



**XX SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

GGH.YY
22 a 25 Novembro de 2009
Recife - PE

GRUPO - I

GRUPO DE ESTUDO DE GERAÇÃO HIDRÁULICA - GGH

INSTRUÇÕES TÉCNICAS DE MANUTENÇÃO E OPERAÇÃO VIRTUAIS DE UMA UNIDADE GERADORA HIDRÁULICA

Messias José Amador do Nascimento(*)

Manoel Ribeiro Filho

Pebertli Nils Alho Barata

Alcides Renato da Silva Pamplona Júnior

Fábio do Nascimento Silva

Pedro Igor Carvalho Moreira

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ

ELETRONORTE

RESUMO

As usinas hidrelétricas usam instruções técnicas de manutenção e operação para instruir mantenedores e operadores sobre os procedimentos de manutenção e operação a serem efetuados em suas unidades geradoras. Essas instruções consistem de roteiros bem definidos com desenhos planos 2D e atividades em formato textual. Esse artigo apresenta um sistema de autoria que permite a construção dessas instruções técnicas em um ambiente de realidade virtual, onde o usuário pode navegar, interagir e controlar animações em uma unidade hidrogeradora virtual, construída a partir de modelos da construção civil e de peças mecânicas e elétricas fornecidas pela Eletronorte.

PALAVRAS-CHAVE

Realidade Virtual, Treinamento Industrial, Instruções Técnicas, Geração Hidráulica, Unidade Geradora

1.0 - INTRODUÇÃO

A operação das usinas hidrelétricas exige uma manutenção periódica de suas unidades geradoras, que consistem da turbina hidráulica e do gerador síncrono com seus controles auxiliares (1). As instruções de manutenção disponíveis nas usinas hidrelétricas são chamadas Instruções Técnicas de Manutenção ou ITM. Consistem de roteiros bem definidos com desenhos em 2D e atividades em formato textual. Este material não ajuda muito o entendimento dos técnicos responsáveis pelo processo de desmontagem e montagem dos equipamentos. As Instruções Técnicas de Operação, ITO, que também são textos escritos em papel como as ITM, têm os mesmos problemas daquelas, impactando no entendimento por parte do operador sobre os efeitos nos equipamentos causados pela sua ação direta durante uma manobra. Cada ITM possui, além dos roteiros da desmontagem e montagem dos equipamentos, uma lista de pré-condições determinando o estado que os equipamentos participantes da manutenção devem possuir antes da execução da mesma. Existem centenas de ITMs e ITOs em uma usina hidrelétrica.

Este artigo apresenta o desenvolvimento de um programa computacional, chamado de Sistema de Autoria, que permite a um técnico montar uma instrução técnica em um ambiente virtual, chamada Instrução Técnica Virtual (ITV), de operação ou manutenção. As ITVs usam modelos 3D da construção civil das usinas, assim como, dos equipamentos (turbinas, geradores e auxiliares), para mostrar os processos de manutenção e operação. O artigo apresenta também alguns aspectos dos procedimentos para a construção desses modelos 3D, que não são triviais, usando dados de uma usina real. Na manutenção é apresentada a seqüência da desmontagem e montagem desses equipamentos, com detalhes das peças mecânicas com alto realismo gráfico juntamente com instruções altamente didáticas, seguindo metodologias de (2) e (3). Na operação são apresentados os procedimentos do operador (representado por um avatar), algumas vezes em frente a um computador (com as telas que se apresentam), outras vezes em frente a máquinas (e seus botões), e o resultado de suas ações no

(*) Rua Augusto Corrêa, nº 1 – UFPa, Lab. de Engª Elétrica, sala 39 – CEP 66.075-110 Belém, PA – Brasil
Tel: (+55 91) 3201-7307 – email: messiasjan@yahoo.com.br

mundo virtual que representa a unidade geradora. As ITVs usam técnicas de Realidade Virtual para realizar os procedimentos de uma ITM e ITO, inclusive com o uso de avatares, que mostram a intervenção de mantenedores e operadores na unidade geradora virtual. A idéia central das ITVs é transformar a descrição textual de uma ITM ou ITO em uma demonstração visual e interativa do processo, tornando mais simples e atraente o aprendizado.

Além do ambiente 3D as ITVs possuem um banco de dados relacional com todas as informações textuais contidas nas ITMs e ITOs. Essas podem ser acessadas pelo usuário durante o processo de treinamento. Para comprovar a eficácia do sistema de autoria proposto, já foram construídas uma ITM e uma ITO virtuais, baseadas em uma ITM e uma ITO de uma usina real, que estão em fase de implantação na usina de Tucuruí, e estão em fase de produção de mais oito.

Esse artigo prossegue organizado da seguinte forma. A seção 2 apresenta trabalhos relacionados. A seção 3 descreve a arquitetura do sistema. A seção 4 descreve o funcionamento do sistema. A seção 5 descreve as técnicas usadas para a criação dos modelos 3D da unidade geradora. A seção 6 apresenta um caso de estudo com a aplicação das técnicas propostas na construção de uma ITM e uma ITO virtuais de uma unidade geradora de uma usina hidroelétrica real. A seção 7 apresenta as conclusões e propostas de trabalhos futuros.

2.0 - TRABALHOS RELACIONADOS

O uso da tecnologia de Realidade Virtual no processo de treinamento na indústria tem sido uma área de crescente interesse por permitir que o treinando possa manipular facilmente peças de difícil visualização e acesso, além de oferecer ao usuário a sensação de estar na planta real utilizando modelos de peças realistas, a possibilidade de realizar procedimentos de desmontagem e montagem que não estão previstos em manuais, e a oportunidade de simular situações de erro e verificar seu resultado sem impactar na produção real.

A referência (4) apresenta um sistema de realidade virtual para manutenção de equipamentos industriais, começando com a discussão do problema da conversão de modelos CAD para modelos virtuais (5), que permitam gerenciamento de interação em sistemas de realidade virtual. Em (4) é proposto um sistema de autoria, no qual o usuário através de uma interface amigável possa construir um sistema de treinamento de realidade virtual para a indústria. Apesar de listar diversas características que o sistema de autoria deve possuir, os autores afirmam que a ferramenta ainda não existia quando escreveram o texto. O presente artigo é uma continuação otimizada das referências (3) e (6), na qual são apresentadas técnicas para treinamento de manutenção e operação de uma unidade geradora virtual, apresentada uma hidrogeradora virtual, representando uma unidade geradora da usina de Tucuruí. Os melhoramentos apresentados são:

- a. Colocar no formato virtual, usando técnicas de R.V., comprovadas no primeiro projeto, as Instruções Técnicas de Operação, ITO, e as Instruções Técnicas de Manutenção, ITM de uma UHE., que serão chamadas de Instruções Técnicas Virtuais, ITV.
- b. Apresentar um sistema de autoria, para construção das ITVs, e modelar uma casa de força da segunda etapa da usina de Tucuruí.
- c. Construir um banco de dados, consistindo de dados de formato textual, relacionado as ITVs.
- d. Os modelos 3D e o banco de dados são armazenados em um computador servidor, e através de estações, os usuários, mantenedores e operadores rodam as aplicações.

Em (7) são apresentadas diversas técnicas para desmontagem de peças mecânicas em ambientes virtuais e em (8) processos de montagem industrial em ambientes virtuais interativos. Em (9) é apresentado um sistema de visualização de uma unidade hidrelétrica, permitindo compreender estruturas físicas e monitoramento da condição para análise do diagnóstico dos componentes da unidade geradora. Em (10) é apresentado um sistema de treinamento de um sistema de potência, consistindo de plantas elétricas e máquinas, usando técnicas de realidade virtual com modelos 3D. Este artigo usa algumas das técnicas apresentadas nas referências (7,8,9,10).

3.0 - ARQUITETURA DO SISTEMA

A Figura 1 mostra um diagrama simplificado da arquitetura do sistema. Ao ingressar no sistema, é solicitado um login e senha de usuário, por meio dos quais o sistema verifica seu perfil, habilitando ou não o acesso a certas funcionalidades do sistema. Existem dois perfis: Usuário e Administrador. O perfil usuário dá acesso ao módulo de execução que permite ao usuário rodar as instruções técnicas virtuais criadas. O perfil administrador permite criar novas instruções técnicas virtuais, gerenciar usuários e cadastrar o conteúdo das ITs.

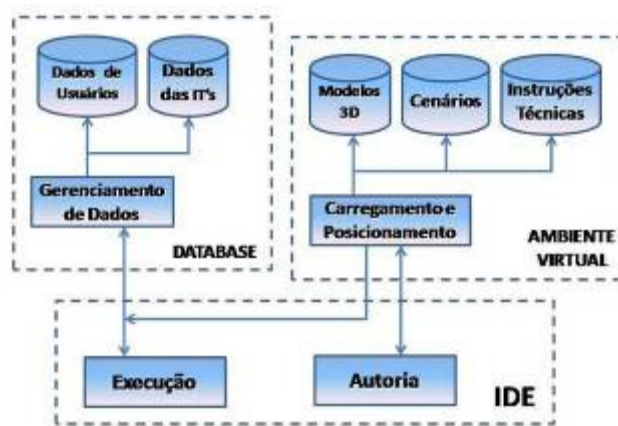


Figura 1 – Diagrama de arquitetura do sistema

3.1 Módulo de Autoria

Através do Módulo de Autoria o usuário pode criar novas ITVs de maneira interativa. O módulo utiliza as funções de carregamento e posicionamento que posicionam os modelos 3D no mundo virtual, estes modelos são carregados de três bases de dados selecionadas de acordo com a operação em execução. A base de cenários é composta de arquivos XML contendo a lista das peças usadas em determinado cenário e suas posições. Uma vez escolhido o arquivo com o cenário desejado, as funções de carregamento e posicionamento acessam a base de modelos 3D, que contém os arquivos de modelos (meshs) dos objetos e seus respectivos arquivos de materiais carregando-os na posição indicada no cenário. A base de instruções técnicas contém arquivos com as instruções técnicas criadas através do módulo de autoria. A diferença destes para os arquivos de cenário é que estes iniciam com os arquivos de cenário para a geração do ambiente inicial e sobre este ambiente são criados os passos que representam as instruções técnicas, contendo animações, janelas popups, deslocamento de câmera, etc. Os arquivos de instrução técnica virtual são o produto final do módulo de autoria e uma vez criados podem ser rodados através do módulo de execução.

3.2 Módulo de Execução

O módulo de execução permite ao usuário rodar as Instruções Técnicas Virtuais criadas no módulo de autoria. Para isso, utiliza as mesmas funções de carregamento e posicionamento já vistas. Permite também, ao usuário com perfil de administrador, gerenciar o conteúdo textual das ITs, ou seja, cadastrar novas ITs, alterar seus dados e imprimir tudo ou parte de uma IT. O banco de dados de ITs armazena essas informações. O perfil de administrador permite ainda gerenciar os dados de usuários, definindo seus perfis de acesso, essas informações são armazenadas no banco de dados de usuários.

4.0 - SISTEMA DE AUTORIA

Este módulo é um editor com interface amigável visando que, com pouco tempo de treinamento, o usuário possa produzir as ITVs, de maneira rápida e visual sem a necessidade de escrever uma linha de código. Os objetos modelados podem ser carregados e configurados para formar a cena 3D inicial da ITV no sistema de autoria, que permite também carregar sistemas de partículas (11), alterar a hierarquia dos objetos da cena, agrupando-os para facilitar a manipulação, alterar parâmetros do objeto como orientação 3D, transparência, escala e diversas outras transformações, todas em tempo real. Para uma representação fiel da instrução técnica, o módulo de autoria conta com algumas funcionalidades que possibilitam a confecção de diferentes animações que, ao fim da geração da ITV, resultarão na descrição visual completa da IT. Estas animações são dependentes do tempo e alteram o estado dos objetos da cena. Essas funcionalidades são:

- Animação de câmera: navegação da câmera pela cena 3D, percorrendo um caminho estipulado por pontos escolhidos pelo usuário.
- Translação de objetos: o objeto percorre um caminho definido por pontos na cena 3D.
- Rotação de objetos: o usuário pode rotacionar o objeto, escolhendo parâmetros como velocidade inicial de rotação, velocidade final de rotação, tempo de rotação, etc.
- Escalamento de objetos: o objeto tem seu tamanho alterado ao longo dos diferentes eixos.
- Animação de transparência de objetos: a opacidade do objeto é alterada de um valor a outro em um intervalo de tempo definido pelo usuário.

- f. Contorno de objeto: o objeto recebe um efeito de luminosidade, de modo que destaque na cena.
- g. Animação de esqueleto (12): este tipo de animação é criado em tempo de modelagem e fica contido no modelo 3D podendo ser carregado no sistema para fazer parte da ITV.
- h. Painel de texto da cena: um painel textual é mostrado e/ou escondido em tempos definidos pelo usuário. O painel é totalmente customizável, alterando-se parâmetros como tamanho da letra ou cor de fundo.

Cada uma destas animações pode estar em diferentes ou em um mesmo objeto ao mesmo tempo (exceto a animação de câmera e de painel textual que não estão vinculadas a nenhum objeto). A animação completa da ITV é composta de um ou mais passos. Estes passos são criados pelo usuário e possuem uma duração de tempo definida por este, de modo que ao término do tempo definido para um passo, o próximo passo é carregado e pode então ser animado. Um passo é composto por um cenário inicial e por animações que irão modificar este cenário. O cenário inicial de cada passo é o estado de cada objeto, da câmera e do painel textual no início de um passo da ITV. O estado de um objeto caracteriza-se por seu posicionamento, orientação, se possui ou não contorno, etc. A transição entre dois passos adjacentes pode ser feita de três maneiras:

- a. Transição normal: o próximo passo é carregado automaticamente de modo que não se percebe a passagem de um passo e outro.
- b. Transição fade: ao fim de um passo ocorre escurecimento da cena e no início do próximo passo ocorre o clareamento da cena. Este efeito é útil para demonstrar descontinuidades na animação.
- c. Transição mesh: ao fim de um passo, a ITV espera por uma interação do usuário (através do clique do mouse) com objetos do mundo virtual, de modo que, se o objeto correto for acionado, o próximo passo será carregado. Pode-se escolher um ou mais objetos da cena para serem os acionadores da transição.

O conceito de transição, em especial dá a ITV uma maior naturalidade, na medida em que fornece uma descrição visual do processo e de cada um de seus passos. Além disso, o tipo de transição mesh tem grande importância na interação do usuário no decorrer da IT. Por exemplo, se em um determinado processo uma bomba de óleo deve ser ligada manualmente pelo operador através do acionamento de uma chave. Este processo pode ser feito no sistema de autoria criando-se uma transição do tipo mesh, que ocorrerá quando o usuário interagir com a ITV clicando no objeto 3D que representa a chave de ligação da bomba. Esta característica torna a experiência de aprendizado do processo mais prática e realista. A Figura 2 mostra um diagrama que representa os conceitos e relações dos elementos da ITV descritos anteriormente.



Figura 2 – Diagrama da estrutura de animações de uma ITV

A interface principal do sistema de autoria pode ser vista na Figura 3. O ambiente 3D fica no centro da janela; o conjunto de linhas do tempo e seus marcadores situam-se acima do ambiente 3D; a lista de passos da ITV aparece no lado direito da janela e a lista de objetos da cena está no lado esquerdo da janela. Cada passo criado no projeto de uma ITV recebe um nome e uma miniatura de seu estado inicial que é apresentada em uma lista de passos na interface principal do programa. Esta lista permite uma fácil navegação pela ITV, pois o usuário pode deslocar-se para qualquer passo da animação com um simples clique sobre sua miniatura na lista. Como citado anteriormente, um passo possui um tempo de duração. Este intervalo de tempo é customizável e é representado por uma linha do tempo contendo marcadores de início e fim.

Cada passo possui uma linha do tempo própria, mais uma linha do tempo para cada objeto da cena, seja ele um objeto mesh, agrupador ou partícula. Esta distribuição se deve ao fato de que uma animação que modifica o estado de um objeto, estará representada em uma linha do tempo através de seus marcadores temporais, por exemplo: ao adicionar uma animação de transparência no objeto A em um passo P1, a linha de tempo A do passo P1 apresentará 2 marcadores, o marcador mais a esquerda (ocorrerá primeiro no tempo) representa o início do processo de mudança da transparência e o marcador mais a direita representa o fim do processo. Os marcadores poderão ser movimentados ao longo da linha do tempo, refletindo os novos valores temporais na animação. Outro exemplo é a adição de uma animação de câmera: cada adição de uma animação representa a posição da câmera e para onde ela está direcionada, sendo assim, adicionando-se três marcadores de animação de câmera em um mesmo passo, o produto final do passo será a câmera se deslocando por estes três pontos em ordem temporal.

Como há somente uma câmera na cena, os marcadores são adicionados em uma linha do tempo especial, única para cada passo. As linhas do tempo são elementos fundamentais no sistema de autoria, pois dão ao usuário uma maneira mais intuitiva, amigável e eficiente de configurar as animações da ITV, eliminando a necessidade do uso de scripts e até mesmo do teclado.

O sistema de autoria pode salvar um projeto da ITV em disco para ser utilizado posteriormente para edição ou para execução e possui algumas funções que facilitam a produção das instruções, como por exemplo, a ferramenta de espelhamento de um passo, a qual inverte o sentido das animações, muito útil em processos de montagem após uma desmontagem.

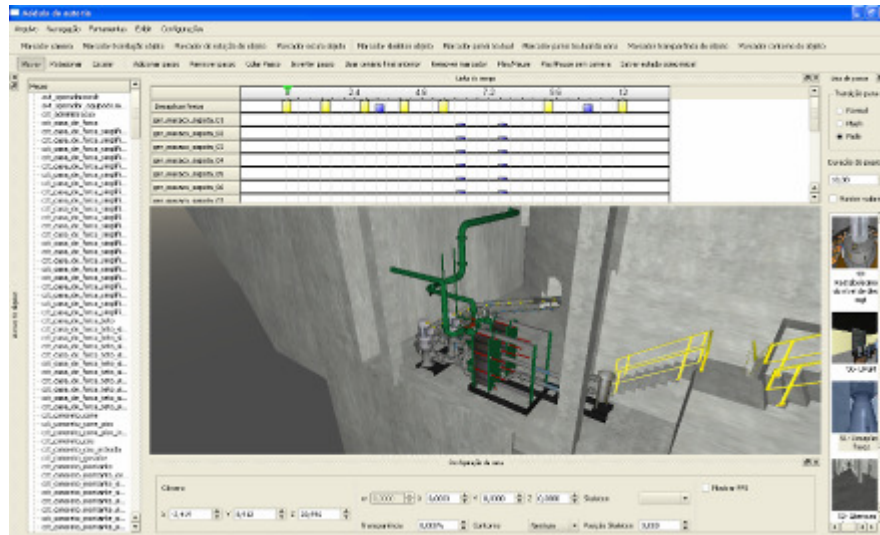


Figura 3 – Interface principal do sistema de autoria

4.1 Desenvolvimento

O sistema de autoria de instruções técnicas virtuais foi desenvolvido totalmente utilizando software livre: C++ foi a linguagem adotada, auxiliada pelo motor gráfico OGRE3D (11), e pelo framework de interface Qt (13). C++ é a linguagem mais popular quando se tratando de desenvolvimento de aplicações 3D (14). O Ogre3D trabalha manipulando outras bibliotecas gráficas de nível mais baixo (nível da GPU), como Direct3D e OpenGL, disponibilizando funções de nível mais alto sem a necessidade de programação no nível da GPU. Tendo em vista que o Ogre3D não oferece um bom suporte à interface para usuário, foi necessário o auxílio da biblioteca especializada Qt, que permitiu tanto o interfaceamento visual (por meio da GUI) como também não-visual, por meio de teclado e mouse.

O processo de desenvolvimento foi realizado em dois momentos. No primeiro, foram feitos os módulos de base estrutural e funcional do sistema, como o módulo de nó da cena 3D, com funções de animação e manipulação e o módulo do painel da cena 3D que permite a visualização do ambiente 3D em uma janela. No segundo momento, foram desenvolvidos os módulos que cuidam da criação do projeto da ITV. Dentre estes, destacam-se os módulos de passo da animação, que mantêm as informações do cenário inicial e das animações e o módulo de conjunto de linhas do tempo, que permite a manipulação das animações de um passo pelo usuário.

5.0 - MODELOS VIRTUAIS A PARTIR DO CAD

5.1 Criação de geometria

A grande maioria das peças da usina possui um desenho vetorial 2D em arquivos no formato DWG, que constituem as plantas projetadas pelos fabricantes. Esses desenhos são importantes para a modelagem dos objetos, uma vez que permitem a construção dos modelos com a precisão requerida. Os desenhos 2D são importados pelo software modelador 3D, servindo de base para os objetos tridimensionais a serem construídos. Vale ressaltar que esses desenhos não possuem uma escala única, ou seja, cada desenho possui uma escala própria, sendo necessário o devido ajuste.

5.2 Texturização

O processo de criação de texturas se deu principalmente por edição de fotografias da própria usina com o objetivo de obter o maior grau de realismo. Além de aumentar o realismo dos modelos, as texturas tiveram uma importante função também na otimização. As texturas podem substituir em algumas partes dos modelos, detalhes que deveriam ser modelados, caso não fossem usadas texturas.

5.3 Referências do ambiente 3D

Os desenhos 2D das plantas mostram apenas os detalhes particulares de uma peça individualmente, por meio de visões ortogonais frontais, laterais e superiores. Esses desenhos auxiliam a construção do modelo 3D e permitem que o objeto criado possua as dimensões exatas. As dimensões descritas nesses desenhos também podem estabelecer a escala de cada peça, mas não fornecem informações sobre o posicionamento das peças dentro da usina. Nesse contexto, foi necessário um método eficiente para determinar as posições das peças, de modo a facilitar a modelagem simultânea de diferentes regiões da usina e ao mesmo tempo servir como referência para todo o ambiente, facilitando possíveis correções ou adição de novas peças. A solução encontrada foi usar os desenhos 2D que representam a planta geral de toda a usina. Esses desenhos são cortes ortogonais da usina por completo, sem detalhamento de peças. Por serem desenhos vetoriais, a ampliação do foco de visualização não afeta a nitidez dos detalhes, permitindo que até mesmo parafusos sejam perfeitamente visíveis. Um desses desenhos é um corte vertical, mostrado na Figura 4, que representa a visão lateral da usina, todos os outros são cortes horizontais, representando cada um dos pavimentos.

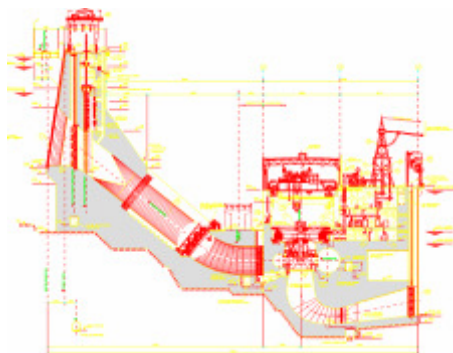


Figura 4 – Desenho Vetorial 2D do Corte Geral da Usina

6.0 - ESTUDO DE CASO

Como estudo de caso, utiliza-se uma ITO e uma ITM virtuais construídas através do sistema proposto. A ITO trata da partida de uma unidade hidrelétrica ou UHE. Uma UHE é composta por diversos equipamentos que se complementam. Entre esses equipamentos estão: o gerador, mancais, turbina, distribuidor, sistema de excitação, regulador de velocidade, comporta de tomada d'água, centralina, transformadores, regulador de tensão, dentre outros. Todos estes têm uma relação direta com a partida da UHE. Na partida, toda a seqüência operativa é feita através da tela do computador, que pela aquisição de dados enviados através de relés e outros dispositivos, mantém a informação das condições operativas de cada equipamento nos diversos estágios, e restitui as informações para os relés e dispositivos, os quais providenciam a seqüência automática da partida da máquina. O operador na maior parte do tempo fica no COU (centro de operação da usina), demonstrado na Figura 5, onde controla todo o processo interagindo com o computador através do teclado, mouse e telas do sistema de controle.

Logo no início do processo, o operador se dirige para a sala da centralina (onde aciona um botão para modo de partida remoto) e retorna para o COU, de onde passa a controlar o processo. A ITV da partida da máquina possui um avatar que representa o operador (usuário). O usuário interage com o computador (Figura 6) e a centralina. O resultado de sua ação são simulações da partida da unidade, sendo exibida uma animação tridimensional (Figura 7) com informações detalhadas e necessárias para a execução de manobras de partida, realizadas por meio de procedimentos corretos, o que assegura o perfeito desempenho dos equipamentos envolvidos.

Todos os equipamentos envolvidos na partida, assim como a construção civil do COU e das salas onde os equipamentos são instalados, de uma usina Hidrogeradora real foram modelados. A descrição da ITO real de partida também foi fornecida pela empresa, que está financiando o projeto. Ela começa com a condição da máquina entregue para operação, e passa por diversos estágios até a energia elétrica começar a ser gerada e ser entregue para as linhas de transmissão (Figura 8).

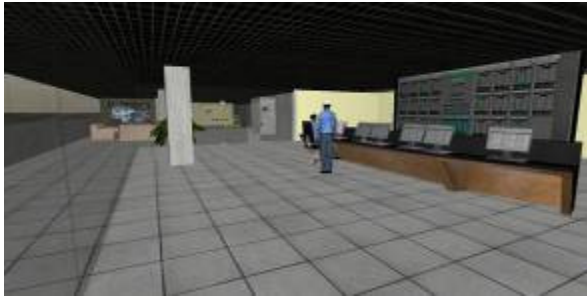


Figura 5 – Centro de Operações da Usina Virtual

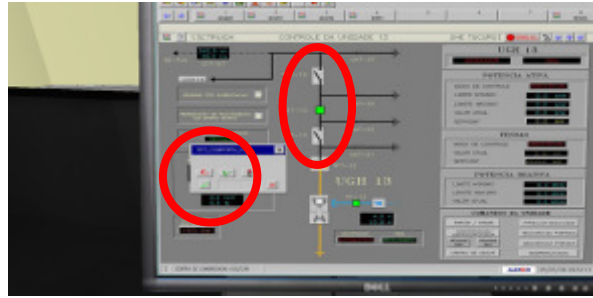


Figura 6 – Tela de controle da unidade. A área marcada possui interação com o usuário



Figura 7 – Abertura das palhetas diretrizes

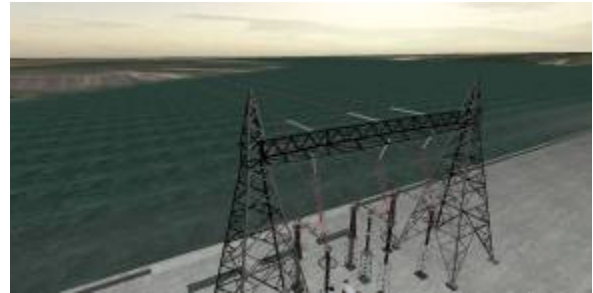


Figura 8 – Linha de Transmissão

A ITM escolhida foi a Desmontagem e Montagem do Mecanismo de Movimentação das Palhetas Diretrizes. Todas as peças foram modeladas à partir de plantas 2D (arquivos DWG), e são centenas, desde parafusos até grandes peças como bielas e manivelas. A ITM começa com as pré-condições (condições iniciais que devem ser satisfeitas antes da manutenção ocorrer de modo a garantir a segurança e eficiência no trabalho), como colocação de STOP-LOGs para a drenagem da água da caixa espiral (Figura 9), e a entrada de mantenedores na caixa espiral para medir a folga das palhetas diretrizes (Figura 10). Depois os mantenedores se dirigem para o local onde vão desmontar o mecanismo (Figura 11). A Figura 12 mostra o mecanismo a ser desmontado. A ITV gerada possui três modos de execução (2,3): animação, guiado e livre. No modo de animação o usuário acompanha a execução da manutenção, observando as ações no mundo virtual. No modo guiado, a descrição das ações aparece na tela, porém o usuário deverá realizá-las usando o mouse. No modo livre, o sistema apenas acompanha a execução das ações, informando se houver algum erro.



Figura 9 – Colocação de Stop-Logs da Jusante

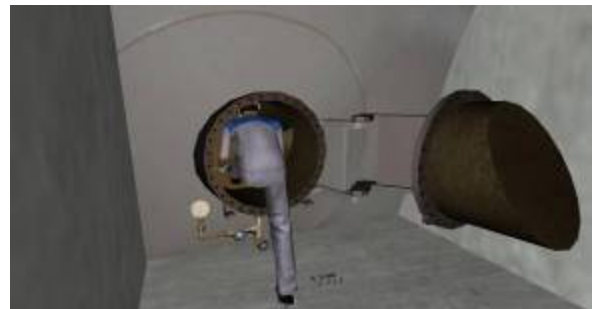


Figura 10 – Mantenedor entrando na caixa espiral



Figura 11 – Mantenedores se dirigem para o local

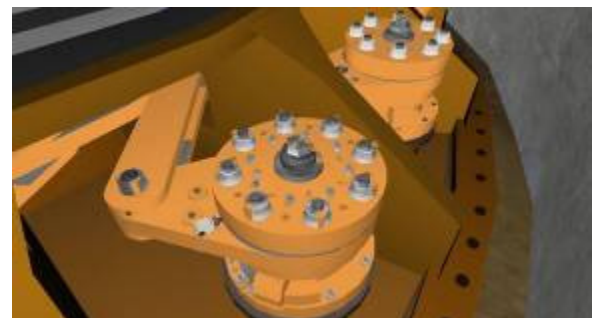


Figura 12 – Mecanismo a ser desmontado

7.0 - CONCLUSÕES

Este artigo apresentou uma inovação na área de treinamento de operadores e mantenedores de unidades geradoras de usinas hidrelétricas, que são as ITVs, Instruções Técnicas Virtuais. O número das instruções técnicas de operação, e manutenção de uma unidade geradora são na casa das três centenas. Para facilitar a produção das ITVs pelo corpo técnico foi produzido um sistema de autoria, que mostrou-se eficaz no desenvolvimento das ITVs.

A referência (4) apresenta sete características que sistemas de autoria para construções de módulos de manutenção industrial baseados em Realidade virtual devem possuir, sendo que os autores não apresentam uma implementação da proposta. O sistema aqui apresentado, possui seis dessas características, e o resultado obtido na produção das duas ITVs, uma de operação e outra de manutenção demonstra a eficácia da proposta. As duas ITVs estão em fase de implantação na empresa de produção de energia elétrica, que está financiando essa pesquisa. Atualmente a equipe do projeto está em fase de produção de mais oito ITVs, escolhidas para implantação pela Eletronorte.

O resultado alcançado foi uma maior confiabilidade das intervenções por parte dos mantenedores e operadores, uma melhoria do capital intelectual e do treinamento gerencial. Obteve-se um retorno prático dos mantenedores e operadores da instalação quanto a facilidade e didática dos usuários no espaço virtual, através de treinamento da sua aplicação, visualizando, manipulando e explorando objetos e dados virtuais (com interações em tempo real), que representam objetos e dados reais manipulados pelos técnicos em seu dia-a-dia, conseguindo assim promover ações e soluções de melhorias, capazes de aumentar a disponibilidade de geração e maximizar os resultados definidos em conformidade com às práticas e padrões de trabalho de excelência da empresa.

8.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Kiameh, P. Power Generation Handbook. McGraw Hill Professional, 1 Edition 494 p. August, 2002.
- (2) Blumel, E. ; Schenk, M.; et al. "Technology Enhanced Training at Workplace: A Virtual Reality Based Training System for the Technical Domain. In: 1st International Conference on EBusiness and E-Learning Proceedings, ISBN 9957-8585-0-5, p. 57-62, 2005.
- (3) Marcos P. A. Sousa, Alcides P. Junior, Manoel R. Filho, Felipe Vaz Reis, Pebertli N. A. Barata, Marcelo S. Hounsel, Um Ambiente de Treinamento de Manutenção em uma Unidade Hidrelétrica de Energia Usando Realidade Virtual desktop, IX Symposium on Virtual Reality and Augmented Reality, p. 286-294, SVR2007, Petrópolis.
- (4) Oliveira, D.M. Cao, S.C. Hermida, X.F. Rodriguez, F.M. "Virtual Reality System for Industrial Training". IEEE International Symposium on Industrial Electronics, ISBN: 978-1-4244-0755-2, pp. 1715-1720, 2007.
- (5) Corseuil, E. T. L., Raposo, A. B. et al. : "ENVIRON – Visualization of CAD Models In a Virtual Reality Environment. In Eurographics Symposium on Virtual Environments (EG-VE)". pp. 79-82, 2004.
- (6) Vilhena, P. R. de, Lopes, A.C. Nunes, M.V.A., Ribeiro Filho, M., Barata, P. N..A., "Utilizando Técnicas de Realidade Virtual para o desenvolvimento da partida, parada e funcionamento de uma unidade hidrogeradora integrada em um sistema elétrico. XIX SNTPEE – Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, realizado de 14 a 17 de outubro de 2007 na cidade do Rio de Janeiro.
- (7) Pomares, J.; et all. "Virtual disassembly of products based on geometric models". Journal Computers in Industry, vol. 55, p. 1-14, 2004.
- (8) WANG, Qing-Hui; LI, Jing-Rong. "Interactive visualization of complex dynamic virtual environments for industrial assemblies". Journal Computers in Industry, ISSN 0166-3615, vol. 57, no 4, p. 366-377, 2006.
- (9) Guo, J., et al. "Visualization of a Hydro-Electric Generating Unit And Its Applications". Systems, Man and Cybernetics, 2003 IEEE International Conference. Vol. 3, p. 2354-2359, 2003.
- (10) Angelov, A. N. Styczynski, Z. "A Computer-aided 3D Virtual Training in Power System Education". IEEE Power Engineering Society General Meeting, 2007, ISSN: 1932-5517, pp.1-4, 2007.
- (11) Junker, G., Pro Ogre 3D Programming, Apress, USA, 2006.
- (12) Clinton, Y., Game Character Modeling and Animation with 3ds Max, Focal Press, USA, 2007.
- (13) Blanchette, J. and Summerfield, M., C++ GUI Programming with Qt 4, Prentice Hall, USA, 2006.
- (14) Deitel, H. and Deitel, P., C++ How to Program, 6ª edição, Prentice Hall, USA, .