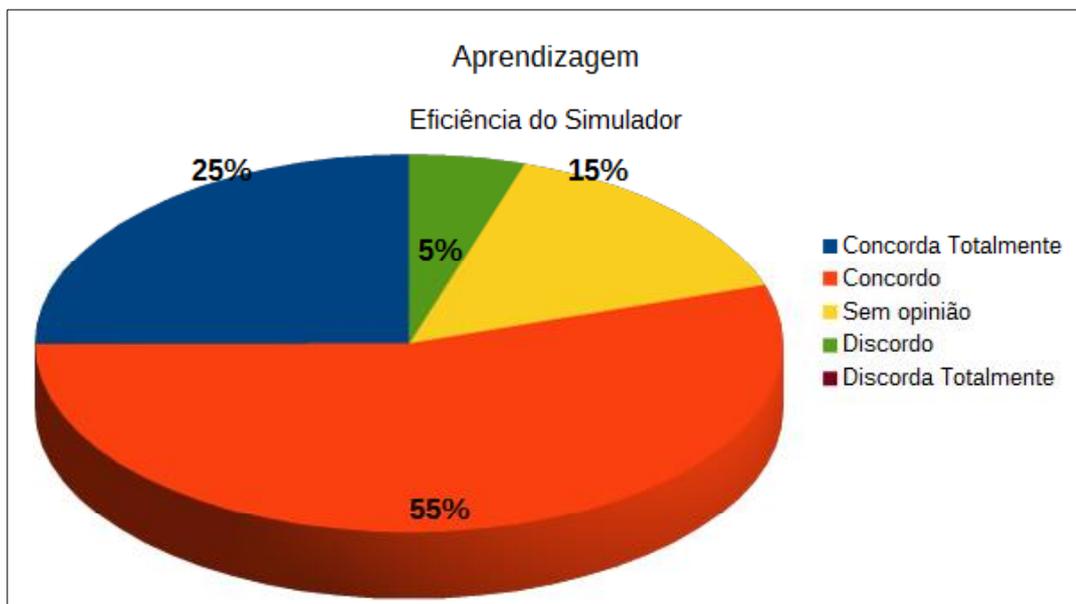


Figura 41 – Eficiência do simulador, comparando-o com outras atividades de ensino.

Nessa avaliação de eficiência comparativa, 25% disseram que concordavam totalmente que o simulador é mais eficiente que outros métodos de ensino dos conteúdos mostrados, 55% concordaram, 15% ficaram sem opinião e 5% discordaram. O montante dos que concordaram

totalmente ou apenas concordaram foi de 80%, demonstrando a eficácia do simulador na avaliação dos alunos.

Na Figura 42 é mostrado o resultado da avaliação sobre a aplicação dos conteúdos do simulador na vida profissional dos alunos.

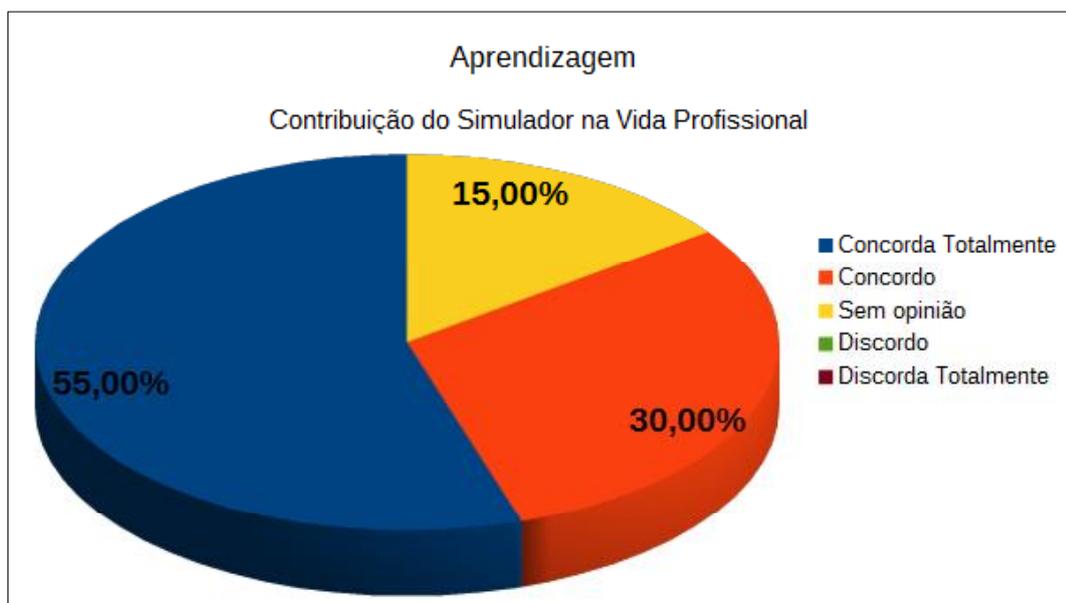


Figura 42 – Contribuição do simulador para a vida profissional dos alunos.

Apenas 15% dos discentes se consideraram sem opinião sobre a aplicabilidade dos conteúdos aprendidos com o auxílio do simulador, o restante dos alunos ou concordaram totalmente ou concordaram com a afirmação que os conteúdos aprendidos serão úteis para suas vidas profissionais.

5.3 AVALIAÇÃO MOTIVACIONAL

Questões relativas à motivação dos alunos para com o simulador foram realizadas no Questionário 2 do Apêndice A. A Figura 43 mostra o resultado da assertiva sobre a confiança dos alunos quanto a aprender com o simulador.

Do total de alunos 60% concordaram totalmente que estavam confiantes quanto a estarem aprendendo quando utilizavam o simulador, 30% concordaram, 5% discordaram e 5% ficaram sem opinião. Os resultados para essa pergunta mostram a convicção criada nos discentes a respeito do aprendizado adquirido com a utilização do simulador.

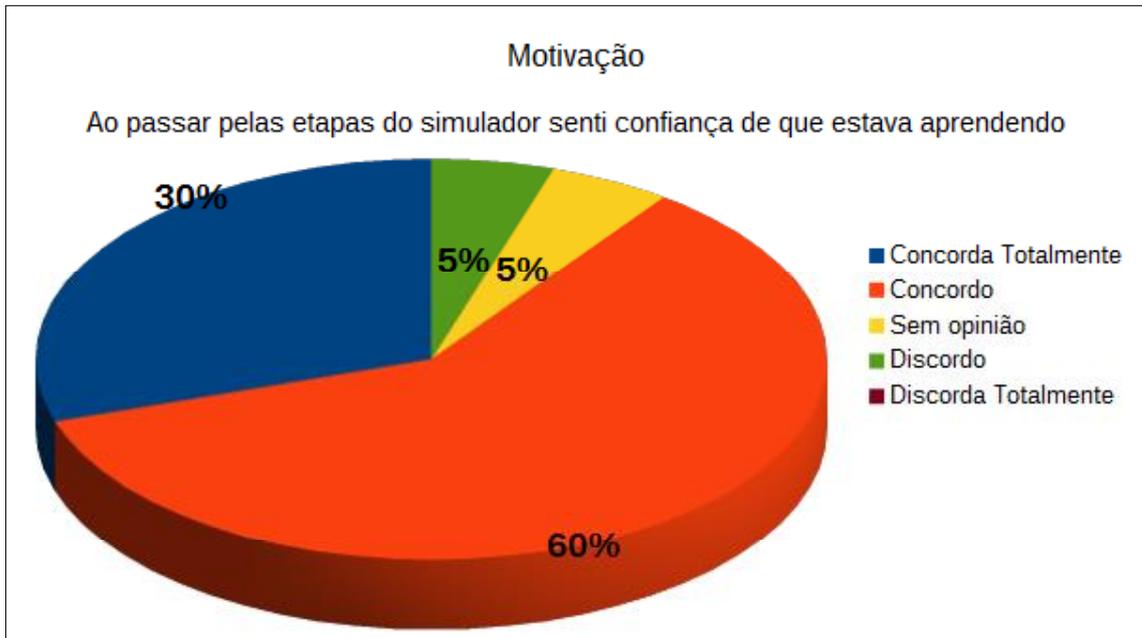


Figura 43 – Confiança dos alunos quanto a aprendizagem.

Relativamente a facilidade de entender e iniciar a utilização do simulador como ferramenta didática, 35% dos alunos concordaram totalmente, 45% concordaram, 10% discordaram e 10% se mostraram sem opinião, conforme o gráfico apresentado na Figura 44.

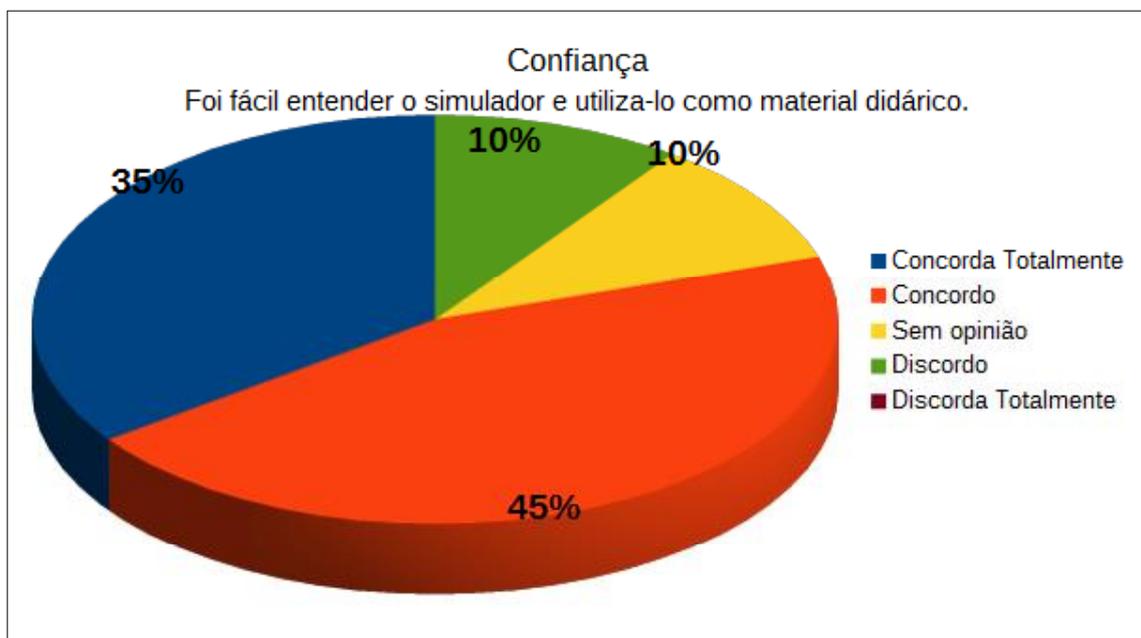


Figura 44 – Facilidade de entender e usar o simulador como material didático

A conexão entre o conteúdo do simulador e outros conhecimentos já adquiridos pelos alunos foi avaliada e os resultados para essa afirmativa é mostrado na Figura 45.

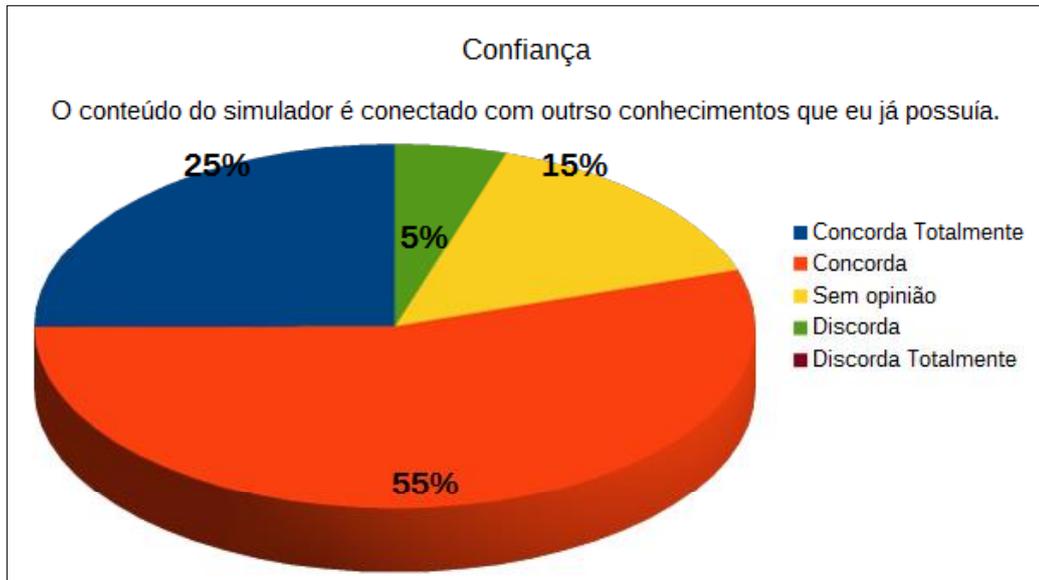


Figura 45 – Conexão entre o conteúdo do simulador e conhecimentos anteriores.

Do total de alunos 80% concordaram ou concordaram totalmente que há conexão entre os conteúdos da plataforma e outros conhecimentos prévios dos alunos.

A Figura 46 mostra as respostas dos discentes quanto a relevância dos conteúdos do simulador para com os interesses individuais de cada aluno.

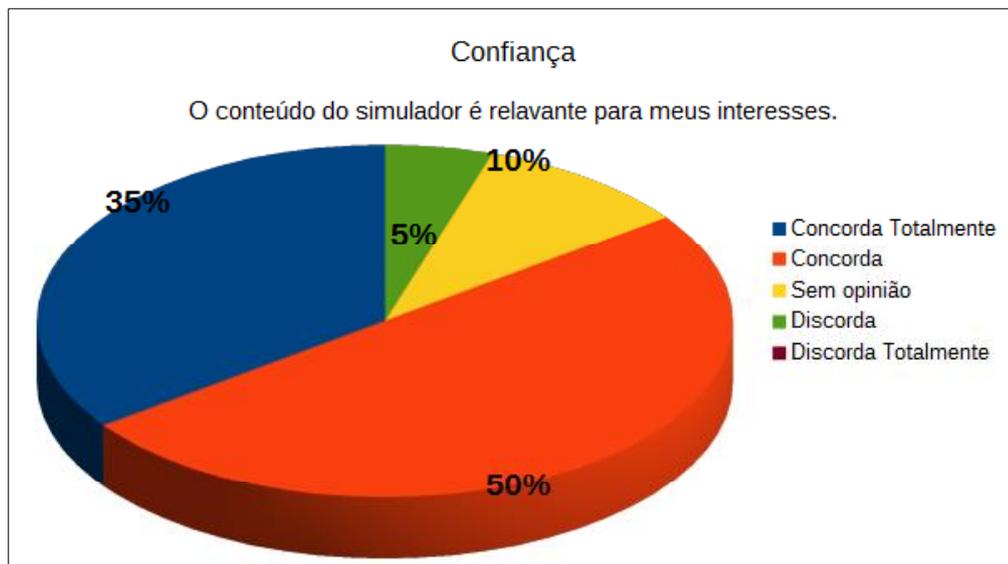


Figura 46 – Relevância do conteúdo do simulador para os interesses de cada aluno.

Nesse quesito 85% dos alunos responderam ou que concordaram ou concordaram totalmente que o simulador é relevante aos interesses de cada um.

A capacidade de manter a atenção do simulador também foi avaliada e os resultados são apresentados na Figura 47.

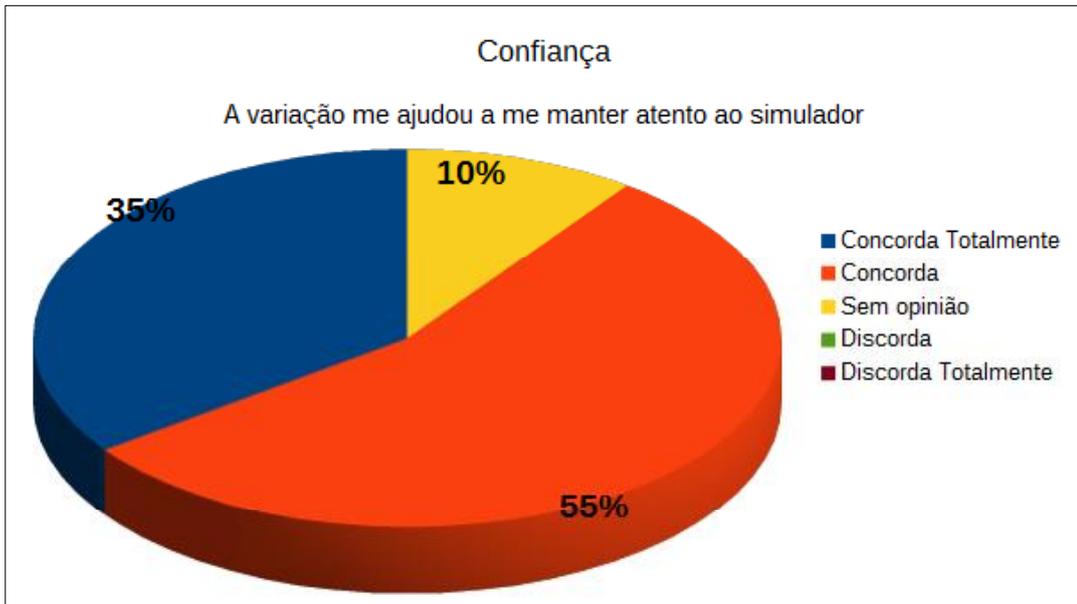


Figura 47 – Capacidade do simulador em manter a atenção dos alunos.

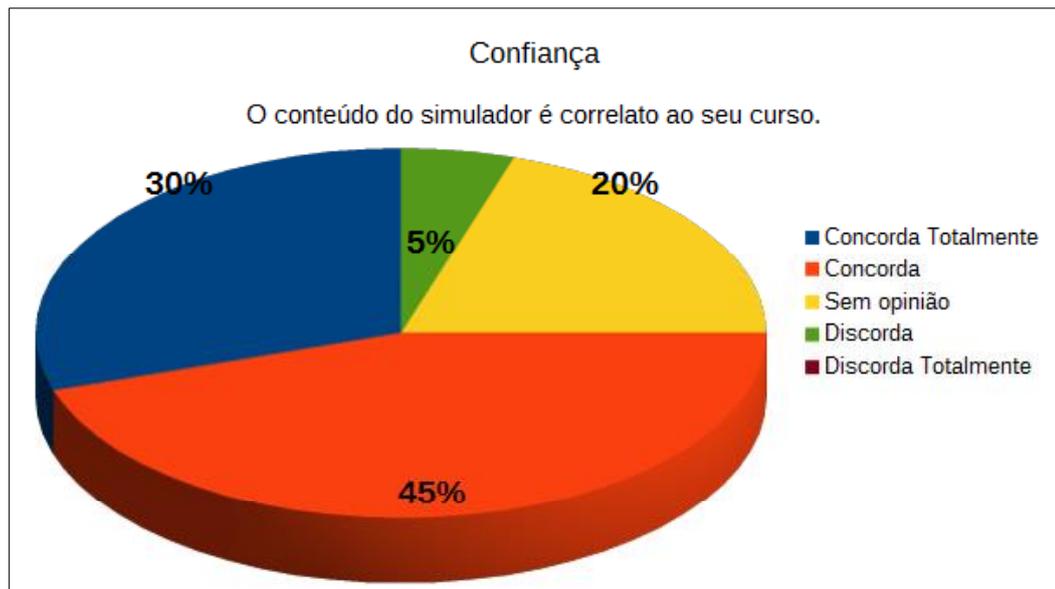


Figura 48 – Capacidade do simulador em manter a atenção dos alunos.

Os alunos também foram arguidos sobre a correlação do conteúdo do simulador e seus cursos, o resultado a essa assertiva é mostrado na Figura 48.

Com relação a correlação entre os conteúdos do simulador e os cursos dos alunos, 75% responderam ou que concordavam totalmente ou que concordavam com essa assertiva.

Também houve uma pergunta quanto a *design* do simulador, onde 60% concordaram que o *design* é atraente, 25% se mostraram sem opinião, 10% discordaram e 5% concordaram totalmente. A Figura 49 mostra os resultados para essa assertiva.

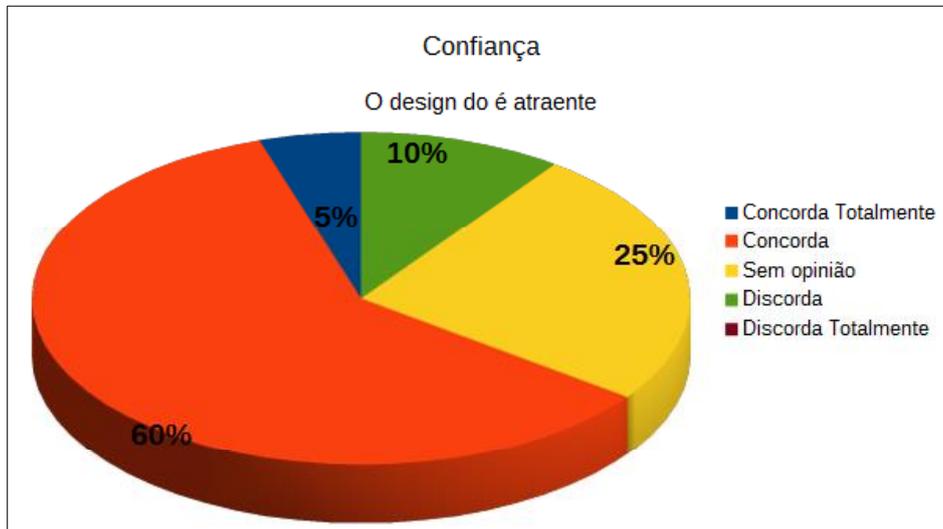


Figura 49 – Sobre o design do simulador.

Por último foi realizada uma pergunta quanto a organização do conteúdo do simulador, o resultado para essa pergunta é mostrado na Figura 50.

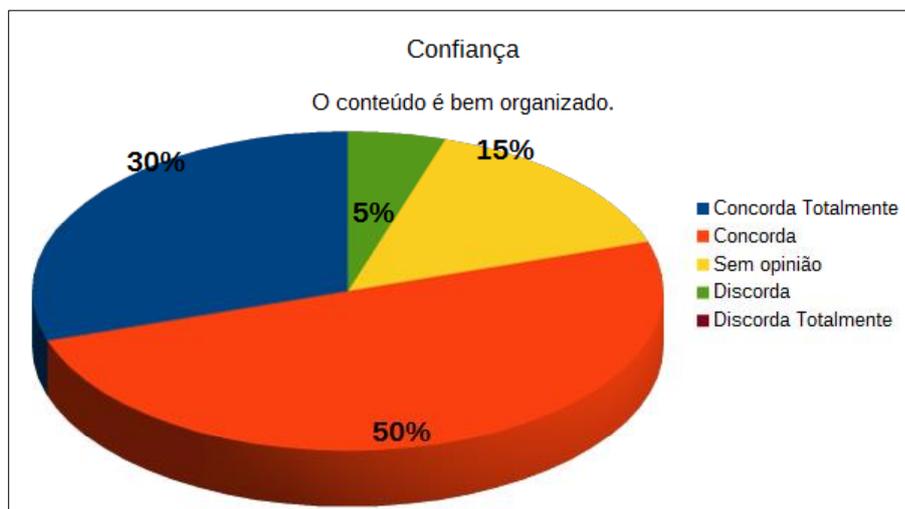


Figura 50 – Organização do conteúdo.

Quanto a organização o simulador foi bem avaliado por 80% dos discentes.

Os itens avaliados pelos discentes mostraram que o simulador foi bem recebido, compreendido, utilizado e avaliado pelos alunos, mostrando-se uma boa ferramenta para o ensino dos processos de tratamento de óleo mineral isolante.

5.4 SUGESTÕES DE MELHORIAS

A grande maioria das sugestões foram referentes a melhorias gráficas, o que pode ter relação com os *hardwares* utilizados para a aula com o simulador, mais também poderão ser feitos alguns ajustes para melhorar alguns cenários do simulador.

Tivemos sugestões de melhorias quando a navegabilidade, alguns sugeriram que a navegação pudesse ser realizada pelo próprio mouse e não por teclas do teclado, outros sugeriram acrescentar mais legendas e áudios de orientação à pessoa em treinamento. Melhorias quanto a navegabilidade foi pensada e deverá ser implementada em trabalhos futuros.

Não foram relatadas sugestões de melhorias relativas ao conteúdo contido no simulador, mas algumas melhorias quanto a apresentação do conteúdo poderá ser feita futuramente, para melhorar o processo de assimilação e aprendizagem.

Para nortear as melhorias a serem feitas futuramente foram utilizadas tanto as sugestões diretas quanto as respostas de cada quesito das avaliações realizadas.

6. CONCLUSÃO

Neste trabalho ficou perceptível que a utilização de um simulador como auxiliador do processo de ensino-aprendizagem pode levar a uma melhoria no processo de compreensão e assimilação de conteúdo por parte de alunos das áreas de sistemas de energia elétrica, mais especificamente os que estejam cursando disciplinas de máquinas elétricas.

A aproximação entre teoria e prática, quando é ofertada ao aluno dá a ele a possibilidade de aprender algumas práticas profissionais durante sua formação conteúdos que só poderiam ser vistas em campo ou na vivência das atividades laborais. Essa aproximação permite uma melhor fixação e absorção de conceitos sobre tratamento é óleo minerais isolante e entendimento prático dos processos inerentes a esse tipo de tratamento.

Os resultados das avaliações foram positivos em 80%, ou mais que isso, na maioria das questões respondidas pelos discentes, mostrando que o uso do simulador será um grande ajudador na transmissão de informações e conteúdos relativos a área de energia, convertendo as aulas que, às vezes, são sem graça e complexas, em dinâmicas e claras.

Ao analisarmos as respostas dos alunos, tivemos a convicção que o simulador é uma ótima ferramenta para proporcionar um ambiente estimulador, motivante e envolvente no processo de ensino-aprendizagem, fazendo do aluno um agente ativo do desenvolvimento de seus conhecimentos.

Este trabalho abrange uma grande gama de alternativas que podem ser pesquisadas sobre o processo de tratamento de óleo por termo-vácuo. A técnica de simulação usada em sala de aula poderá ter como resultado uma melhoria nos níveis pedagógicos além de possibilitar aos docentes o uso de uma ferramenta específica que aproxima seus discentes da realidade prática das disciplinas de máquinas elétricas ou similares.

O maior aporte deste trabalho é a justamente a junção da área técnica com a área pedagógica, uma vez que a maioria das vezes essas andam em direções contrárias. As maiores dificuldades encontradas foram relativas ao desenvolvimento do simulador, por causa da utilização de muito *softwares* e a aquisição de informações sobre o processo de tratamento, especificamente os manuais de máquinas termo-vácuo, o que fez com que o cronograma de desenvolvimento fosse afetado.

Quando utilizado o simulador no processo de ensino ficou evidente que a aplicação é superior aos métodos tradicionais de ensino, sendo, portanto, um importante mecanismo de ajuda ao processo de ensino-aprendizagem, refletindo assim em boas avaliações realizadas pelos discentes, demonstram também o sucesso do projeto.

Muitas dificuldades foram encontradas, principalmente quanta as limitações de recursos computacionais, mais a aplicação conseguiu demonstrar resultados satisfatórios.

6.1 TRABALHOS FUTUROS

Pretende-se, desenvolver outras cenas para o simulador acrescentando maior quantidade de informações, disponibilizar a aplicação em outras plataformas e sistemas operacionais, além de realizar melhorias gráficas e de navegabilidade, como a navegação por mouse.

6.2 PUBLICAÇÕES

TEIXEIRA, Willie Duarte; SANTOS, Ederson Costa; RIBEIRO, Manoel Filho. Utilização de técnicas de realidade virtual na criação de plataforma virtual de treinamento em operação de termo-vácuo. Aceito para apresentação no 31º Congresso Brasileiro de Manutenção e Gestão de Ativos e no IV Seminário Nacional de Manutenção e Gestão de Ativos do Setor Elétrico, realizado em outubro de 2016, em Curitiba-PR.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMATE, Flávio Cezar. Desenvolvimento de jogos computadorizados para auxiliar a aquisição da base alfabética de crianças. 2007. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

ANDERSON, L. W., KRATHWOHL, D. R., AIRASIAN, P. W., CRUIKSHANK, K. A., MAYER, R. E., PINTRICH, P. R., RATHS, J., WITTRICK, M. C. A Taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing — A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives. Addison Wesley Longman, Inc. 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7070: Guia para amostragem de gases e óleo em transformadores e análise dos gases livres e dissolvidos. Rio de Janeiro, 1981.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. - ABNT (Brasil), Ascarel para transformadores e capacitores – Características e riscos; NBR 8371/94, São Paulo, 1994.

ANTONELLO, Izoldir et al. Determinação de ascarel em óleo isolante de transformadores. Química Nova, v. 30, n. 3, p. 709, 2007.

ARAÚJO, Régia Talina Silva et al. Modelagem e animação de objetos de um sistema de distribuição de energia. In: Conferência Internacional sobre Informática na Educação (TISE). 2014. p. 712-716.

CALDEIRA, Ana Cristina M. Avaliação da aprendizagem em meios digitais: novos contextos. In: XI Congresso Internacional de Educação a Distância. 2004.

CASTRO, P. A. P. P.; TUCUNDUVA, Cristiane Costa; ARNS, Elaine Mandelli. A importância do planejamento das aulas para organização do trabalho do professor em sua prática docente. Revista Científica de Educação, v. 10, n. 10, p. 49-62, 2008.

CASTRO, R. H. A. et al. Ambiente computacional baseado em realidade virtual e interação natural para Treinamento no Setor Elétrico. In: Conferência Internacional sobre Informática na Educação (TISE). 2014. p. 836-841.

DA SILVA, Hudson Afonso Batista. SIMULADOR DE UMA SUBESTAÇÃO ELÉTRICA PARA ENSINO DE PRINCÍPIOS BÁSICOS DE ELETRICIDADE. 2017. Dissertação

(Mestrado em Engenharia Elétrica). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Pará, Belém-PA.

DELTA P. 2007. Disponível em: <<http://www.deltap.com.br/termo-vacuo.html>>. Acessado em 15 fevereiro de 2017.

DELTA P. 2007. Manual de Equipamento Modelos MVI 750 / MVI 1500 / MVI 3000.

FERRAZ, A. P. C. M. et al. Taxonomia de Bloom: revisão teórica e apresentação das adequações do instrumento para definição de objetivos instrucionais. Gest. Prod., São Carlos, v. 17, n. 2, p. 421-431, 2010.

FERREIRA, Fernando Cesar et al. Simulador computacional para o Ensino de Física: o Sandbox como ambiente de criação. In: Anais dos Workshops do Congresso Brasileiro de Informática na Educação. 2016. p. 387.

GÂNDARA, Rita Isabel Vieira. A utilização das TIC como meio de aprendizagem na educação especial. 2013. Tese de Doutorado.

GRABCAD 2017. Disponível em: <<https://grabcad.com/>>. Acessado em 18 junho de 2016.

GUILLERMO, Oscar E. Patrón; ENDRES, Luiz. A. Magalhães; LIMA, José Valdeni. Laboratório Virtual de Aprendizagem: uma experiência em mecânica dos fluidos na Engenharia. Nuevas Ideas en Informática Educativa TISE 2013, 684-687.

HECKLER, Valmir; SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira; OLIVEIRA FILHO, Kepler de Souza. Uso de simuladores, imagens e animações como ferramentas auxiliares no ensino/aprendizagem de óptica. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 29, n. 2, p. 267-273, 2007.

HELP CENTER. 2017. Disponível em: <<http://www.augment.com/help/3ds-max/>>. Acessado em 10 fevereiro de 2017.

Instituto de Pesca/TECA/FUNDEPAG/SMA/BIRD, Relatório Final Projeto: Incentivo a atividades Econômicas não Impactantes: Pesca e Aquicultura, 1998.

KHALIL, R. F.. O uso da tecnologia de simulação na prática docente do ensino superior. XVI ENDIPE - Encontro Nacional de Didática e Práticas de Ensino. Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Campinas, São Paulo, 2012.

LIMA, Alessandro et al. Projeto para desenvolvimento do Simulador Health Simulator. Anais do Computer on the Beach, p. 279-288, 2015.

LOPES, Nuno; OLIVEIRA, Isolina. Videojogos, Serious Games e Simuladores na Educação: usar, criar e modificar. Educação, Formação & Tecnologias-ISSN 1646-933X, v. 6, n. 1, p. 4-20, 2013.

MACHADO, Henrique. Unity 3D: Introdução ao Desenvolvimento de Games. Em:<http://www.devmedia.com.br/unity-3d-introducao-ao-desenvolvimento_degames/30653>. Acesso em: 15 de maio de 2016.

MACHADO, Liliane dos Santos et al. Serious games baseados em realidade virtual para educação médica. Revista Brasileira de Educação Médica, v. 35, n. 2, p. 254-262, 2011.

MILASCH, MILAN. Manutenção de transformadores em Líquido Isolante. 1ªed. São Paulo: Edgard Blucher, 1984.

MAMEDE FILHO, João. Manual de Equipamentos Elétricos. 1ªed. Rio de Janeiro: LTC. 2013.

MARCIEL, Ednilson Soares; Coraiola, José Alberto. Transformadores e Motores de Indução. 22. Curitiba: Base Editorial Ltda, 2010.

MARTINS, Valéria Farinazzo et al. Estratégia de Desenvolvimento, Implantação e Avaliação do uso da Realidade Virtual na Educação: Estudo de Caso na área de Português.Revista de Informática Aplicada, v. 10, n. 1, 2014.

MARTINS, Vinícius. O que é e para que serve o 3D Max?. Em: <<http://www.desenhodg.com/2011/05/o-que-e-e-para-que-serve-o-3ds-max.html>>. Acesso em: 19 de maio de 2016.

MONODEVELOP.COM. Disponível em: <<http://www.monodevelop.com/>>. Acessado em 12 abril de 2017.

OLIVEIRA, Mario Orlando. Proteção Diferencial de Transformadores Trifásicos Utilizando a Transformada Wavelet. São Paulo. Dissertação (Mestrado Engenharia Elétrica). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2009.

RIBEIRO, José Luis Duarte. Confiabilidade e Manutenção Industrial. 1ªed. Campus. Rio de Janeiro-RJ. 2009.

RODRIGUES, Rafael Porto; MARTINS, CAPS da. Ensino e aprendizado de pipeline de modo motivante e eficiente utilizando simuladores didáticos. In: Workshop sobre Educação em Arquitetura de Computadores - WEAC. 2008.

ROSA, Devaldi Rodrigues. O que é SketchUp?. Em: <<http://blog.render.com.br/diversos/o-que-e-o-sketchup/>> . Acesso em: 19 de maio de 2016.

SAVI, RAFAEL. Avaliação de Jogos Voltados para a Disseminação do Conhecimento. 2011. TESE (DOUTORADO) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC.

SAVI, Rafael; ULBRICHT, Vania Ribas. Jogos digitais educacionais: benefícios e desafios. Revista Novas Tecnologias na Educação, v. 6, n. 2, p. 10, 2008.

SILVA, Ana Cristina Morais da. Microemulsões aplicadas ao tratamento de Óleos isolantes. 2006. TESE (DOUTORADO). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN.

SILVA, H.A.B; FILHO, M.R; KALEBE, A.; RIBAS, W; MARINHO, A. L. Simulador Com Mini Subestação Para Ensino Da Disciplina Sistemas De Potência Em Cursos De Engenharia E Eletricidade In XLIV CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA. Natal, 2016.

SILVA, Reginaldo Costa et al. VIRTUAL SUBSTATION Um sistema de Realidade Virtual para treinamento de operadores de subestações elétricas. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG.

TEIXEIRA, Rangel Filho. GAME MARABÁ: Projeto, Implementação, e Avaliação de um Jogo Educativo para Auxilio no Ensino de Estudos Amazônicos. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Pará, Belém-PA.

UNITY COMMUNITY. 2009. Unity 3D Community Wiki [online]. Disponível em: www.unifycommunity.com/wiki [Acessado em 19 maio de 2016]. VIII Brazilian Symposium on Games and Digital Entertainment Rio de Janeiro, RJ – Brazil, October, 8th10th 2009 30.

UNITY DOCUMENTATION. Disponível em: <<https://docs.unity3d.com/Manual/MonoDevelop.html>>. Acessado em 12 abril de 2017.

VALDEZ, M. T.; FERREIRA, C. M.; BARBOSA, FP Maciel. AMBIENTE DE APRENDIZAGEM PARA A AQUISIÇÃO DE COMPETÊNCIAS NA ÁREA CIENTÍFICA DE ENGENHARIA ELETROTÉCNICA BASEADO NUM SISTEMA DE REALIDADE VIRTUAL. In: Proceedings of International Conference on Engineering and Technology Education. 2014. p. 353-357.

VILAS, Hélio Manuel. Jogos de computador para a formação em engenharia informática. 2012. Dissertação (Mestrado em Computação). Escola de Engenharia, Universidade do Minho.

VOLZ, William et al. Utilização de Laboratórios Virtuais no Processo de Aprendizagem de Disciplinas de Instalações Prediais/Using Virtual Labs in the Learning Process of Building Installations. Revista de Ensino de Ciências e Engenharia, v. 7, n. 1, p. 58-69, 2016.

WEG EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS. Manual 10000892317. TRANSFORMADOR A ÓLEO ATÉ 4000kVA. Blumenau-SC. 2010.

WIRTH, Almir. Eletricidade e Eletrônica Básica. 4ªed. Rio de Janeiro: Alta Books, 2013.

APÊNDICE A

QUESTIONÁRIOS DE AVALIAÇÃO DO TRABALHO: UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE REALIDADE VIRTUAL PARA TREINAMENTO DE OPERAÇÃO DE TERMO-VÁCUO PARA MANUTENÇÃO DE TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA

Aplicado em: Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Pará – IFPA, Cursos técnicos em Automação Industrial e Eletromecânica.

Questionário 1 – Avaliação do conhecimento (Pré-Teste e Pós-Teste)

Responda as perguntas abaixo conforme seus conhecimentos:

1- Qual a origem do óleo mineral isolante?

2- Quais as principais análises que podem ser realizadas no óleo de transformadores?

3- Qual a importância dos Transformadores para os Sistemas Elétricos de Potência?

4- O que é Ascarel ou PCB's?

5- O que é o procedimento de tratamento do óleo mineral isolante por termo-vácuo?_____

6- Descreva o passo a passo para o acionamento de uma máquina de termo-vácuo?_____

7- Qual a última parte a ser acionada em uma termo-vácuo?

8- Qual deve ser a temperatura do óleo durante o tratamento termo-vácuo?

9- O limite de PCB's para o óleo mineral isolante ser considerado com não contaminado é de quanto ?

10- Atribua uma nota de 0,0 a 10 para o seu nível de conhecimento antes e depois do uso simulador referente aos conceitos listados abaixo: (0,0 – nenhum / 10 – muito)

-Manutenção de transformadores ()

- Óleo mineral isolante ()

- Tratamento de óleo por termo-vácuo ()

12 – Dê sugestões para melhoria do simulador:

QUESTIONÁRIO 2 – AVALIAÇÃO DE SOFTWARES EDUCACIONAIS**MOTIVAÇÃO**

1 - Estou satisfeito porque sei que terei oportunidades de utilizar na prática aquilo que aprendi com o Simulador.

Concorda Totalmente Concorda Sem Opinião Discorda Discorda Totalmente

2 - Ao passar pelas etapas do Simulador senti confiança de que estava aprendendo.

Concorda Totalmente Concorda Sem Opinião Discorda Discorda Totalmente

3 - Foi fácil entender o Simulador e começar a utilizá-lo como material didático.

Concorda Totalmente Concorda Sem Opinião Discorda Discorda Totalmente

4 - O conteúdo do Simulador está conectado com outros conhecimentos que eu já possuía.

Concorda Totalmente Concorda Sem Opinião Discorda Discorda Totalmente

5 - O conteúdo do Simulador é relevante para os meus interesses.

Concorda Totalmente Concorda Sem Opinião Discorda Discorda Totalmente

6 - A variação (forma, conteúdo ou de atividades) ajudou a me manter atento ao Simulador.

Concorda Totalmente Concorda Sem Opinião Discorda Discorda Totalmente

8 - O conteúdo do simulador é correlato ao seu curso.

Concorda Totalmente Concorda Sem Opinião Discorda Discorda Totalmente

9 - O design do Simulador é atraente.

Concorda Totalmente Concorda Sem Opinião Discorda Discorda Totalmente

10 – O conteúdo é bem organizado.

Concorda Totalmente Concorda Sem Opinião Discorda Discorda Totalmente

QUESTIONÁRIO 3 – AVALIAÇÃO DE SOFTWARES EDUCACIONAIS**APRENDIZAGEM**

1 - Você acha que o Simulador contribuiu para sua aprendizagem na área?

Concorda Totalmente Concorda Sem Opinião Discorda Discorda Totalmente

2 - O Simulador foi eficiente para sua aprendizagem, comparando-o com outras atividades da área?

Concorda Totalmente Concorda Sem Opinião Discorda Discorda Totalmente

3 - Você acha que a experiência com o Simulador vai contribuir para seu desempenho na vida profissional?

Concorda Totalmente Concorda Sem Opinião Discorda Discorda Totalmente

31º CONGRESSO BRASILEIRO DE MANUTENÇÃO E GESTÃO DE ATIVOS

SEMASE 2016
II SEMINÁRIO NACIONAL DE MANUTENÇÃO E GESTÃO DE ATIVOS DO SETOR ELÉTRICO

CERTIFICAMOS QUE

Willie Duarte Teixeira

Participou do **31º Congresso Brasileiro de Manutenção e Gestão de Ativos e do IV Seminário Nacional de Manutenção e Gestão de Ativos do Setor Elétrico**, realizados no Centro de Eventos Sistema FIEP, na cidade de Curitiba - PR, no período de 17 a 20 de outubro de 2016.

Na qualidade de Apresentador (a) do Trabalho

Utilização de técnicas de Realidade Virtual na criação de plataforma virtual de treinamento em operação de termovácuos.

Autor(res)

Willie Duarte Teixeira; Manoel Ribeiro Filho; Ederson Costa dos Santos

Rogério Arcuri Filho
Presidente do Conselho de Administração da Abraman

Ivan Antunes de Souza Junior
Coordenador do 31ª CBMGA

Takao Paulo Hara
Coordenador do IV SEMASE

abraman
associação brasileira de manutenção e gestão de ativos