



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

GSE 27
14 a 17 Outubro de 2007
Rio de Janeiro - RJ

GRUPO VIII

GRUPO DE ESTUDO DE SUBESTAÇÕES E EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS

DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA BASEADO EM CAD - 3D E REALIDADE VIRTUAL APLICADO A ATIVIDADES EM SUBESTAÇÕES DE ENERGIA ELÉTRICA - ESTUDO DE CASO DA SUBESTAÇÃO DE JACAREPAGUÁ - RJ

**Carlos Eduardo Felsky Filho Daniele Felix Zandoná Mauricio Müller
Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento - LACTEC
Clarice S. Suetsugu Renato Santos Norbert Costa Enio M. Sveiter Flávio Palhares Peixoto
FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A.**

RESUMO

Este trabalho apresenta o estudo e o desenvolvimento de sistema baseado em CAD 3D e Realidade Virtual aplicado as atividades de projetos de subestação que possibilitam a visualização de interferências, estudo de espaçamento e substituição de equipamentos, ampliação e construção de subestações e projetos de iluminação. O desenvolvimento de sistemas confiáveis para simulação de instalação, substituição de equipamentos e infra-estruturas, ampliação e construção de novas subestações com recursos de visualização do realismo representa um ganho significativo na redução de custos, confiabilidade e otimização de recursos.

PALAVRAS-CHAVE

Realidade Virtual, Mapeamento 3D, Subestações de Energia Elétrica

1.0 - INTRODUÇÃO

O uso de Realidade Virtual (RV) representa um novo paradigma no que diz respeito a interfaces para sistemas interativos de visualização, possuindo aplicações nos vários ramos da ciência e da engenharia. Sistemas de RV têm sido utilizados com diversas finalidades (revisão de projeto, simulações em robótica, treinamento, etc.), e beneficiado importantes empresas como petrolífera, de energia, aeronáutica e automobilística. Novas aplicações para esta tecnologia dependem essencialmente da criatividade de seus desenvolvedores.

Um sistema de RV pode ser aplicado, por exemplo, a atividades em subestações de energia, como uma ferramenta para visualização de geometrias e de informações diversas sobre equipamentos e outros objetos nelas presentes. Modelos digitais tridimensionais (3D) de engenharia, concebidos em sistemas do tipo CAD (Computer Aided Design), podem ser convertidos para o formato VRML (Virtual Reality Modeling Language) e visualizados utilizando-se desde sofisticados sistemas de RV até aplicações rodando em simples desktops. Em alguns sistemas de RV o usuário pode "navegar" em um modelo e interagir com ele obtendo a sensação de imersão, ou seja, estar "dentro" do ambiente virtual. Para aumentar a imersão, dispositivos especiais de entrada e saída de dados, como óculos para visão estereoscópica e luvas de dados (data gloves), podem ser utilizados. A navegação exploratória em ambiente virtual e a visualização interativa de conteúdo 3D aumentam a capacidade do usuário em extrair informações sobre grandes modelos e/ou conjuntos de dados complexos. Dessa forma, um sistema de RV pode ser usado para auxiliar em diversas atividades, como por exemplo, no caso de subestações, no planejamento de ampliações ou transporte de equipamentos e em projetos de iluminação, aplicações essas que serão apresentadas neste Informe Técnico.

2.0 - REALIDADE VIRTUAL

A realidade virtual é uma técnica avançada de interface, onde o usuário pode realizar imersão, navegação e interação em um ambiente sintético tridimensional gerado por computador. A interface com realidade virtual envolve um controle tridimensional altamente interativo de processos computacionais. O usuário entra no espaço virtual das aplicações e visualiza, manipula e explora os dados da aplicação em tempo real. A grande vantagem desse tipo de interface é que o conhecimento intuitivo do usuário a respeito do mundo físico pode ser transferido para manipular o mundo virtual.

A realidade virtual também pode ser considerada como a junção de três idéias básicas : imersão, interação e envolvimento. Isoladamente, essas idéias não são exclusivas de realidade virtual, mas aqui elas coexistem.

A idéia de imersão está ligada à sensação de se estar dentro do ambiente. Normalmente, um sistema imersivo é obtido com o uso de capacete de visualização, mas existem também sistemas imersivos baseados em salas com projeções das visões nas paredes, teto, e piso. Além do fator visual, os dispositivos ligados com os outros sentidos também são importantes para o sentimento de imersão, como som, posicionamento automático da pessoa e de seus movimentos, controles reativos, etc. A visualização tridimensional através de monitor é considerada não imersiva. A idéia de interação está ligada com a capacidade do computador detectar as entradas do usuário e modificar instantaneamente o mundo virtual e as ações sobre ele (capacidade reativa). As pessoas gostam de ficar cativadas por uma boa simulação e de ver as cenas mudarem em resposta aos seus comandos.

A idéia de envolvimento, por sua vez, está ligada com o grau de motivação para o engajamento de uma pessoa com determinada atividade. O envolvimento pode ser passivo, como ler um livro ou assistir televisão, ou ativo, ao participar de um jogo com algum parceiro. A realidade virtual tem potencial para os dois tipos de envolvimento ao permitir a exploração de um ambiente virtual e ao propiciar a interação do usuário com um mundo virtual dinâmico.

A modelagem de mundos virtuais é de fundamental importância num sistema de realidade virtual, definindo as características dos objetos como: forma; aparência; comportamento; restrições; e mapeamento de dispositivos de Entrada e Saída.

3.0 - MAPEAMENTO DIGITAL A LASER TERRESTRE

Para a verificação da aplicabilidade da tecnologia, definiu-se como subestação piloto, a SE de Jacarepaguá – RJ. Como essa subestação não possuía o modelo 3D, seria necessária a aquisição de dados tridimensionais, sendo escolhida a tecnologia de Mapeamento Digital a Laser terrestre, para esse fim. Esta tecnologia tem como produto uma nuvem de pontos densa e com precisão milimétrica, através da qual é realizada a modelagem em elementos 3D sólidos. Os modelos 3D são computacionalmente mais leves, fáceis de manipular, intercambiáveis entre softwares CAD e de realidade virtual, além de serem mais fáceis de visualizar.

O sistema de varredura laser é um sistema usado para a determinação da posição tridimensional dos pontos de uma superfície utilizando um sistema de varredura bidimensional. Seu funcionamento baseia-se na utilização de um feixe de laser (LASER: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiance) que é disparado na direção da superfície. Ao atingir a superfície, parte deste sinal é refletido na direção do sensor, onde é medido junto com o tempo decorrido entre a emissão e a captação do retorno. A partir do tempo decorrido entre a emissão e o registro do retorno, a distância entre o sensor e o objeto é calculada. Junto com esse tempo, a intensidade do retorno também é medida, pois ela oferece informações a respeito das características da superfície naquele ponto.

Foram escaneados todos os elementos da subestação, incluindo as tubulações, barramentos, equipamentos (transformadores, disjuntores, seccionadores, entre outros), estruturas metálicas e as estruturas civis (muros, canaletas, colunas, trilhos, etc).

4.0 - APLICATIVO

Com o intuito de validar a utilização de técnicas de realidade virtual, definiu-se que se trabalharia com a técnica do CAD 3D para visualização, modelagem dos elementos da subestação e desenvolvimento de aplicativos. O CAD 3D tem como principal característica a construção e manipulação de modelos com precisão e descrições matemáticas (como parametrização), baseados em objetos reais, além de possuir bibliotecas para desenvolvimento de interfaces e customizações. Nesse ambiente foram desenvolvidos aplicativos de iluminação e movimentação que serão descritos a seguir.

4.1 Iluminação

Para projetos de iluminação em subestações de energia, um adequado dimensionamento da iluminação é importante por melhorar as condições de trabalho, reduzir riscos de acidentes e o consumo de energia. Um sistema de RV aplicado ao planejamento de iluminação pode prover uma interface intuitiva, de fácil utilização, e também uma visualização 3D interativa e imersiva dos campos de iluminâncias.

4.1.1 Processamento do Método Ponto-a-Ponto

Dentre os diversos métodos utilizados em luminotécnica, foi escolhido para esse projeto, o método ponto-a-ponto. O método ponto-a-ponto é o mais indicado para dimensionamento da iluminação direta em áreas externas [3], sendo este o caso de uma subestação. Através deste método, obtém-se a iluminância realizada por uma ou mais fontes de luz, em qualquer ponto desejado ou em uma malha de pontos.

Para se aplicar o método ponto-a-ponto é preciso conhecer as características fotométricas de cada uma das fontes de luz, geralmente fornecidas pelos fabricantes. Para cada fonte de luz utilizada no projeto, os dados fotométricos que serão computados no cálculo estão contidos em um arquivo IES (Illuminating Engineering Society) correspondente. O arquivo é um padrão internacional para transferência de informações fotométricas.

Também são necessárias as informações geométricas do sistema de iluminação, ou seja, a localização e direção de foco de cada luminária e as coordenadas dos pontos da malha. Dessa maneira, um programa para processar o método ponto-a-ponto deverá receber estas informações como entrada (Figura 1).

O método ponto-a-ponto consiste em se obter o valor da iluminância total que incide em cada ponto de interesse através da aplicação da Lei de Lambert (lei do inverso do quadrado da distância). A implementação do método requer o conhecimento da distribuição fotométrica de cada fonte de luz cuja parte da intensidade luminosa emitida atinja o ponto diretamente. A maioria dos catálogos dos fabricantes de luminárias apresenta os dados de intensidade para 2 direções principais, 0-180° (longitudinal) e 90°-270° (transversal), através do gráfico da CDI (Curva de Distribuição de Intensidades) que são duas curvas contínuas em um sistema de coordenadas polar ou cartesiano. Como a entrada destes dados é feita de forma discretizada (tabela), para que seja possível calcular a intensidade em qualquer ponto, é necessário interpolar estes pontos e obter os valores intermediários. Para a interpolação dos dados de intensidade luminosa foi utilizado o método de Splines Cúbicas.

A iluminância resultante em um ponto P sobre uma superfície qualquer é dada pela equação 1:

$$E_{total} = \sum_{i=1}^N E_i$$

onde:

N = número de fontes de luz;

E_i = iluminância realizada pela fonte de luz i no ponto P.

A iluminância E_i realizada por cada fonte de luz, individualmente, é dada pela equação 2:

$$E_i = \frac{I \cos \gamma}{d^2}$$

onde:

I = intensidade luminosa que a fonte de luz i emite na direção do ponto P;

γ = ângulo entre a normal da superfície considerada e a direção do ponto P;

d = distância entre a fonte de luz e o ponto P.

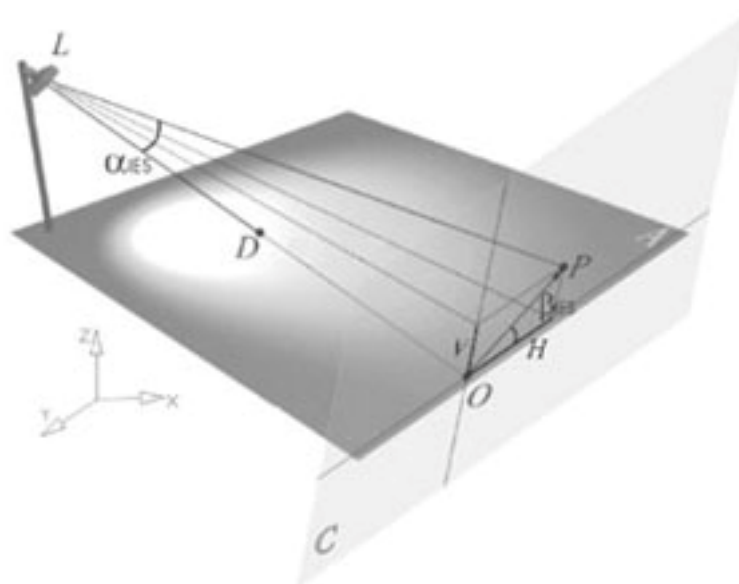


Figura 1 – Esquema de montagem de uma luminária: L=ponto de instalação, D=direção de foco, P=ponto de interesse, α_{IES} =Cálculo do ângulo α , e β_{IES} =Cálculo do ângulo β .

A intensidade I que uma fonte de luz emite em uma determinada direção, é dada pela distribuição fotométrica desta fonte de luz e varia para cada modelo de luminária e lâmpada utilizada. A distribuição fotométrica de uma fonte de luz é obtida através de medições em laboratório e geralmente fornecida pelo fabricante em diferentes formas: tabelas, diagramas, gráficos ou arquivos digitais. O uso de curvas fotométricas digitalizadas e padronizadas (IES) permite a automatização da consulta da intensidade luminosa durante o processamento dos cálculos, o que facilita o processo e o torna mais rápido e dinâmico do que quando feito manualmente.

O algoritmo desenvolvido recebe como dados de entrada o “esquema” de iluminação montado ou concebido (modelos das fontes de luz, posição e foco de cada uma e a malha escolhida) e fornece como saída um arquivo que contém valores de iluminância para os pontos da malha (2D ou 3D). A malha usada neste trabalho é estruturada e retangular, pois esta estrutura permite a geração de imagens a partir da malha 2D usando o VTK e, dessa forma, possibilita a geração de texturas para a representação final dos dados, o que melhora a performance de visualização. O arquivo gerado pelo algoritmo tem o formato Legacy (ASCII) do VTK, permitindo assim a sua interpretação por outros aplicativos ou algoritmo de visualização baseados no VTK. Abaixo temos uma descrição do algoritmo desenvolvido:

1. Escolher um conjunto lâmpada/luminária na base de dados;
2. Entrar com o ponto $L(X_L, Y_L, Z_L)$ em que a luminária está instalada;
3. Entrar com o ponto $D(X_D, Y_D, Z_D)$ de foco;
4. Voltar para 1 até que todas as luminárias sejam instaladas;
5. Entrar com o ponto $P(X_P, Y_P, Z_P)$ onde se deseja saber a iluminância;
6. Obter os ângulos α_{IES} e β_{IES} correspondente à primeira luminária;
7. Consultar o arquivo IES da luminária e obter o valor de intensidade I referente à direção do ponto P;
8. Calcular a iluminância por meio da equação 2;
9. Repetir os passos 6 até 9 para cada luminária $i=2, 3, 4, \dots, n$;
10. Somar os valores de iluminância exercidas por cada luminária no ponto P usando a equação 1. O resultado é a iluminância total no ponto P, dada em lux.

Fez parte do desenvolvimento do módulo de iluminação, uma análise de obstrução da luz causada por equipamentos presentes na subestação, através da implementação de algoritmo próprio que realiza o cálculo e projeção de sombras.

4.1.2 Integração com CAD 3D

O processamento numérico para o cálculo das iluminâncias, requer algumas informações de entrada. Estas informações são sobre as características geométricas dos equipamentos utilizados, a configuração geométrica do esquema projetado, ou seja, a localização de cada fonte de luz, seu posicionamento, e também, as características da malha, que fornecerá as coordenadas dos pontos. Sendo utilizado um sistema CAD 3D como interface para a criação do esquema de iluminação, ou seja, para a escolha, inserção e direcionamento das fontes de luz. O

ambiente CAD 3D permite criar o esquema de iluminação capturando as coordenadas dos pontos no espaço 3D em que serão instaladas as fontes de luz e também a direção para onde focalizam.

Através da customização foi possível criar funcionalidades para acessar e editar uma base de dados com modelos de fontes de luz (conjunto lâmpada/luminária), e assim, inserir e direcionar diversas luminárias no modelo da subestação de forma intuitiva, fazendo uso de funcionalidades do CAD, como ferramentas para extração de medidas.

Foram adotadas quatro subdivisões para o software desenvolvido. A primeira, cobrindo o cadastro de informações acerca dos conjuntos lâmpada-luminária em banco de dados SQL. A segunda, compreendendo a montagem do esquema que será carregado no algoritmo ponto-a-ponto, incluindo a definição das coordenadas e escolha dos conjuntos utilizados. A terceira subdivisão trata do processamento do método ponto-a-ponto e a quarta e última subdivisão, cobre a visualização dos resultados no ambiente CAD 3D.

Com relação à primeira divisão, foi estendida a GUI (Graphics User Interface) do software SolidWorks (SW) utilizando a API (Application Programming Interface) de desenvolvimento do pacote CAD 3D, disponível com o software. Foram desenvolvidas páginas (interfaces adicionais do SolidWorks) para o cadastro separado de lâmpadas, luminárias, conjuntos lâmpada-luminária e também informações adicionais, como lista de fabricantes (ambivalentes quanto a lâmpadas e luminárias), lista de bases (compatível com a soquete da luminária) e lista de tipos de lâmpadas.

A montagem do esquema, sendo a segunda divisão, utilizou os recursos do CAD 3D para a captação dos pontos. Foi criada uma página para a escolha do conjunto lâmpada-luminária, definição do nome e escolha do ponto de origem e ponto de foco. Dentro desta página é possível salvar e carregar esquemas de iluminação. A captação dos pontos é feita de forma automática e dá origem aos valores de coordenadas que serão utilizados no algoritmo ponto-a-ponto.

A terceira etapa consiste na transferência das coordenadas das posições de direções de foco das fontes de luz utilizadas no projeto, obtidas a partir do software CAD 3D, para o algoritmo do método ponto-a-ponto, o qual é executado de forma transparente ao usuário. Os resultados são salvos como um arquivo VTK para posterior visualização. A quarta etapa consiste na leitura do arquivo VTK e visualização dos resultados sobre o plano selecionado através de um mapeamento de cores.

A figura 2 mostra o resultado de uma simulação de iluminação em uma parte da subestação.

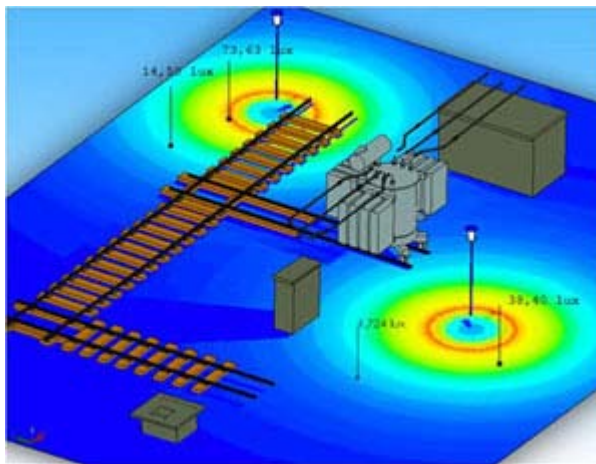


Figura 2 – Resultado de uma simulação de iluminação e visualização dos valores de lux de alguns pontos.

4.2 Movimentação

A atividade de movimentação de equipamentos em subestações é necessária quando da realização de uma manutenção, remoção de grandes equipamentos ou para a ampliação da subestação. Simular o melhor caminho ou a especificação mais precisa das dimensões do equipamento para substituição, pode se traduzir em uma redução de custos e otimização de recursos, além de uma otimização no aproveitamento da área de construção da subestação.

O objetivo desse módulo é permitir a simulação de movimentação dos equipamentos, transportes e pessoas, substituição de equipamentos, ampliação da subestação, onde são analisadas as interferências e colisões com outros equipamentos, considerando as distâncias críticas de segurança. São consideradas também a utilização de

caminhões, simulando, inclusive, a movimentação dos braços mecânicos, conforme é apresentado na figura 3.

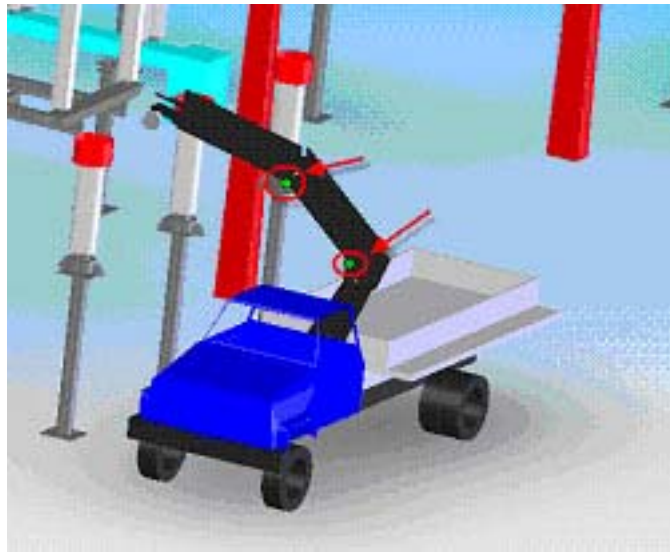


Figura 3 – Simulação do braço mecânico de um caminhão

Para simular as condições reais de movimentação em uma subestação de energia, é necessário considerar a faixa de segurança, devido aos outros equipamentos estarem energizados. Sendo assim, o software foi customizado de forma, que ao movimentar um equipamento, sejam geradas faixas de segurança ao redor dos outros equipamentos e cabos energizados, conforme pode ser visto na figura 4. O tamanho da faixa de segurança varia de acordo com a tensão dos equipamentos e barramentos (ou da subestação). Para se aferir a faixa de segurança foi utilizado o recurso de cálculo de colisão com outros equipamentos.

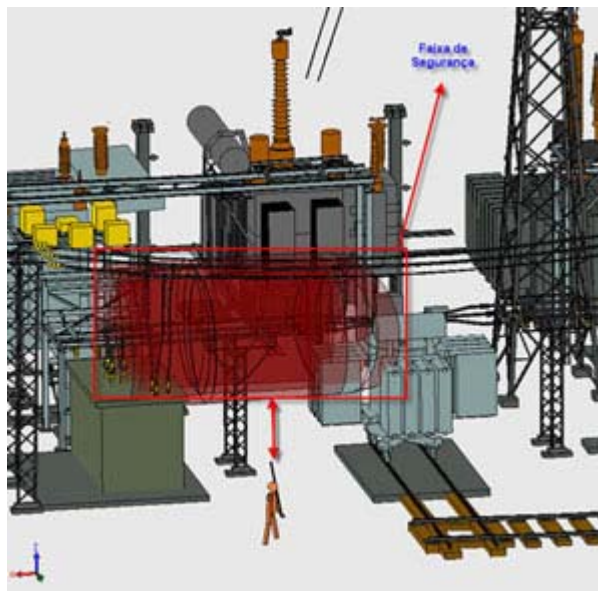


Figura 4: Visualização da faixa de segurança na simulação da movimentação de um técnico.

Devido as especificidades de movimentação de equipamento em subestações foram implementadas quatro opções de movimentação, que serão descritas a seguir, desabilitando a opção de movimentação livre, nativa do software:

- Movimentação por trajeto;
- Movimentação por trilho;
- Movimentação por estrada e

- Rotação.

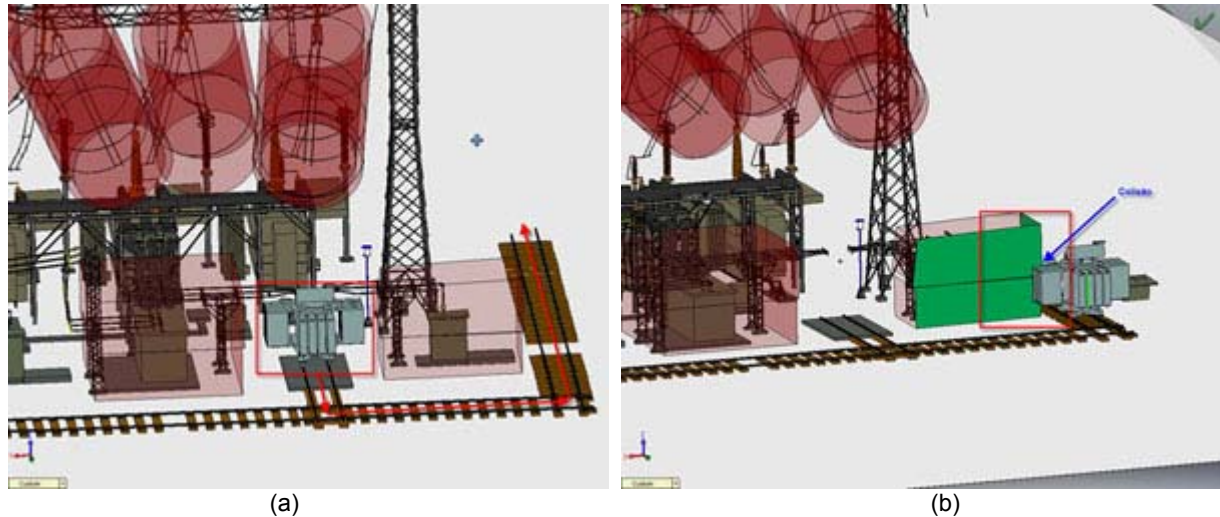
4.2.1 Movimentação por trajeto

Através dessa opção o usuário descreve o trajeto no qual o equipamento irá realizar, selecionando os pontos de interesse de forma tridimensional, ou através de coordenadas digitadas.

4.2.2 Movimentação por trilho

Essa opção permite simular a movimentação de equipamentos através de trilhos. O usuário seleciona os trilhos no qual o equipamento irá se mover. Para essa opção é muito importante a modelagem da subestação, pois os trilhos devem estar modelados e classificados com tal.

A figura 5 mostra e exemplo de uma simulação:



- (a) Usuário seleciona o equipamento e define o trajeto através dos trilhos
 (b) Equipamento colide com a faixa de segurança de outro equipamento

Figura 5: Exemplo de movimentação por trilho

4.2.3 Movimentação por estrada

Essa opção foi desenvolvida principalmente para simular a movimentação de um caminhão pela subestação. O usuário seleciona os pontos na estrada por onde o equipamento ou o caminhão irão se movimentar.

4.2.4 Rotação

Permite a rotação de um equipamento em torno do seu próprio eixo.

5.0 - CONCLUSÃO

Os resultados obtidos com o desenvolvimento dos módulos de iluminação e movimentação mostraram a aplicabilidade e capacidade de se associar rotinas computacionais em um ambiente tridimensional que permitam a execução de aplicações nas áreas de projeto, transporte e treinamento de operadores, de maneira segura, precisa e com a possibilidade da avaliação de vários cenários de intervenção. Com o intuito de se continuar a pesquisar as aplicabilidades da realidade virtual nas atividades de uma subestação, está sendo desenvolvido o módulo de campos elétrico e magnético, aonde será possível visualizar os campos em três dimensões e verificar o adequado funcionamento dos equipamentos e as situações de risco dos operadores em ambientes de campo elétrico e magnético intensos.

Como próximo passo da expansão deste projeto pretende-se modelar todos os equipamentos das subestações de FURNAS, com o objetivo de ampliar a utilização desses aplicativos a outras subestações. Também está previsto o desenvolvimento dos módulos de cálculo de malha de terra e cálculo de simulação de blindagem de descargas atmosféricas em subestações integrando as aplicações já desenvolvidas num único ambiente.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) BURDEA, G.; COIFFET, P... Virtual Reality Technology, Wiley – Interscience, New Jersey, 2003.
- (2) HELWIG, L. D.. “Using a VRML Interface to Access Substation Engineering Design and Standards Information”, DistribuTECH 2002, Miami, 2002.
- (3) MARINOSKI, D. L.; WESTPHAL, F. S.; LAMBERT, R. “Desenvolvimento de um algoritmo de cálculo luminotécnico para ambientes internos através do método ponto-a-ponto”, In: VII Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído, 2003, Curitiba, PR. Anais do ENCAC-COTEDI 2003, 2003, pp. 1066-1073.
- (4) BURIOL, Tiago Martinuzzi. Processamento e visualização de campos em ambientes virtuais e sistemas CAD 3D aplicados a projetos de iluminação em subestações. Dissertação de Mestrado. UFPR. Curitiba - PR, 2006.
- (5) BURIOL, Tiago Martinuzzi ; MIRANDA, Marlos F. ; SCHEER, Sérgio ; TOWS, Guilherme S. ; ZANDONÁ, Daniele F. . Processamento e Visualização de Campos de Iluminâncias Utilizando VRML e Integração com CAD 3D. In: Simpósio Brasileiro de Realidade Virtual - SVR, 2006, Belém.
- (6) BURIOL, Tiago Martinuzzi ; SCHEER, Sérgio . Integração de Processamento Numérico e Visualização Científica com Sistema de CAD 3D com Aplicação em Projetos de Iluminação. In: Iberian Latin American Congress on Computational Method in Engineering, 2006, Belém.
- (7) BURIOL, Tiago Martinuzzi ; MIRANDA, Marlos F. ; TOWS, Guilherme S. ; ZANDONÁ, Daniele F. ; SCHEER, Sérgio . Interface 3D Aplicada à Visualização de Informações de uma Subestação de Energia Armazenadas em Banco de Dados. In: WARV'05 - Workshop de Aplicações de Realidade Virtual, 2005, Uberaba.
- (8) ZANDONÁ, Daniele F.; MIRANDA, Marlos F. ; MÜLLER, Mauricio; FELSKY FH, Carlos E.; Relatório Inicial sobre Realidade Virtual. Relatório Técnico. Curitiba - PR. 2004.
- (9) ZANDONÁ, Daniele F.; MIRANDA, Marlos F. ; MÜLLER, Mauricio; FELSKY FH, Carlos E.; Análise de Softwares para Realidade Virtual. Relatório Técnico. Curitiba - PR. 2004.
- (10) ZANDONÁ, Daniele F.; MIRANDA, Marlos F. ; MÜLLER, Mauricio; FELSKY FH, Carlos E.; Comparativo entre CAD 3D e Realidade Virtual. Relatório Técnico. Curitiba - PR. 2005.
- (11) ZANDONÁ, Daniele F.; MIRANDA, Marlos F. ; MÜLLER, Mauricio; FELSKY FH, Carlos E.; Algoritmos de Colisão de EON 5. Relatório Técnico. Curitiba - PR. 2005.
- (12) BURIOL, Tiago Martinuzzi; ZANDONÁ, Daniele F.; MIRANDA, Marlos F. ; MÜLLER, Mauricio; FELSKY FH, Carlos E.; Método de Interpolação das Curvas de Intensidade Luminosa . Curitiba - PR. 2005.

7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Carlos Eduardo Felsky Filho

Nascido em Curitiba, PR em 27 de setembro de 1980.

Graduação (2001) em Ciência da Computação: PUC-Paraná

Empresa: LACTEC, desde 2003

Pesquisador da Divisão de Geossoluções do Departamento de Recursos Ambientais