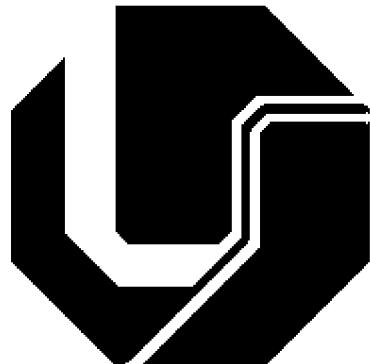


UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



**Sistema de Apoio a Programação de Intervenções no
Sistema Elétrico de Transmissão Baseado em Realidade
Virtual**

Paulo Roberto Moreira do Prado

**Setembro
2016**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

P896s
2016

Prado, Paulo Roberto Moreira do, 1962-
Sistema de apoio a programação de intervenções no sistema elétrico
de transmissão baseado em realidade virtual / Paulo Roberto Moreira do
Prado. - 2016.
67 f. : il.

Orientador: Alexandre Cardoso.
Coorientador: Edgard Afonso Lamounier Júnior.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.
Inclui bibliografia.

1. Engenharia elétrica - Teses. 2. Interfaces de usuário (Sistema de
computador) - Teses. 3. Realidade virtual - Teses. 4. Sistemas de energia
elétrica - Teses. I. Cardoso, Alexandre, 1964-. II. Lamounier Júnior,
Edgard Afonso, 1964-. III. Universidade Federal de Uberlândia.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. IV. Título.

CDU: 621.3

**Sistema de Apoio a Programação de Intervenções no Sistema
Elétrico de Transmissão Baseado em Realidade Virtual**

Paulo Roberto Moreira do Prado

Texto apresentado à Universidade Federal de Uberlândia como parte dos
requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Prof. Alexandre Cardoso, Dr.

Orientador

Prof. Edgard A. Lamounier Jr, PhD.

Coorientador

Prof. Dr. Darizon Alves Andrade

Coordenador do Curso de Pós-Graduação

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

**Sistema de Apoio a Programação de Intervenções no Sistema Elétrico de
Transmissão Baseado em Realidade Virtual**

Paulo Roberto Moreira do Prado

Texto apresentado à Universidade Federal de Uberlândia, perante a banca de examinadores abaixo, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Banca Examinadora:

Prof. Alexandre Cardoso, Dr. – Orientador (UFU)

Prof. Edgard Afonso Lamounier Jr, PhD – Coorientador (UFU)

Prof. José Remo Brega, Dr. – Examinador Externo (UNESP)

Prof. José Rubens Macedo, Dr. – (UFU)

Prof. Gerson Flávio Mendes de Lima, Dr. – (CGW)

Agradecimentos

À minha esposa e filhos pelo apoio, paciência e compreensão pelas muitas ausências.

Aos meus pais pela minha educação.

Aos meus amigos do Lab-CG UFU, por toda ajuda durante este período e pela dedicação nos desenvolvimentos do projeto de P&D que conduzimos juntos.

Ao meu orientador Professor Alexandre Cardoso, por toda ajuda, confiança e pelo pensamento sempre positivo na busca de melhores soluções de pesquisa.

Ao Professor Edgard Afonso Lamounier Jr por sua sabedoria e coerência durante as orientações.

Ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia, em especial os professores e a secretária Cinara Fagundes, pelo suporte prestado.

Ao amigo Gerson por toda a sua dedicação à pesquisa, profissionalismo e sua imensa disponibilidade, amizade e apoio.

Ao amigo José Newton por todo o apoio durante o desenvolvimento das diversas soluções e pelas incansáveis discussões técnicas.

À Cemig pela confiança na minha designação como gerente do projeto de pesquisa que originou esta dissertação.

Aos colegas da Cemig que participaram e apoiaram o desenvolvimento desta pesquisa.

Apoio

Este trabalho foi apoiado pelo Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento – P&D Cemig/Aneel – GT411 e GT 462, de parceria entre a Cemig Geração e Transmissão com a Universidade Federal de Uberlândia e as empresas CGWorks e Coffey.

Resumo

PRADO, Paulo R. M., *Sistema de Apoio a Programação de Intervenções no Sistema Elétrico de Transmissão Baseado em Realidade Virtual*, Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica – UFU, 2016.

Palavras-chave: Realidade Virtual, SCADA, Operação, Transmissão, Subestação, Programação de Intervenções, Centro de Operação, Sistema Elétrico de Potência, Sistema Crítico.

Uma intervenção no Sistema Elétrico de Potência – SEP precisa ser planejada tanto sob aspectos da equipe de manutenção (equipe de campo) responsável pela execução da intervenção, como sob o ponto de vista da operação do sistema. Nos tempos atuais as ações de operação ocorrem de forma remota, não presencial, normalmente através de Centros de Operação. As equipes de campo tratam na execução de suas tarefas com o sistema real, com os equipamentos fisicamente instalados em uma estação. Já equipes dos centros de operação normalmente tratam o SEP através da representação unifilar de seus elementos e componentes. O objetivo desta pesquisa é propor e avaliar o uso de um sistema de representação 3D de subestações de Energia Elétrica para suporte à etapa de planejamento das intervenções, que é possível de ser usado tanto pelas equipes de campo quanto pelas equipes dos centros de operação, ou de maneira conjunta, aproximando as percepções destas equipes acerca do sistema elétrico a ser trabalhado.

Abstract

PRADO, Paulo R. M.; Support System to Maintenance Planning in Electrical Transmission System Based on Virtual Reality, Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica – UFU, 2016.

Keywords: Virtual Reality, SCADA, Transmission System Operation, Substation, Maintenance Schedule, Operation Center, Electric Power Transmission System, Critical System

Maintenance in the Electric Power Transmission System must be planned in the aspects of the maintenance team, or field staff, and from the point of view of system operation as well. Nowadays, the operating actions occur remotely, usually through Operation Centers.

The field teams address in carrying out their tasks with the real system, with the equipment physically installed in a substation.

On the other hand, operating teams in the Operation Centre's typically treat the power grid through the single-line representation of its devices and components.

The goal of this research is to evaluate the use of a 3D representation of the substations supporting the planning of maintenance. The 3D system will be used by the field teams and by the teams in the Operation Centre and will be used jointly approaching the perceptions of these teams about the electrical system to be worked.

Publicações

São publicações resultantes do Projeto de P&D do qual se originou esta pesquisa:

1. Silva, A.C.; Cardoso, A; Lamounier Jr., E.A.; Prado, P.R.M.; Ferreira, J.N. **Adequação de uma Engine de Jogos Visando a Construção de Sistemas de Realidade Virtual para o Treinamento de Operadores e Controle de Subestações de Energia Elétrica.** In: Anais do Simpósio Brasileiro de Games - Workshop de Realidade Virtual e Aumentada aplicada a Games – SBGames 2013, 2013, São Paulo, SP, Brasil.
2. Silva, A.C.; Cardoso, A; Lamounier Jr., E.A.; Prado, P.R.M.; Ferreira, J.N. **Uso da Engine de Jogos Unity3D para Sistemas de Realidade Virtual Aplicado à Monitoramento e Controle de Subestações de Energia Elétrica.** In: Anais do X workshop de Realidade Virtual e Aumentada – WRVA'2013, 2013, Jataí, GO, Brasil.
3. Cardoso, A, Lamounier, E. A., Silva, A. C.; Oliveira, L. C., Prado, P.R.M.; Ferreira, J.N. **VRCEMIG: a Virtual Reality System for Real Time Control of Electric Substations.** In: IEEE Virtual Reality, 2013, Orlando - Florida. Research Demonstrations – RD1, 2013.
4. Cardoso, A., Carvalho, A., Lamounier, E., Barreto, C., Prado, P., Ferreira, J., Bechelane, A., Lima, G. **RVCemig: O Uso de Realidade Virtual no Centro de Operação do Sistema da CEMIG.** In: Anais do XIII CITENEL, Costa do Sauípe, BA, Brasil
5. Cardoso, A., Prado, P., Lima, G., Lamounier, E. **A virtual reality based approach to improve human performance and to minimize safety risks when operating power electric systems.** Chapter in Advances in Human Factors in Energy: Oil, Gas, Nuclear and Electric Power Industries, Volume 495 of the series Advances in Intelligent Systems and Computing, pp 171-182, 2016

Sumário

Lista de Figuras	12
Lista de Tabelas	13
Lista de Abreviaturas	14
Introdução	1
1.1 Contextualização	1
1.2 Objetivos.....	3
1.3 Estrutura da Dissertação	4
Fundamentos.....	5
2.1 Introdução	5
2.2 Realidade Virtual	5
2.3 Operação do Sistema Interligado Nacional	6
2.2.1 Operação do Sistema de Transmissão	6
2.2.2 Programação de Intervenções	7
2.3 Sistema de Gerenciamento de Desligamento	12
2.3.1 Esquema Funcional do SGD	12
2.4 Sistema de Realidade Virtual Cemig – SRVCemig	14
2.4.1 Projeto de Pesquisa SRVCemig	14
2.4.2 Descrição do Sistema de Realidade Virtual	14
Trabalhos Correlatos.....	17
3.1 Introdução	17
3.2 Realidade Virtual na Operação de Sistemas de Energia – Revisão Sistemática	
17	
3.3 Leica Jigsaw e SmartMine UG.....	20
3.4 Simulador de Planta Industrial	22
3.5 Análise dos Trabalhos Selecionados.....	24

Desenvolvimento: Associação do SRVCemig ao SGD	27
4.1 Introdução.....	27
4.2 Banco de Dados	27
4.3 Acesso ao SRVCemig	30
4.4 Considerações Finais.....	34
 Resultados.....	 35
5.1 Introdução.....	35
5.2 Avaliação da necessidade em se melhor conhecer as estações.....	36
5.3 Intervenção proposta – Estudo de caso	38
5.4 Resultados do uso do sistema	40
 Conclusões e Trabalhos Futuros.....	 44
6.1 Introdução.....	44
6.2 Conclusões	44
6.3 Trabalhos Futuros	45
 Referências Bibliográficas	 47
 Apêndice I.....	 50
 Apêndice II.....	 53

Lista de Figuras

Figura 1 Formulário Eletrônico – Pedido de Liberação de Equipamento - PLE.....	8
Figura 2 Diagrama Unifilar da SE Jeceaba - Sistema de Supervisão e Controle	10
Figura 3 Diagrama de Operação da SE Jeceaba - Unifilar com esquemas de proteção apresentados	11
Figura 4 Esquema funcional da programação de intervenções através do SGD	13
Figura 5 SE Emboração - Disjuntores de 500kV	15
Figura 6 SE Neves 1 - Transformador 500 - 138kV	15
Figura 7 Esquema da interligação SCADA – SRVCemig	16
Figura 8 Esquema de pesquisa	18
Figura 9 Tela do SmartMine UG	21
Figura 10 Tela do Leica Jigsaw	21
Figura 11 Sala do OTS	23
Figura 12 PS - Simulação da Planta.....	23
Figura 13 Simulação de Acidente	24
Figura 14 Associação do SRVCemig com o SGD	28
Figura 15 Gestão do Banco de Dados de Estações.....	29
Figura 16 Cadastro do Arquivo Unity 3D no SGD	30
Figura 17 Acesso ao SRVCemig no momento do cadastro	32
Figura 18 - Formulário PLE habilitado para a programação	33
Figura 19 Botão de acesso ao SRVCemig para o programador	34
Figura 20 PLE com a intervenção proposta	38
Figura 21 Área de 500kV da SE Emboração – Equipamentos solicitados.....	39
Figura 22 SRVCemig – SE Emboração – Pórticos e Barra a serem trabalhados.....	40

Lista de Tabelas

Tabela 1 Quadro Comparativo entre os Trabalhos Correlatos	25
Tabela 2 Respostas à questão 1 - Insumos mais usados	36
Tabela 3 Grau de adequação do SRVCemig ao SGD	41

Lista de Abreviaturas

ACL	Ambiente de Contratação Livre
ACR	Ambiente de Contratação Regulada
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CMSE	Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico
COS	Centro de Operação do Sistema
DTS	Dispatch Training Simulator
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
IHC	Interface Homem Computador
IHM	Interface Homem Máquina
MAE	Mercado Atacadista de Energia
MME	Ministério das Minas e Energia
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
OTS	Operator Training Simulator
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
RV	Realidade Virtual
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition
SGD	Sistema de Gerenciamento de Desligamentos
SGI	Sistema de Gerenciamento de Intervenções
SIN	Sistema Interligado Nacional
SRVCemig	Sistema de Realidade Virtual da Cemig
XML	eXtensible Markup Language

Capítulo 1

Introdução

1.1 Contextualização

Interfaces Humano Computador capazes de representar os ambientes reais, prover a interação de elementos virtuais (gerados por computador) e capturar movimentos e sons, transformando-os em ordens (ações) têm sido desenvolvidas e pesquisadas, visando aproximar o diálogo humano computador de nossas habilidades naturais. Tais formas de interface, nominadas de Interfaces Naturais (NUI) representam uma nova forma de interagir com computadores, a partir da visão de computação ubíqua, tornando a tecnologia invisível. Neste contexto, elementos de interface se assemelham ou se encaixam no ambiente físico de um usuário. O conceito básico relaciona-se com dar forma física para a informação digital, permitindo a manipulação com uso de gestos e sons. É neste cenário que são inseridas as interfaces associadas com Realidade Virtual (RV) e Realidade Aumentada (RA).

Existem diversas definições sobre RV, as quais envolvem aspectos científicos variados. Uma abordagem que apresenta uma visão geral e que sintetiza as várias discussões de RV enuncia-se a seguir: “Realidade Virtual é uma interface avançada para aplicações computacionais, que permite ao usuário navegar e interagir, em tempo real, com um ambiente tridimensional gerado por computador, usando dispositivos tridimensionais” (KIRNER e SISCOUTTO, 2007).

Há muito tem-se pesquisado a eficácia do uso de sistema de Realidade Virtual para melhorar a performance em situações de treinamento e de apoio à tomada de decisões. Como exemplo, Nazir; Kluge; Manca (2013) e Colombo; Nazir; Manca (2014), envolvem o uso de Realidade Virtual no treinamento de equipes da área industrial. A indústria de energia

também passou a ser alvo de pesquisa para treinamento, como apontado pelos trabalhos de Guoxiaoli; Fengli; Liuhong (2010) e Reis et al. (2015).

Como a interface baseada em Realidade Virtual se apoia em processos interativos, com imersão física ou mental, a partir da exposição a ambientes tridimensionais gerados por computador, observa-se que o grande benefício oferecido por esta interface é que o conhecimento intuitivo do usuário a respeito do mundo físico pode ser utilizado para manipular o ambiente virtual, possibilitando ao usuário a manipulação de informações através de experiências próximas do real. Isso porque, no ambiente virtual, é possível criar a ilusão de mundo que na realidade não existe, através da representação tridimensional para o usuário.

Barata; Ribeiro; Nunes (2015) apresentam um sistema de treinamento para estudo da operação de transformadores de potência, baseado em realidade virtual – VTI (Virtual Technical Instruction). Neste trabalho o VTI foi aplicado a alunos da disciplina de Conversão de Energia do curso de engenharia. Na avaliação, questões relacionadas à motivação para o uso do VTI e a adequação do sistema atingiram elevados índices positivos, mesmo tendo avaliação somente razoável para questões de usabilidade e realismo dos ambientes.

Ainda corroborando positivamente para o uso de Realidade Virtual como interface entre o usuário e sistemas computacionais, o VTI teve 100% de avaliação positiva para os aspectos de melhora no entendimento dos conceitos ensinados além de que a totalidade dos alunos recomendam seu uso por outros estudantes.

Finalizando, o artigo mostrou a melhora na performance dos alunos submetidos a aulas com o sistema baseado em Realidade Virtual em comparação aos alunos treinados nos métodos convencionais de aula.

Além do sistema VTI outros sistemas para treinamento foram identificados relacionados ao Sistema Elétrico. Todas estas pesquisas, porém, apontam para o uso dos sistemas de realidade virtual pelas equipes de campo e para o treinamento destas.

Conforme descrito no capítulo dos trabalhos correlatos, não foi identificado o uso de sistemas de realidade virtual na operação diária das empresas de energia.

A partir de 2010 a Cemig iniciou o desenvolvimento, em conjunto com a Universidade Federal de Uberlândia e com as empresas CGWorks e Coffey, de um Sistema de Realidade Virtual (SRVCemig) com o objetivo de efetuar a operação em tempo real de subestações e

usinas. Além da operação em tempo real o SRVCemig seria utilizado no treinamento de equipes de operação.

Nesta dissertação os objetivos acima foram ampliados e o SRVCemig foi implantado no processo de programação de intervenções de forma a melhorar a segurança das programações de intervenção e de melhorar o contato entre as equipes de campo e as equipes do Centro de Operação do Sistema – COS.

1.2 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é propor uma estratégia de utilização de ambientes virtuais assemelhados a arranjos físicos de subestações de Energia Elétrica – SRVCemig no contexto da manutenção dos mesmos, de maneira a avaliar o uso, pelas equipes de planejamento de intervenções ou também denominada equipe de programação de intervenções ou simplesmente equipe de programação do Centro de Operação do Sistema – COS da Cemig, identificando vantagens e problemas decorrentes de tal associação.

Considerando os aspectos gerais do SRVCemig e as especificidades da equipe de programação de intervenções, são objetivos específicos deste trabalho:

1. Propor uma forma e uma estratégia de integração do SRVCemig ao sistema usado pela equipe de programação de intervenções da Cemig – Sistema de Gerenciamento de Desligamentos – SGD ;
2. Implantar o SRVCemig no Sistema de Gerenciamento de Desligamentos, e;
3. Avaliar o uso do SRVCemig junto aos usuários finais.

Para a concretização destes objetivos, foram planejadas as seguintes etapas:

1. Avaliar junto aos usuários diversos aspectos relacionados às ferramentas hoje disponíveis e avaliar a propensão da equipe quanto à necessidade do conhecimento de detalhes das instalações de transmissão;
2. Integrar o SRVCemig ao SGD de forma a facilitar o acesso ao sistema e permitir o uso intensivo do mesmo;
3. Treinar a equipe de programação no uso do SRVCemig e nas formas de acesso ao mesmo através do sistema de programação de intervenções;

4. Elaborar um caso de uso a ser aplicado à equipe de programadores do centro de operação, e;
5. Avaliar as percepções dos usuários.

1.3 Estrutura da Dissertação

Esta dissertação é estruturada em seis capítulos. O primeiro capítulo refere-se à contextualização e objetivos apresentados anteriormente e à estrutura dessa dissertação, aqui apresentada. O segundo capítulo apresenta fundamentos relevantes para esta pesquisa, relacionados à Realidade Virtual, à operação do Sistema Interligado Nacional – SIN, ao Sistema de Gerenciamento de Desligamento – SGD, que suporta a execução da programação de intervenções da Cemig, e ao Sistema de Realidade Virtual Cemig – SRVCemig. O terceiro capítulo apresenta os trabalhos relacionados ao tema proposto, mostrando a relevância desta pesquisa. O quarto capítulo apresenta a implantação do SRVCemig na área de programação de intervenções do COS da Cemig através da integração com o SGD. O quinto capítulo apresenta a avaliação do uso do SRVCemig.

E, finalmente, no sexto capítulo são apresentadas conclusões e sugestões para trabalhos futuros desta pesquisa.

Capítulo 2

Fundamentos

2.1 Introdução

O objetivo deste capítulo é o de prover fundamentos necessários ao entendimento do desenvolvimento desta pesquisa e a sua aplicação prática.

São apresentados conceitos relacionados à Realidade Virtual, à operação do Sistema Interligado Nacional, com ênfase na programação de intervenções e sistemas computacionais utilizados, além do Sistema de Realidade Virtual da Cemig.

2.2 Realidade Virtual

Luz e Kirner (2006) definem realidade virtual como “uma interface avançada para aplicações computacionais, que permite ao usuário a movimentação (navegação) e interação em tempo real, em um ambiente tridimensional, podendo fazer uso de dispositivos multissensoriais, para atuação ou feedback”.

Kirner e Pinho (1997) desenvolvem a ideia da junção simultânea de imersão, interação e envolvimento em sistemas de Realidade Virtual. Reportam que a ideia de imersão está ligada com o sentimento de se estar dentro do ambiente; que a ideia de interação está ligada com a capacidade de o computador detectar as entradas do usuário e modificar instantaneamente o mundo virtual e as ações sobre ele e que a ideia de envolvimento, por sua vez, está ligada com o grau de motivação para o engajamento de uma pessoa com determinada atividade.

Discorrem ainda sobre a possibilidade de que essas três características compõem outros sistemas, isoladamente ou associadas duas a duas, mas que no caso de Realidade Virtual as três características coexistem.

Cardoso e Lamounier (2006) afirmam, dentre outras características, que RV é uma tecnologia que possibilita a criação de uma interface homem-máquina poderosa que oferece interação, navegação e imersão em um ambiente virtual podendo fazer uso de canais multissensoriais de visão, audição, tato, olfato ou paladar.

2.3 Operação do Sistema Interligado Nacional

São apresentados a seguir, os aspectos da organização do Sistema Interligado Nacional – SIN, os principais agentes envolvidos e suas responsabilidades e a forma de operação do SIN.

2.2.1 Operação do Sistema de Transmissão

Cabe ao Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS a coordenação da operação naquelas instalações onde o mesmo detém a autonomia operativa – rede de operação.

O ONS, no entanto, não executa manobras diretamente nos equipamentos da rede de operação.

Os agentes de operação, subdivididos em agentes de geração e agentes de transmissão, proprietários dos ativos de geração e transmissão, respectivamente são os responsáveis pelas manobras nos equipamentos de suas estações.

As manobras são executadas por equipes de operação que podem atuar localmente nas estações ou através de equipes reunidas em Centros de Operação, quando fazem a operação remota das estações.

Em linhas gerais temos denominação de Centros de Operação de Geração - COG ou Centros de Operação de Transmissão - COT, respectivamente para agentes de geração e transmissão.

Há também a denominação de Centro de Operação do Sistema – COS, usado por centros que operam ativos de geração e transmissão. Alguns agentes de geração e alguns de transmissão também usam a nomenclatura COS para seus centros.

As atividades relacionadas à operação do SIN pelos Centros de Operação do Sistema podem ser divididas em subgrupos de acordo com sua posição temporal:

- Pré-operação: todas as atividades elaboradas e planejadas previamente à execução da operação. Elas subdividem-se em um conjunto de tarefas:
 - Normatização: atividade relacionada à elaboração de instruções de operação usadas para a operação do sistema;
 - Programação de Intervenções, que é o foco deste trabalho.
- Tempo Real: todas as atividades executadas na Sala de Controle em Tempo Real. Execução da operação.
- Pós-Operação: corresponde a todas as atividades realizadas posteriormente ao tempo real. É responsável pela avaliação do desempenho da operação. Exerce uma função similar a um controle de qualidade.

Essa divisão temporal facilita a visão global dos processos de operação.

2.2.2 Programação de Intervenções

A Cemig Geração e Transmissão possui ativos de geração e de transmissão. Esses ativos são operados pelo Centro de Operação do Sistema. As equipes de engenharia de manutenção e as equipes de manutenção, tanto de geração quanto de transmissão, planejam as intervenções necessárias aos equipamentos das usinas e subestações e submetem esse planejamento à equipe de operação para que esta possa “preparar” o sistema elétrico para a realização da intervenção sob a ótica da operação.

A Programação de Intervenções tem como principal finalidade, cuidar do planejamento operacional de todas as atividades de intervenção que possam ser previamente programadas. Por se tratar de uma atividade que trabalha com planejamento e prazos antecipados, o seu desenvolvimento se dá em horário comercial.

O desencadeador da atividade de programação de intervenções são as solicitações de intervenção, que no contexto da Cemig são chamados de Pedidos de Liberação de Equipamentos – PLE (Figura 1), encaminhados pelas equipes de campo, normalmente equipes de manutenção. Estes pedidos devem conter, dentre outras informações, o equipamento alvo da intervenção, sua localização, o tipo de serviço a ser realizado, o prazo de execução da intervenção e, por fim, uma orientação sobre as condições operativas do

sistema, chamada de Condição Requerida, para a realização de uma intervenção de forma segura para as pessoas, equipamentos e para o sistema elétrico.

Em linhas gerais, quando os equipamentos que sofrerão intervenção pertencerem à Rede de Operação, o referido pedido deverá ser encaminhado também ao ONS, podendo a intervenção ser realizada apenas com a sua autorização. Por outro lado, quando se tratarem de equipamentos fora da Rede de Operação, as tratativas ocorrem internamente no Centro de Operação do Sistema. Existem também os pedidos de intervenção formulados por outros agentes que atuam no sistema elétrico e compartilham estações entre si.

Pedido de Liberação de Equipamento - PREENCHIMENTO

Tempo Real

Pessoa Credenciada:	PAULO ROBERTO M. DO PRADO	Nº Pessoal/RG:	45612	Gerência/Empresa:	PQ/GT
Supervisor de Serviço:	<input type="text"/>	Nº Pessoal/RG:	<input type="text"/>	Gerência/Empresa:	<input type="text"/>
<input type="radio"/> Linha <input type="radio"/> Estação:	<input type="text"/> Selecione uma Estação				
Equipamento(s) Desejado(s):	<input type="text"/> Selecione um Equipamento			<input type="button"/> Incluir	<input type="button"/> Excluir
Outro(s) Equipamento(s):	<input type="text"/>			<input type="checkbox"/> Inclui relés do tipo "Diferencial" e/ou "Falso de Disjuntor da Rede de Operação"	
Condição Requerida:	<input type="radio"/> Fora de Serviço	<input type="radio"/> Isolado	<input type="radio"/> Isolado/Aberrado (LT/LD)		
	<input type="radio"/> Em Serviço	<input type="radio"/> Outras Condições (Detalhes no Campo "Observações")			
Pessoa Credenciada	<input type="text"/>				
Serviço a ser Executado:	<input type="text"/>				
Inicio Previsto:	Data: <input type="text"/> <input type="button"/>	Hora: <input type="text"/>			
Término Previsto:	Data: <input type="text"/> <input type="button"/>	Hora: <input type="text"/>	Haverá Dispensa Provisória?	<input type="radio"/> Sim	<input type="radio"/> Não
Riscos de desligamentos de equipamentos durante esta intervenção:	<input type="radio"/> Não	<input type="radio"/> Inerente	<input type="radio"/> Adicional (Caracterizar)		
Período Diário:	Indisponibilidade Prevista:	<input type="text"/> às <input type="text"/> e de <input type="text"/> às <input type="text"/>			
	Condição Especial:	<input type="text"/> às <input type="text"/> e de <input type="text"/> às <input type="text"/>			
Em caso de necessidade pode-se dispor do equipamento em <input type="text"/> (hh:mm:ss)					
Observações:	<input type="text"/>				
Assinatura:	<input type="text"/>		Telefone:	SIT:	Data:
PAULO ROBERTO M. DO PRADO (via web)			<input type="text"/>	<input type="text"/>	27/04/2016

Figura 1 Formulário Eletrônico – Pedido de Liberação de Equipamento - PLE

Uma intervenção é programada tanto no centro de operação do ONS quanto no centro de operação do agente responsável pela operação da instalação.

O foco de ambas as programações é distinto: no ONS serão realizados estudos ditos sistêmicos, ou seja, que verificarão o impacto da intervenção na operação do sistema como um todo, avaliando os impactos da intervenção nas demais instalações do sistema. O ONS avaliará a segurança do sistema durante aquela intervenção e proporá medidas de controle para manter o nível de segurança requerido ou em último caso, determinará que a

intervenção ocorra em momentos de menor consumo – carga leve – de forma a minimizar possíveis impactos aos consumidores em caso de perturbações associadas às condições do sistema durante a intervenção.

Nos centros de operação dos agentes a visão é operacional, diz respeito à execução da operação. Neste momento, são avaliadas as condições operativas dos equipamentos, a forma e sequência na qual as manobras dos equipamentos devem ser realizadas, a interferência destas manobras nos demais elementos da estação envolvida, a necessidade de coordenação ou de manobras complementares de outros agentes que compartilhem a estação, dentre outros detalhes técnicos.

Para programar uma intervenção, o programador do COS se vale do PLE preenchido pelo solicitante e de diversos outros insumos.

Basicamente, e na maioria dos casos, ele se vale das instruções de operação da estação, que é um documento que detalha como a mesma deve ser operada; se vale de estudos elétricos com dados dos equipamentos envolvidos, como por exemplo, limites operativos em condições especiais; estudos energéticos e também ambientais, notadamente quando a intervenção envolve usinas hidroelétricas; diagramas unifilares elétrico da estação envolvida (Figura 2 e Figura 3) e também de outros insumos, tais como: desenhos técnicos, croquis e projetos de ampliação. O controle dos sistemas de proteção também faz parte dos cuidados do programador e no caso da Cemig essas informações constam de um diagrama unifilar especial chamado Diagrama de Operação – Figura 3.

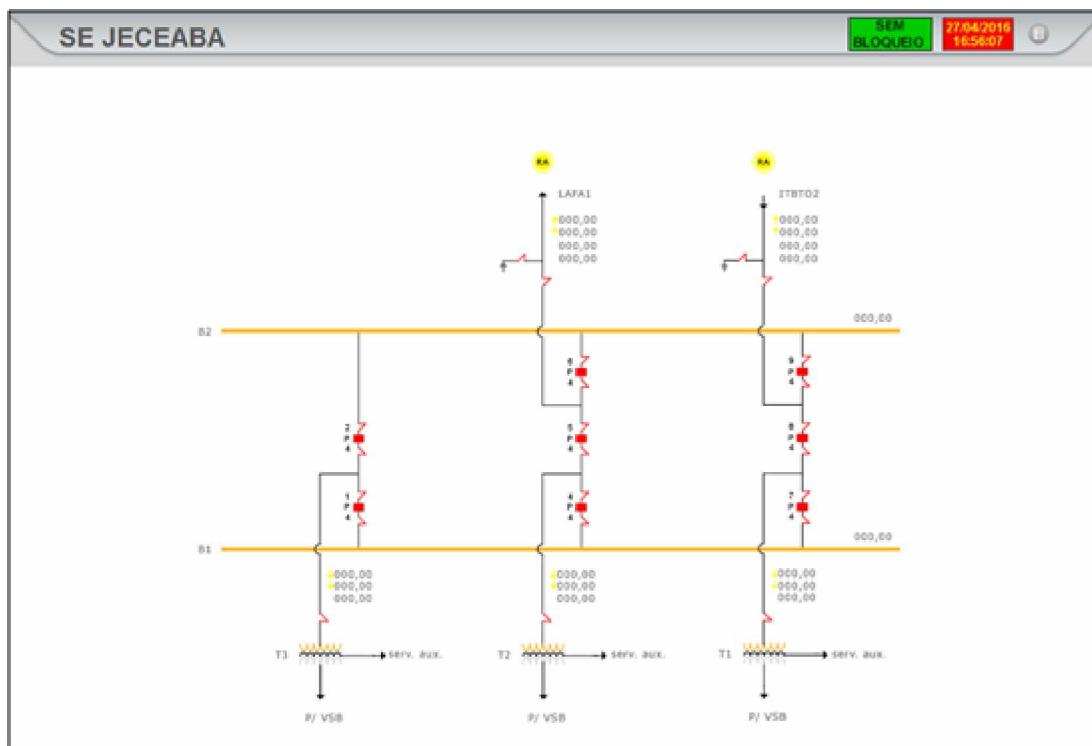


Figura 2 Diagrama Unifilar da SE Jeceaba - Sistema de Supervisão e Controle

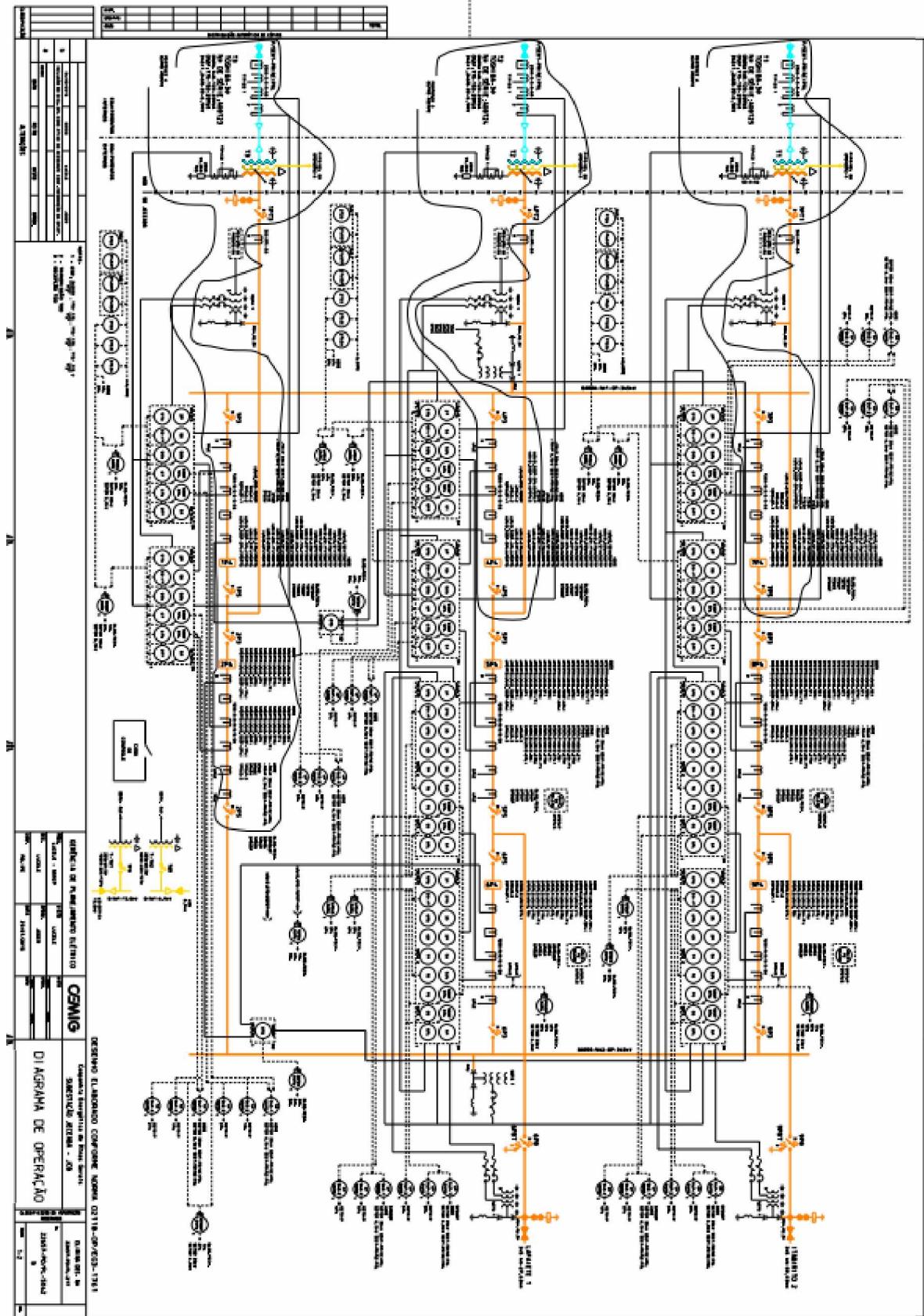


Figura 3 Diagrama de Operação da SE Jeceaba - Unifilar com esquemas de proteção apresentados

Além dos diversos insumos exemplificados acima e que são usados na medida da necessidade e complexidade de cada programação, os programadores também necessitam estabelecer comunicação com as equipes de tempo real do COS, com distribuidoras de energia envolvidas, com outros agentes de geração e transmissão, com as equipes de campo, com o ONS, com equipes de planejamento elétrico e energético e com pessoal de Obras e Expansão. O objetivo desta comunicação é sempre o de esclarecer detalhes e compartilhar dados da programação com os envolvidos na mesma.

2.3 Sistema de Gerenciamento de Desligamento

Para executar a programação de intervenções, o usuário programador de intervenções do COS da Cemig conta com uma ferramenta computacional na qual ele desenvolve a programação, denominada de Sistema de Gerenciamento de Desligamento – SGD.

2.3.1 Esquema Funcional do SGD

O SGD é uma ferramenta disponível na intranet da Cemig e baseada em “WebBrowser”.

Através dela é feita a conexão entre os principais envolvidos em uma programação de intervenções.

Ela tem o formato de um formulário eletrônico que percorre as diversas etapas da programação.

Uma programação começa com o preenchimento do PLE pelo solicitante da intervenção destacado na Figura 1. Após o preenchimento da parte que cabe ao solicitante do PLE o formulário eletrônico é encaminhado a área de programação do COS. Na sequência, o supervisor da área faz a análise de conformidade da solicitação e estando conforme recebe o documento e o encaminha a um dos programadores. Caso não esteja conforme, o supervisor, através do sistema, interage com o solicitante para sanar as possíveis não conformidades.

Ao mesmo tempo que encaminha um PLE a um dos programadores, o supervisor já aciona as áreas de estudo envolvidas com a intervenção de modo a providenciarem os estudos necessários.

O programador, valendo-se dos diversos insumos descritos na seção anterior e também dos contatos com os diversos envolvidos, complementa a programação com todos os detalhes que serão necessários na etapa de liberação da intervenção em tempo real. O PLE programado e aprovado é encaminhado ao solicitante, à estação e à equipe de tempo real do Centro de Operação, quem fará a liberação da intervenção.

Ao receber um PLE o programador encaminha-o para o ONS, quando for o caso. O ato de encaminhar ao ONS é feito, também, no SGD, que gera um arquivo XML – eXtensible Markup Language para efetuar o cadastro no sistema do ONS – Sistema de Gerenciamento de Intervenções – SGI. Esse sistema de cadastro automático permite o cadastro simultâneo de vários PLEs. É possível, também, o cadastro manual no sistema do ONS, sem o uso das facilidades do SGD.

A Figura 4 representa esquematicamente esse esquema funcional.

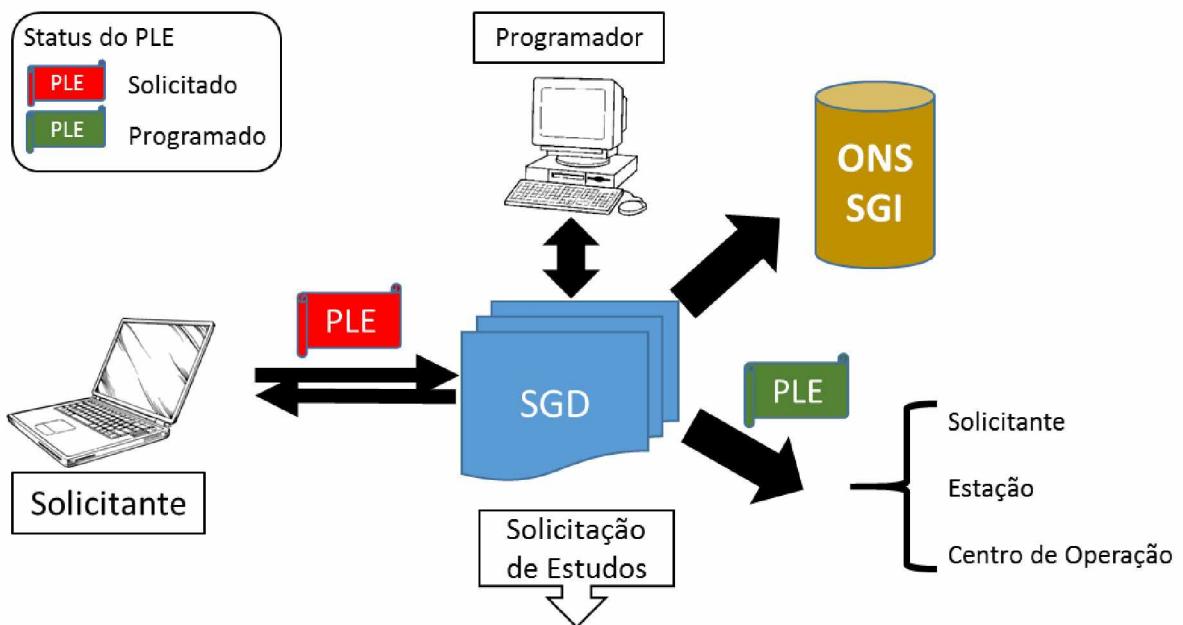


Figura 4 Esquema funcional da programação de intervenções através do SGD

O programador, no uso dos diversos insumos necessários à atividade, faz uso de sistemas complementares que não estão diretamente associados ao SGD. Uma etapa relevante do processo de programação é o contato entre o programador e as diversas equipes de campo.

Essa pesquisa mostrará a importância dada pelos programadores ao conhecimento físico das estações.

2.4 Sistema de Realidade Virtual Cemig – SRVCemig

Esta seção apresenta o Sistema de Realidade Virtual da Cemig – SRVCemig desenvolvido dentro do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica.

2.4.1 Projeto de Pesquisa SRVCemig

Através do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor Elétrico a Cemig buscou parcerias para pesquisar o uso de Realidade Virtual para suporte à operação do Sistema Elétrico de Potência. Neste contexto, firmou convênio com a Universidade Federal de Uberlândia e com as empresas CGWorks (antes Proenge Telecom) e Coffey, em 2010. A meta era desenvolver um ambiente virtual que representasse realisticamente as subestações de transmissão da empresa.

Eram objetivos do projeto:

- Desenvolver uma nova interface para uso na operação do sistema pelo Centro de Operação;
- Utilizar a nova interface nas etapas de treinamento, tanto para as equipes do Centro de Operação quanto para as equipes que atual diretamente nas subestações, e;
- Validar o uso do Sistema de Realidade Virtual.

2.4.2 Descrição do Sistema de Realidade Virtual

O SRVCemig consiste em uma representação realística dos ambientes das subestações de transmissão da Cemig.

Para se conseguir esta representação foram elaborados modelos 3D de todos os equipamentos, sistemas e estruturas existentes nas estações. De posse desses modelos e

baseado na planta das subestações os diversos elementos foram dispostos atendendo a real alocação dos mesmos no campo.

Para a animação da cena e todas as interações foi utilizada a “engine” de jogos Unity 3D < <http://unity3d.com/pt/unity> >. A Figura 5 e a Figura 6 exemplificam uma cena com disjuntores de 500kV e com um transformador de potência de uma estação.



Figura 5 SE Emborcação - Disjuntores de 500kV

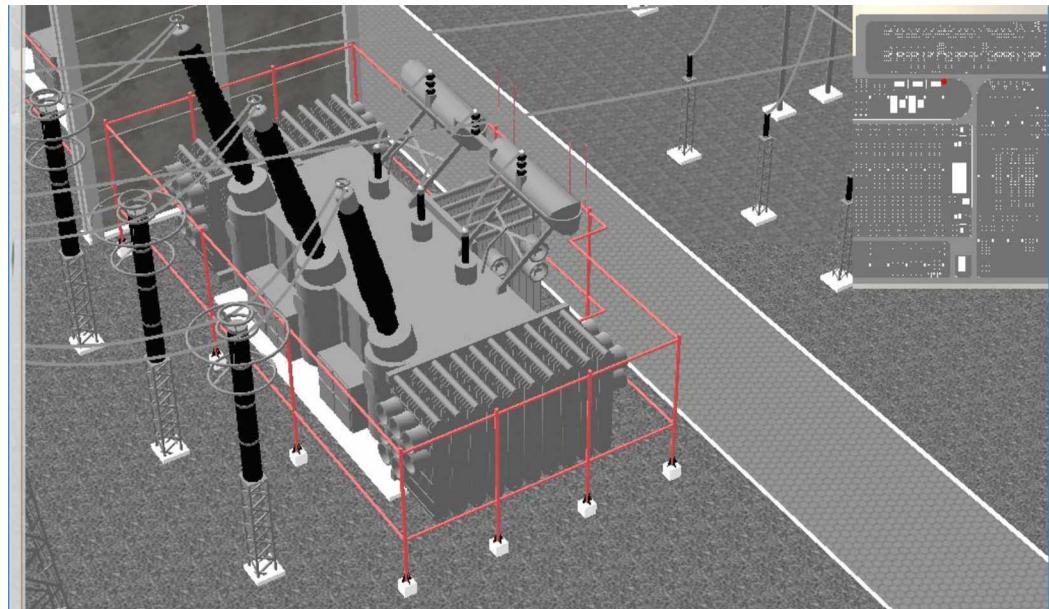


Figura 6 SE Neves 1 - Transformador 500 - 138kV

Com uso da Unity, programou-se uma conexão através de “WebService” com o sistema de supervisão e controle da Cemig de forma a permitir a representação, em tempo real, das condições operativas dos diversos equipamentos disponíveis no sistema SCADA - Supervisory Control And Data Acquisition.

A Figura 7 demonstra a estrutura funcional do sistema.

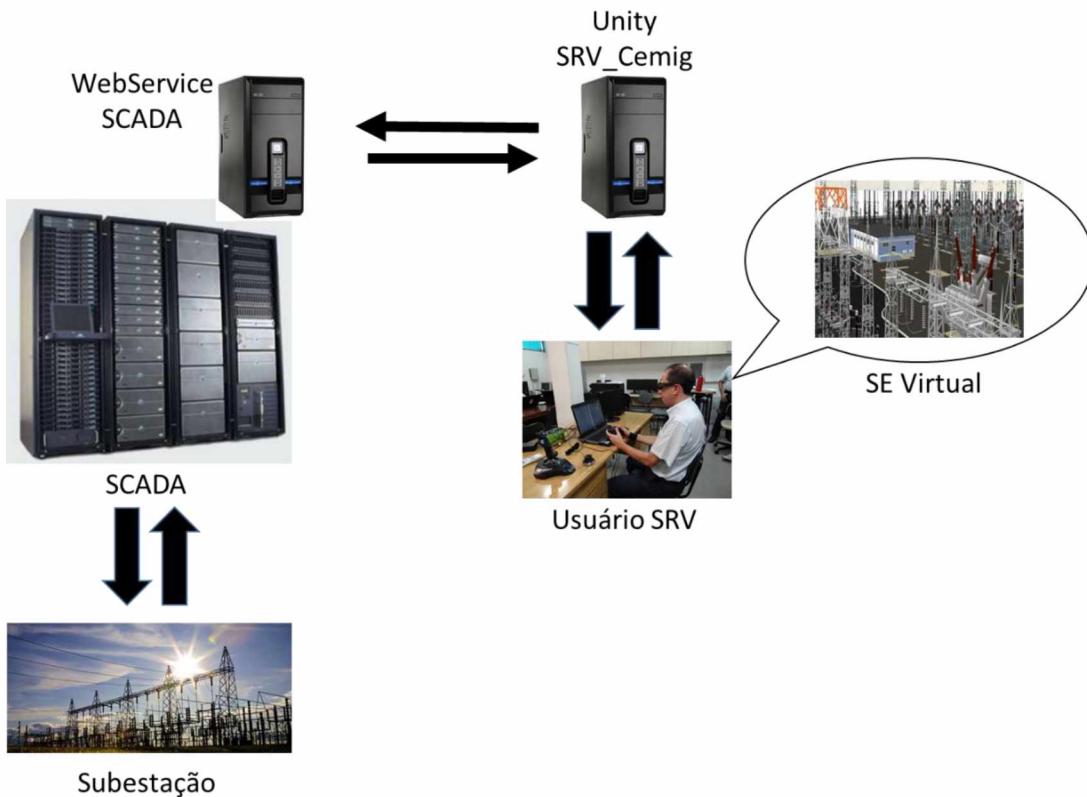


Figura 7 Esquema da interligação SCADA – SRVCemig

O SRVCemig é um sistema para a operação de subestações, desenvolvido com recursos de Realidade Virtual. Através dele é possível o monitoramento em tempo real do estado e dos parâmetros elétricos dos diversos equipamentos.

Como foi preparado tanto para o recebimento, quanto para o envio de dados para o sistema SCADA, o SRVCemig permite o controle, a operação dos diversos equipamentos, diretamente na interface 3D, sem necessidade de acesso às interfaces do sistema SCADA.

Capítulo 3

Trabalhos Correlatos

3.1 Introdução

O presente capítulo mostra o caráter inovador da pesquisa e sua correlação com outros trabalhos.

Uma Revisão Sistemática foi elaborada com foco em sistemas aplicados à operação do Sistema de Energia Elétrica por Centros de Operação e, resultou, na identificação específica de um sistema que atendia, plenamente, todos os critérios de inclusão e exclusão especificados.

Além deste sistema identificam-se dois outros: um sistema industrial aplicado à operação de minas e um sistema aplicado à operação de uma refinaria de óleo. Ambos não foram validados na revisão sistemática por não serem dirigidos para o sistema elétrico, mas foram considerados como correlatos por envolverem a operação e também por serem de uso por centros de operação.

3.2 Realidade Virtual na Operação de Sistemas de Energia – Revisão Sistemática

Elaborou-se uma revisão sistemática para avaliar o uso de Realidade Virtual na operação de sistemas de energia. Para tanto, foram avaliadas algumas bases de dados de publicação científica, considerando o tema em foco.

Com a avaliação das bases ScienceDirect (<http://www.sciencedirect.com/>), ACM Digital Library (<http://dl.acm.org/dl.cfm>), SciELO (<http://www.scielo.br/>) e IEEEXplore (<http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>), verificou-se que a base de dados do IEEEXplore apresenta maior variedade de artigos relacionados ao tema.

A Figura 8 mostra o esquema de pesquisa adotado na revisão.

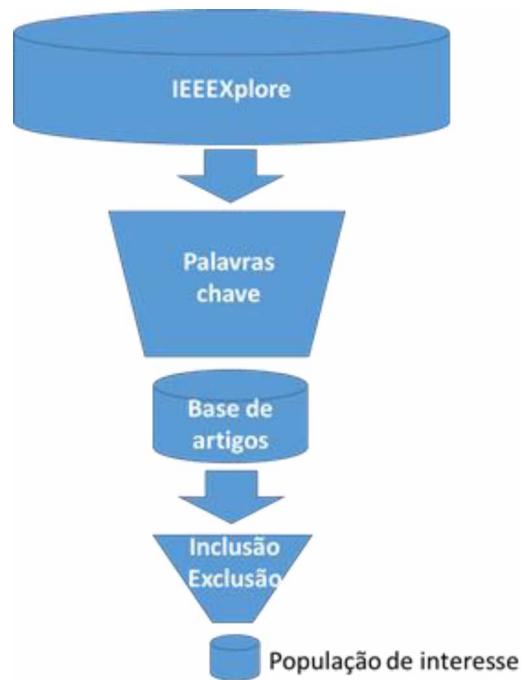


Figura 8 Esquema de pesquisa

Nesta base de dados foram aplicadas as combinações de palavras chave:

- Virtual environments and power system
- Virtual Reality and power system
- Virtual Reality and training and power system

Após a aplicação das combinações das palavras chave acima foi feita uma primeira seleção baseada nos títulos e quando necessário nos resumos dos artigos. Da seleção preliminar, foram avaliados detalhadamente cada artigo com base nos critérios de inclusão e exclusão descritos:

i. Inclusão:

Serão incluídos todos os artigos que versarem sobre o uso de realidade virtual relacionada à operação do sistema de energia.

Serão incluídos artigos para as áreas de distribuição, transmissão e geração de energia.

Serão incluídos artigos que avaliem o uso da realidade virtual tanto em etapas de treinamento quanto em outras atividades relacionadas à execução da operação.

Serão considerados os artigos que tratem de operação através de centros de operação, mesmo que envolvam, no mesmo artigo, operação local de estações.

ii. Exclusão:

Não serão avaliados artigos que tratem de outras áreas que não seja a operação do sistema, como manutenção por exemplo.

Não serão avaliados artigos anteriores ao ano 2000 em função da rápida evolução da tecnologia e de propostas ainda rudimentares antes de 2000.

Também não serão avaliados artigos que embora tratem de operação foquem somente equipes de estações, sem considerar as equipes de centros de operação.

iii. Resultados

Após a aplicação das palavras chave na biblioteca virtual IEEEXplore foram selecionados 53 artigos através da análise dos títulos e dos resumos considerando uma avaliação de relevância para o tema pesquisado.

A aplicação dos Critérios de Inclusão e dos Critérios de Exclusão retornaram somente um artigo:

Development of a Distributed Training Simulator for Power System Based on HLA, Feng, Y. e Cheng, W. (2009)

Este artigo aborda um sistema de treinamento capaz de envolver as equipes de centro de operação e equipes de campo simultaneamente. Basicamente ele envolve o uso de um Simulador de Treinamento – DTS (Dispatch Training Simulator) presente hoje em dia em grande parte dos grandes sistemas de supervisão e controle SCADA-EMS (Supervisory Control And Data Acquisition – Energy Management System) disponíveis no mercado. Foi desenvolvida a modelagem 3D tanto do pátio de uma estação quanto da casa de controle da mesma e acoplando esse sistema com o DTS. Desta forma é possível envolver as equipes de campo no treinamento normalmente aplicado às equipes do Centro de Operação através do DTS.

Apesar de permitir o envolvimento tanto da equipe do Centro de Operação quanto da equipe da estação, o sistema indica o uso de Realidade Virtual somente para as equipes de campo, permanecendo o uso de diagramas unifilares advindos do sistema SCADA-EMS para as equipes do centro de operação.

A avaliação da base encontrada (53 artigos) aponta algumas tendências na aplicação de Realidade Virtual na área de energia elétrica. Há abundante pesquisa na área de energia elétrica envolvendo realidade virtual. Um número expressivo de artigos aborda questões de treinamento. Desses, destaca-se um grande foco em artefatos voltados para o treinamento em manutenção e um número inferior voltado ao treinamento em operação. No grupo voltado para o treinamento em operação todos os artigos focavam somente as equipes de campo, sem envolvimento das equipes de sala de controle.

3.3 Leica Jigsaw e SmartMine UG

De propriedade da empresa Hexagon Mining os produtos Leica Jigsaw e SmartMine UG fornecem uma plataforma 3D para a operação de Minas (<http://www.hexagonmining.com/open-pit-operations.htm> - acesso em 12/07/2016). O sistema Leica Jigsaw destina-se a operação de minas abertas e o sistema SmartMine UG para minas subterrâneas. Ambos compõem um pacote de sistemas voltados ao controle de mina através de um centro de controle.

O sistema coleta, em tempo real, dados dos diversos equipamentos em atividade na mina e animam imagens 3D da mina fornecendo ao operador do centro uma visão “real” da situação de operação.

Como em um sistema SCADA, fornece informações sobre a localização de cada equipamento e também, através de telemetria, a condição de cada equipamento, como velocidade, status dos sistemas como regime dos motores, carga, temperatura e etc..

O operador do centro de controle usa um sistema de comunicação para passar instruções aos operadores dos diversos equipamentos.

Ele opera a mina através do sistema:

- Se há interrupção em determinada rota por, por exemplo, dano em um equipamento o centro de controle direciona as outras máquinas por rotas alternativas;
- Se a telemetria indica avaria em determinado equipamento o mesmo é parado, se for o caso, e equipes de manutenção são enviadas ao local;
- Lentidões e atrasos na operação são identificados e corrigidos em tempo real;

- Busca-se a maximização na operação de forma que os caminhões de minério somente se deslocam dos pontos de extração quando realmente atingem seu carregamento máximo.

O operador do centro de controle tem a visão geral da operação da mina e busca agir para cumprir o plano diário de operação.

A Figura 9 e a Figura 10 apresentam imagens dos sistemas Jigsaw e SmartMine UG:



Figura 9 Tela do SmartMine UG



Figura 10 Tela do Leica Jigsaw

O operador dispõe de interfaces com a imagem virtual de toda a operação que se desenvolve na mina.

3.4 Simulador de Planta Industrial

Colombo; Nazir; Manca (2014) estruturaram um experimento para o uso de Realidade Virtual no treinamento conjunto de operadores de uma refinaria de óleo. Na proposta, desenvolveu-se uma simulação 3D da refinaria (Plant Simulator - PS) de forma a poder replicar o ambiente real para os operadores de campo, com integração com o simulador de treinamento já existente usado na sala de controle da refinaria, o Operator Training Simulator – OTS.

O OTS existente é capaz de simular a resposta real dos diversos parâmetros da refinaria de forma a garantir realismo ao treinando em relação a suas ações no sistema.

Dessa forma houve a integração ao treinamento já existente para os operadores da sala de controle, através de seu sistema de supervisão e controle, da atuação em campo das equipes da refinaria.

Ocorre assim o treinamento conjunto:

- No centro de operação o OTS simula as condições reais de operação da refinaria e os operadores monitoram e atuam no sistema através SCADA-OTS;
- Sempre que uma ação em campo se faz necessária o operador do centro solicita a mesma aos operadores locais, que através do ambiente simulado 3D – PS – executa as manobras necessárias. Essas manobras efetuadas no ambiente 3D têm reflexos no ambiente do OTS em tempo real, refletindo como se realmente a manobra tivesse sido efetuada em campo.

A Figura 11 apresenta a sala do OTS em uso pelos operadores da sala de controle. Essa sala é estruturada como uma réplica da sala de controle real.



Figura 11 Sala do OTS

A Figura 12 apresenta a simulação da planta - PS. O objetivo é o de permitir o envolvimento dos operadores de campo no treinamento.



Figura 12 PS - Simulação da Planta

Além da conexão entre o PS e o OTS a equipe também implementou um sistema de avaliação automática de performance do treinando e um simulador de acidentes.

O simulador de acidentes serve para melhorar o realismo na operação em contingência.

A Figura 13 mostra o incêndio após um vazamento de butano.

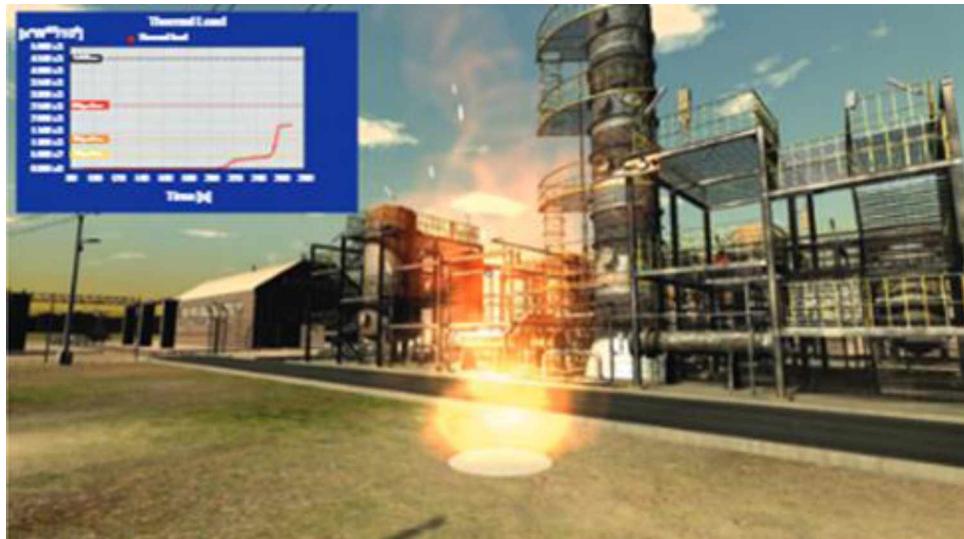


Figura 13 Simulação de Acidente

3.5 Análise dos Trabalhos Selecionados

Em diferentes formas e propósitos pode-se admitir semelhança entre os sistemas apresentados.

Pelas condições propostas na Revisão Sistemática, não foram encontradas evidências de uso de sistemas de Realidade Virtual na operação de sistemas elétricos. Os trabalhos desenvolvidos são voltados para atividades de manutenção ou para propósitos de treinamento envolvendo as equipes de campo.

Tanto na proposta do artigo selecionado na revisão, quanto no experimento envolvendo a refinaria houve o uso da Realidade Virtual com o propósito de treinamento da equipe de campo, ficando o operador do centro de operação com o uso do seu sistema SCADA. Ambos propõem o acoplamento do Sistema de Realidade Virtual ao simulador existente.

Já o sistema comercializado pela Hexagon Mining o propósito é o uso realmente pelas equipes da sala de controle do centro de operação. Neste sistema, no entanto, há somente a supervisão da operação e não há telecontrole. O objeto de um centro de controle de mina não é o de atuar em equipamentos, mas fazer a supervisão e o controle indireto, isto é, através de comunicação com os operadores das máquinas em campo.

O SRVCemig acopla todas essas possibilidades uma vez que pode ser usado por todas as equipes de operação, além de poder ser usado tanto para supervisão quanto para a operação remota dos equipamentos. Pode, ainda, ser usado em treinamento acoplado ao DTS através do mesmo “webservice” já desenvolvido.

A Tabela 1 Quadro Comparativo entre os Trabalhos Correlatos apresenta as funcionalidades presentes em cada trabalho, comparando-os entre si.

Tabela 1 Quadro Comparativo entre os Trabalhos Correlatos

Tópico Abordado	Distributed Training Simulator	Hexagon Mining Systems	Simulador de Planta Industrial	SRVCemig
Uso de RV pelas equipes de Campo	✓	✓	✓	✓
Uso de RV pelo Centro de Operação	✗	✓	✗	✓
Uso em treinamento com simulador	✓	✗	✓	✓
Permite o telecontrole pela interface de RV	✓	✗	✓	✓
Aplica-se na operação/treinamento do setor elétrico	✓	✗	✗	✓
Possui simulação de acidente na interface de RV	✗	✗	✓	✗

✓ - SIM ✗ - NÃO

Da análise da Tabela 1 Quadro Comparativo entre os Trabalhos Correlatos destacam-se as características do SRVCemig de ser voltado ao setor elétrico e de permitir o uso pelo centro de operação.

Para uso pelo centro de operação, embora duas aplicações não tenham demonstrado esta situação, parece razoável que estes sistemas possam migrar para os centros de operação.

Além do SRVCemig outros dois sistemas preveem a possibilidade de telecontrole através da interface de RV.

Das características enumeradas o SRVCemig não possui a simulação de acidentes na interface de RV. Para o caso de uma refinaria, a situação de acidente, como um incêndio, por exemplo, pode ser bastante útil pensando, inclusive em treinamentos de rotas de fuga. As consequências de um acidente persistem (incêndio, vazamentos, etc.) e podem ser observadas pelo operador que entrar em cena após o mesmo.

Já no sistema elétrico os acidentes em subestações normalmente não redundam em danos visíveis a equipamentos. Quando danos ocorrem, podem muitas vezes são de difícil percepção, como isoladores trincados, por exemplo. E, na maioria das vezes, não evoluem visualmente. Além disso, o evento causador do acidente se extingue rapidamente através da atuação dos esquemas de proteção.

As características de serem voltados para a operação do setor elétrico e poderem ser usados no centro de operação foram destacadas pois fazem parte do objetivo da aplicação em discussão nesta pesquisa.

A característica de permitir o telecontrole através da interface de RV será de suma importância para trabalhos futuros, como exemplificaremos no capítulo 6.

Capítulo 4

Desenvolvimento: Associação do SRVCemig ao SGD

4.1 Introdução

Visando facilitar o acesso ao SRVCemig, o sistema foi integrado ao Sistema de Gerenciamento de Desligamentos – SGD. Essa integração permite um acesso rápido ao SRVCemig, diretamente do SGD, sem a necessidade de o programador de intervenções ter que fazer o acesso a um sistema externo ao seu ambiente de programação.

4.2 Banco de Dados

De forma a permitir a chamada do SRVCemig internamente no SGD foi definida a vinculação do campo Nome da Estação entre os sistemas. Assim, quando uma intervenção envolver determinada estação, será possível a visualização do SRVCemig daquela estação.

A Figura 14 mostra a inserção do banco de dados com as cenas das estações criadas no Unity3D na versão “WebBrowser” do SRVCemig. Este banco de dados está associado ao banco de dados de estações do SGD e é chamado diretamente pelo SGD e disponibilizado tanto para os usuários de campo quanto para os usuários da programação de intervenções.

Também associado às estações há o banco de dados de equipamentos e associados a estes o banco de dados que relaciona as estações e equipamentos ao padrão de dados do ONS.

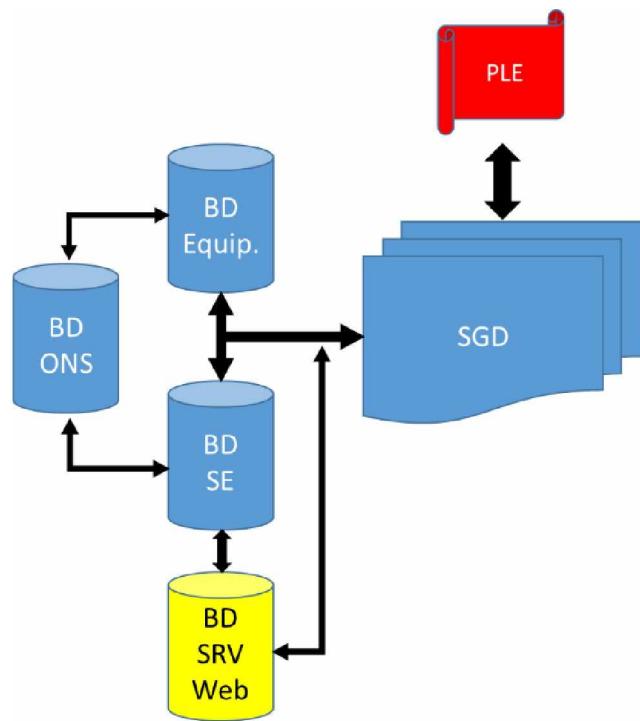


Figura 14 Associação do SRVCemig com o SGD

O acesso individual a cada estação, a partir do SGD foi implementado incluindo-se no banco de dados do SGD uma vinculação da estação com o respectivo arquivo do Unity 3D daquela estação.

Do lado do SRVCemig, o sistema foi segmentado em estações individuais para a apresentação em “WebBrowser”.

Foi, também, desenvolvida uma interface para gerenciamento do banco de dados pelo usuário coordenador da equipe de programação.

A Figura 15 mostra o menu de acesso ao banco de dados das estações.

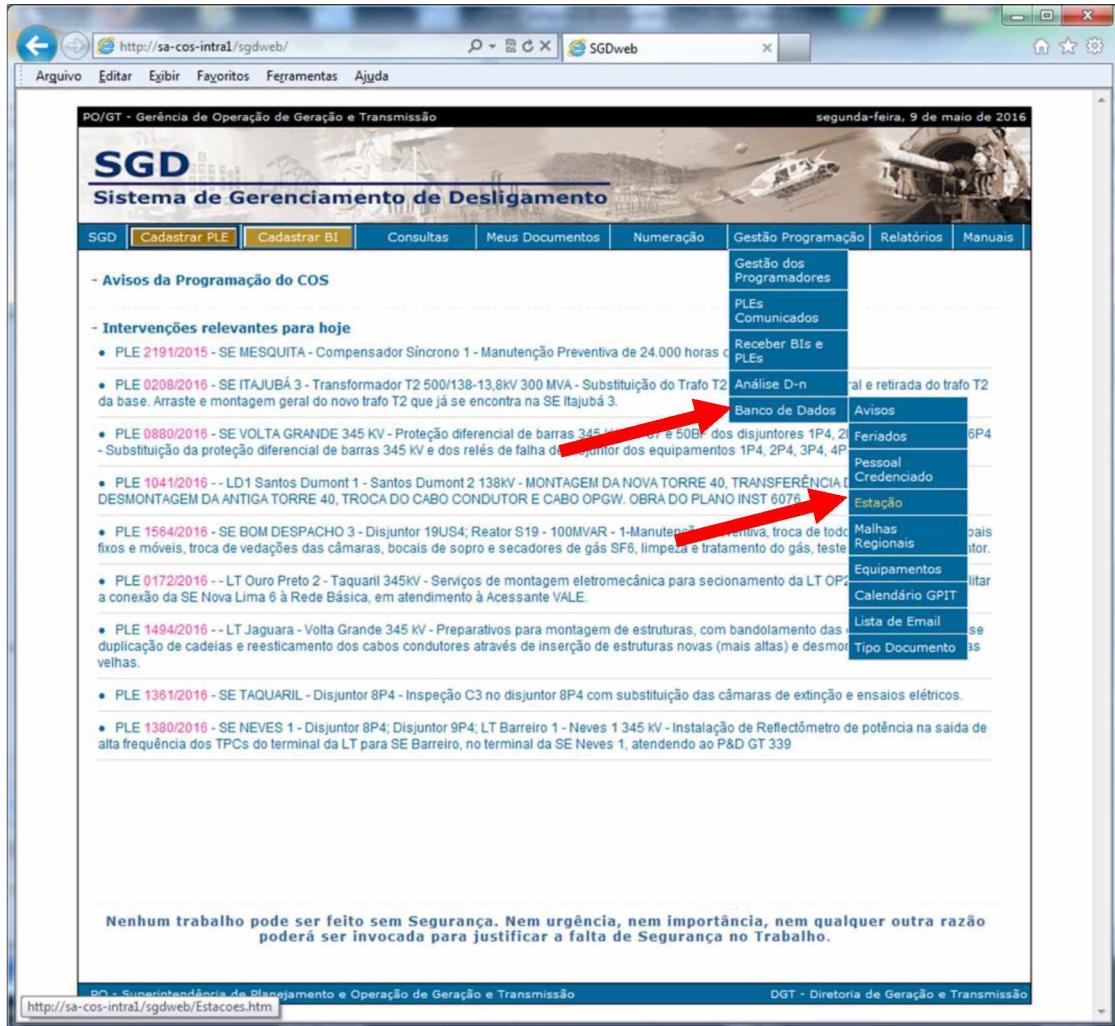


Figura 15 Gestão do Banco de Dados de Estações

Escolhida a opção de gestão do banco de dados de estações a próxima tela leva a um conjunto de dados específicos das estações. Nesta nova tela escolhe-se através de um menu a estação que se quer administrar o banco de dados e depois pode-se atualizar os diversos campos.

Foi incluído a entrada Realidade Virtual. Nesta entrada deve-se inserir o nome do arquivo Unity 3D da estação em questão.

A Figura 16 mostra a interface de gestão e o novo campo inserido no SGD. Como podem existir estações que não tenham o SRV desenvolvido, basta deixar o campo Realidade Virtual em branco. O SGD administra esta situação e toda a vez que o campo estiver vazio as opções de acesso ao SRVCemig, que serão demonstradas a seguir, não são apresentadas.

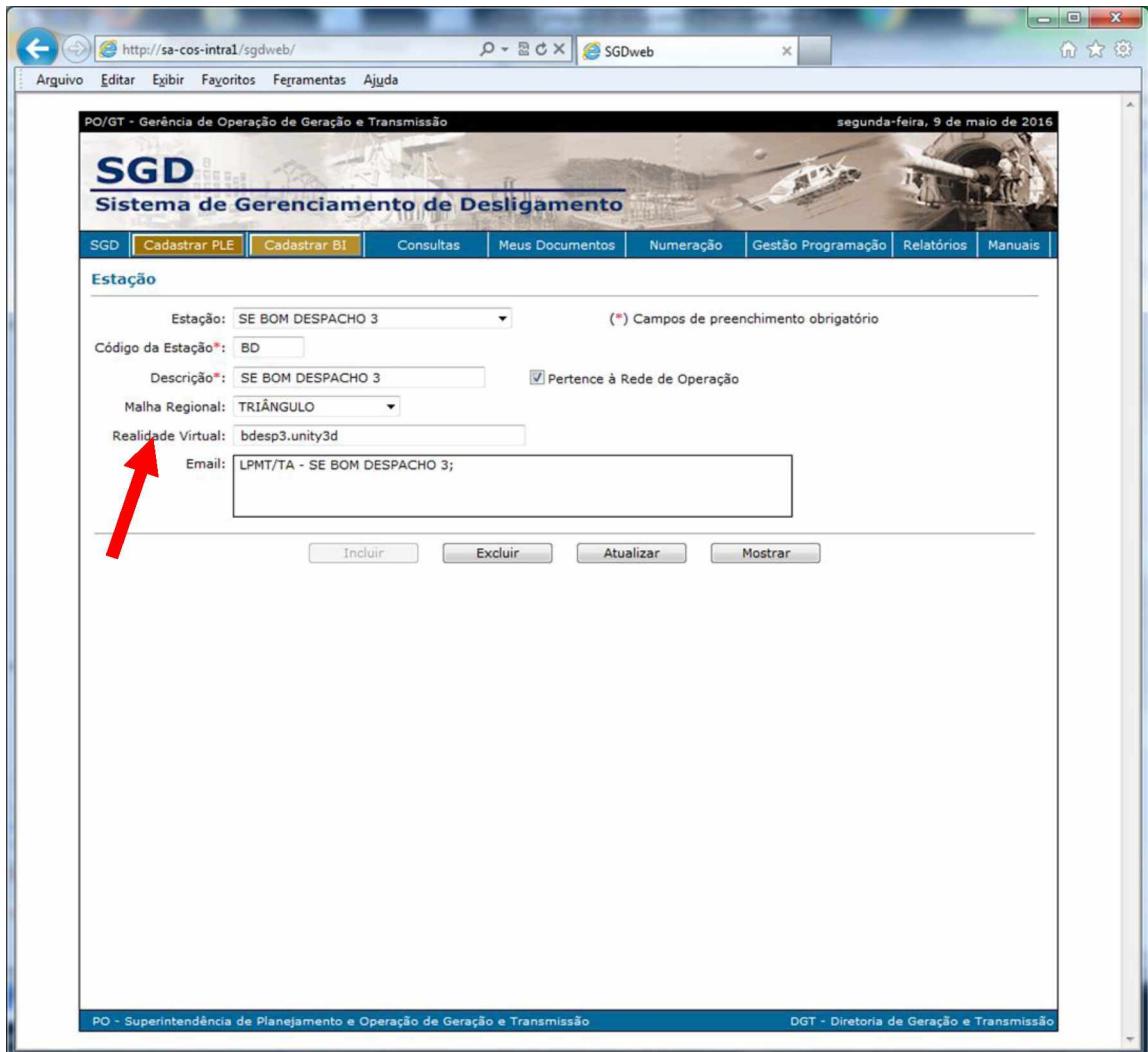


Figura 16 Cadastro do Arquivo Unity 3D no SGD

4.3 Acesso ao SRVCemig

O Pedido de Liberação de Equipamento – PLE, formulário eletrônico usado na gestão das intervenções na Cemig possui diversas etapas de tramitação no processo de programação de intervenções.

São três etapas principais:

1. Cadastro
2. Programação
3. Liberação

A primeira etapa trata do cadastro do pedido pelo solicitante. É nesta etapa que aquele que pede a liberação da intervenção ao Centro de Operação declara diversas informações necessárias à análise de seu pedido.

Após a seleção do local onde o serviço será executado, linha de transmissão ou estação, seleciona-se em um menu para a inclusão dos equipamentos que sofrerão a intervenção. Sempre que a seleção for para trabalho em estação, assim que os equipamentos são incluídos no formulário, aparecem à direita do campo equipamento dois botões em forma de binóculo.

O primeiro trata uma funcionalidade já existente no SGD que é o de permitir a pesquisa de intervenções já cadastradas para os mesmos equipamentos, com o intuito de permitir uma otimização dos pedidos entre diferentes usuários. Botão “Exibir Intervenções Cadastradas”.

A Figura 17 destaca, na tela da Interface, o botão “Exibir Realidade Virtual” (inserido nesta associação SRVCemig – SGD) que, se pressionado, retornará a abertura de uma nova janela do Browser com a estação em foco em exibição do SRVCemig.

Pedido de Liberação de Equipamento - PREENCHIMENTO

CLASSIFICAÇÃO: RESERVADO

CEMIG | Gerador e Transmissor S.A. | Sigla/Nº/Ano

Pessoa Credenciada: PAULO ROBERTO M. DO PRADO

Supervisor de Serviço:

Linha Estação: SE EMBORCAÇÃO 500 KV

Equipamento(s) Desejado(s): Disjuntor 11U4

Outro(s) Equipamento(s):

Condição Requerida: Fora de Serviço, Isolado, Isolado/Aterrado (LT/LD), Em Serviço, Outras Condições (Detalhes no Campo "Observações")

Serviço a ser Executado:

Início Previsto: Data: Hora:

Término Previsto: Data: Hora: Haverá Dispensa Provisória? Sim Não

Riscos de desligamentos de equipamentos durante esta Intervenção: Não Inerente Adicional (Caracterizar)

Período Diário: Indisponibilidade Prevista: às e de às

Condição Especial: às e de às

Em caso de necessidade pode-se dispor do equipamento em (hhhh:mm)

Observações:

Assinatura: PAULO ROBERTO M. DO PRADO (via web)

Telefone: SIT: Data: 09/05/2016

Pedido Recebido por: Data: / / Hora: h min.

Manobras: Início para Desligar: h min. Término para Religar: h min. Haverá Dispensa Provisória? Sim Não

Serviço Programado: Início: h min. Data / / Término: h min. Data / /

Período Diário: Indisponibilidade Prevista: h min. às h min. e de h min. às h min.

Condição Especial: h min. às h min. e de h min. às h min.

Há período com restrição para execução desta intervenção? Sim Não Qual o período? de h min. às h min.

Equipamentos e Dispositivos Operados para Garantir a Condição Requerida:

Pessoas Envolvidas na Programação	Notificado			Confirmado		
	Gerência	Data	Hora	Data	Hora	

Figura 17 Acesso ao SRVCemig no momento do cadastro

Essa implementação, na fase de cadastro, favorece o uso do sistema pelas equipes de campo responsáveis tanto pela manutenção quanto pela operação local.

Uma vez cadastrado, o PLE será trabalhado pela equipe de programação do centro de operação, segunda etapa, programação. Para executar suas atividades o sistema SGD habilita uma nova parte do formulário PLE, parte inferior da primeira página, apresentada em cinza na Figura 18.

Pedido de Liberação de Equipamento

Em Programação

CEMIG | CEMIG/1333/2014

Pessoa Credenciada: RICARDO D. DE OLIVEIRA | N° Pessoa/RG: 44963 | Gerência/Unidade: HT/SE

Supervisor de Serviço: RICARDO D. DE OLIVEIRA | N° Pessoa/RG: 44963 | Gerência/Unidade: HT/SE

União/Estação: SIE JUIZ DE FORA 1

Equipamento(s) Desligado(s): LD JUIZ DE FORA 1 - Sincragi 138 KV

Condição Requerida: Fora de Serviço Isolado Isolado/Alternado (LT/UD) Em Serviço Outras Condições (Detalhes no Campo "Observações")

Serviço a ser Executado: Conectar secundário do TF da LT ao circuito de sincronismo da SIE.

Pessoa Credenciada:

Inicio Previsto: Data: 11/03/2016 Hora: 09 h 30 Min. **Término Previsto:** Data: 11/03/2016 Hora: 11 h 30 min. **Haverá Dispensa Provisória?** Sim Não

Há riscos de desligamentos de equipamentos durante esta Intervenção? Não Sim e Adicional (caracterizar)

Período Diário: **Indisponibilidade Prevista:** 09 h 30 min às 11 h 30 min e de -- h -- min às -- h -- min

Condição Especial: -- h -- min às -- h -- min e de -- h -- min às -- h -- min

Em caso de necessidade, pode-se dispor do equipamento em 02 h 00 min

Observações: Este serviço é para possibilitar a inserção do circuito de fechamento do disjuntor 1K4 no circuito de sincronismo da SIE.

Assinatura: RICARDO D. DE OLIVEIRA (via web) | **Telefone:** 3130111333 | **DTN:** 03/03/2016

Pedido Recebido por: Héber Assis Góes | **Data:** 16/03/2016 | **Hora:** 09 h 46 min

Manobras: **Inicio para Desligar:** 09:30 | **Término para Reigar:** 11:30 | **Haverá Dispensa Provisória?** Sim Não

Serviço Programado: **Inicio:** 09:30 | **Data:** 17/03/2016 | **Término:** 11:30 | **Data:** 17/03/2016

Período Diário: **Indisponibilidade Prevista:** 09:30 às 11:30 e de -- às --

Condição Especial: -- às -- e de -- às --

Há período com restrição para execução desta intervenção? Sim Não | **Qual o período?** De 17:00 às 22:00

Bouletemos e Dispositivos Operados para Gerar a Condição Requerida:

Centro de Operações (Programação):

Pessoas Involvidas na Programação	Notificado		Confirmado		
	Gerência	Data	Hora	Data	Hora
1. RICARDO D. DE OLIVEIRA	HT/SE				
2. SIE JUIZ DE FORA 1					
3. 091-00-018-779-16 (VOLTANTH)	CNS	26/03/2016	11:46		
4.					
5.					

Documentos vinculados:

Observações:

Programado por: Pedro Vinícius de Souza Leite (em --/--/--, às -- h -- min)

PLE com Alteração de SAPRE: Sim Não | **PLE com Bloqueio de RA:** Sim Não

GPT: Sim Não | **Comentário GPT:** --Selecione-- | **Substituição:** Sim Não

SQ: Sim Não | **Relevante:** Sim Não

Comentário PLE:

-- Verificar necessidade de alteração no SAPRE.

Botões: Salvar, Cancelar, Inserir, Recomendar, Programar, Fechar, **Realidade Virtual**

Figura 18 - Formulário PLE habilitado para a programação

De forma a facilitar o acesso ao SRVCemig na etapa de programação foi inserido o botão “Realidade Virtual” na parte mais inferior do formulário, onde já existem outros botões de controle do programador. A Figura 19 mostra o detalhe deste botão.

Figura 19 Botão de acesso ao SRVCemig para o programador

Para a terceira etapa, a etapa de liberação da intervenção, não foi inserida ainda a forma de chamada ao sistema. Isto se justifica, pois, a interface usada nesta etapa está no momento sendo redesenhada e a definição da forma de acesso ao SRVCemig será parte deste redesenho.

4.4 Considerações Finais

A integração entre os sistemas facilita a chamada do SRVCemig através das rotinas de trabalho hoje já existentes e que são desenvolvidas dentro do Sistema de Gerenciamento de Desligamentos – SGD. Essa facilidade incentiva o uso do sistema pelos usuários do SGD que são todos os envolvidos no processo de programação. Após a integração entre os sistemas houve um expressivo aumento no uso rotineiro do sistema.

Capítulo 5

Resultados

5.1 Introdução

Para permitir a avaliação do uso pela equipe de programação de intervenções do SRVCemig integrado ao SGD foi definida a seguinte estratégia:

Inicialmente aplicou-se uma pesquisa para se verificar a visão dos programadores de intervenção com relação à necessidade de se conhecer melhor as estações sob programação. O apêndice I traz as perguntas que fizeram parte desta pesquisa. Apresentou-se à equipe, os sistemas integrados e a forma de uso dos mesmos. Solicitou-se, então, que os mesmos fizessem o uso do sistema durante uma semana de forma a se familiarizar com o mesmo. Ao final deste período os programadores de intervenção foram chamados a efetuar uma programação na qual deveriam utilizar o SGD integrado ao SRVCemig.

Ao concluir a programação, os programadores de intervenção foram chamados a responder uma pesquisa de avaliação. O apêndice II traz as perguntas desta pesquisa.

A amostra em análise contou com sete programadores de intervenção.

O programador de intervenções é um técnico ou engenheiro de operação do sistema capacitado para compreender a operação do sistema elétrico de potência. É treinado nos conhecimentos relacionados aos equipamentos do sistema, suas funções e comportamento. Conhece o inter-relacionamento entre os equipamentos e os diversos arranjos físicos unifilares de uma estação. Além disso possui capacitação relacionada à funcionalidade dos sistemas de proteção. É treinado, também, nos aspectos relacionados à segurança tanto de pessoas quanto do sistema elétrico.

A pesquisa do apêndice I foi elaborada pelo autor desta dissertação baseado em seus conhecimentos e experiência na operação do sistema elétrico de potência.

Já a pesquisa do apêndice II foi adaptada da pesquisa aplicada em Barata; Ribeiro; Nunes (2015).

5.2 Avaliação da necessidade em se melhor conhecer as estações

Antes de serem apresentados ao novo sistema, a equipe de programadores foi avaliada quanto a percepção da necessidade de ter maiores conhecimentos da estação que está sob programação e também quanto ao uso de ferramentas que pudessem melhorar o conhecimento dos arranjos físicos das estações – Pesquisa do Apêndice 1.

Entre as ferramentas propostas foram sugeridos o uso de projetos em CAD com os detalhes dos arranjos, fotos, filmes e em algumas situações a presença física nas estações.

Avaliando as respostas à questão 1 (*Na programação de intervenções você usa quais dos recursos de apoio abaixo?*), verifica-se que, do conjunto de 7 programadores, três disseram já ter feito o uso de fotos. Projetos em CAD foram usados por dois programadores e a opção de filme foi usada por somente um programador. Na maioria destas citações, estes recursos estão entre os menos usados.

A Tabela 2 apresenta a priorização de uso dos diversos insumos propostos.

Tabela 2 Respostas à questão 1 - Insumos mais usados

	Prog1	Prog2	Prog3	Prog4	Prog5	Prog6	Prog7
<i>DO</i>	4	2	2	1	1	2	1
<i>SCADA</i>	1	1	3	3	4	1	2
<i>CAD</i>	0	0	0	0	0	5	5
<i>Foto</i>	0	0	0	0	5	6	3
<i>Filmes</i>	0	0	0	0	0	0	7
<i>IO COS</i>	2	3	1	2	2	3	4
<i>IO ONS</i>	3	4	4	4	3	4	6

Prioridade: 1 = Mais usa 7 = Menos usa 0 = Não usa

Para cinco programadores a necessidade de contato com as equipes de campo ocorrem entre 90 e 100% das programações trabalhadas. Para dois programadores essa necessidade se situou entre 20 e 50% das programações segundo as respostas à questão 2.

Na avaliação da questão 3 (*Nos contatos rotineiros com as equipes de campo (solicitante/executante/equipe local) você já encontrou dificuldade para discutir detalhes da programação em função de não conhecer detalhes dos arranjos ou dos equipamentos?*) verifica-se que a totalidade dos programadores revelou já ter tido dificuldade em discutir detalhes sobre determinada intervenção em função de não conhecer detalhes das instalações.

Instados a priorizar quais recursos poderiam ser mais úteis para facilitar as conversas com as equipes de campo, quatro programadores priorizaram a presença na estação, dois o uso de CAD e um priorizou o uso de fotos conforme resposta à questão 4 (*Numere (1 a 4) os recursos, por ordem de prioridade (1 = mais e 4 = menos prioritário), que você acredita que poderiam facilitar suas conversas com as equipes de campo (solicitante/executante/equipe local) durante a programação das intervenções*).

A totalidade dos entrevistados julgou necessária a presença nas instalações quando as intervenções envolverem alterações físicas (questão 5) e 4 quando envolverem situações de montagem (questão 6) ou trabalho próximo a outros equipamentos (questão 7).

Por fim, também a totalidade de programadores indicou acreditar que o conhecimento em detalhes de uma estação tanto pelas equipes de campo quanto pela equipe de programadores facilitaria os contatos entre as mesmas (questão 8).

Corrobora com esse resultado a avaliação em Yao J et al., 2005 de que um dos objetivos em aplicações colaborativas suportadas por RV é permitir a análise de características físicas dos ambientes entre os usuários, por meio de ambientes virtuais. Definem, ainda, que um ambiente de colaboração virtual é como um “meeting point” em um espaço compartilhado.

5.3 Intervenção proposta – Estudo de caso

Para avaliar o uso do SRVCemig integrado ao SGD foi proposta uma intervenção fictícia para ser preparada por todos os programadores. Para tanto, seguiu-se todo o trâmite normal de solicitação de uma intervenção, com o cadastro da solicitação no Sistema de Gerenciamento de Desligamentos. Foram cadastradas sete intervenções idênticas e o supervisor da programação distribuiu as mesmas para cada um dos programadores.

Solicitou-se aos voluntários que preparassem a programação simultaneamente. E, de acordo, com o resultado da primeira pesquisa, foi selecionada uma intervenção que envolvesse obras e desconexões de forma a maximizar o uso do novo sistema.

A Figura 20 abaixo traz os detalhes da intervenção no formulário eletrônico do SGD:

<p>Linha/Estação: UH EMBORCAÇÃO</p> <p>Equipamento(s) Desejado(s): Barra Nº2 - OP - 500 kV; Disjuntor 8U4; Disjuntor 9U4; Unidade Geradora G1 298 MW; Transformador T7 500-138-13,8 kV 300 MVA</p>				
Pessoa Credenciada	<p>Condição Requerida: <input type="checkbox"/> Fora de Serviço <input checked="" type="checkbox"/> Isolado <input type="checkbox"/> Isolado/Aterrado (LT/LD) <input type="checkbox"/> Em Serviço <input type="checkbox"/> Outras Condições (Detalhes no Campo "Observações")</p> <p>Serviço a ser Executado: Desmontagem dos 6 pórticos e barramento rígido que interliga os vãos 4, 5 e 6 aos vãos 8 e 9U.</p>			
	Início Previsto:	Data : 15/11/2016	Hora 08 h 00 min	
	Término Previsto:	Data : 15/11/2016	Hora 17 h 00 min	
	Haverá Dispensa Provisória? <input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não			
	Há riscos de desligamentos de equipamentos durante esta Intervenção? <input checked="" type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Inerente <input type="checkbox"/> Adicional (caracterizar)			
	Período Diário:	Indisponibilidade Prevista:	08 h 00 min às 17 h 00 min e de - - h - - min às - - h - - min	
	Condicação Especial: - - h - - min às - - h - - min e de - - h - - min às - - h - - min			
	Em caso de necessidade, pode-se dispor do equipamento em 04 h 00 min			
	Observações: O desligamento da barra 2 se justifica devido à proximidade com os barramentos rígidos que serão movimentados.			
Assinatura PAULO ROBERTO M. DO PRADO (via web)		Telefone 3135064861	SIT 999999	
		Data 09/05/2016 (17:14)		

Figura 20 PLE com a intervenção proposta

A estação escolhida foi a SE Emborcação onde realmente ocorrerá nos próximos meses uma série de alterações na barra de 500kV com a inserção de mais disjuntores para os transformadores existentes e também a inserção de mais um transformador 500-138kV.

A intervenção, em princípio fictícia, tem grandes chances de ocorrer exatamente como solicitada quando da real execução das obras, dando um realismo ao serviço solicitado.

Foi solicitado o serviço de desmontagem de 6 pórticos intermediários e de apoio, que sustentam uma barra que interliga os vãos de números 4, 5 e 6 aos vãos 8 e 9 do setor de 500kV da SE.

Esses pórticos a serem desmontados não são identificáveis nos diagramas unifilares que rotineiramente são utilizados pelos programadores.

A Figura 21 Área de 500kV da SE Emborcação – Equipamentos solicitados apresenta a área de 500kV no unifilar da SE Emborcação e a identificação dos equipamentos solicitados na intervenção. Não se visualizam os pórticos e a barra que serão desmontados.

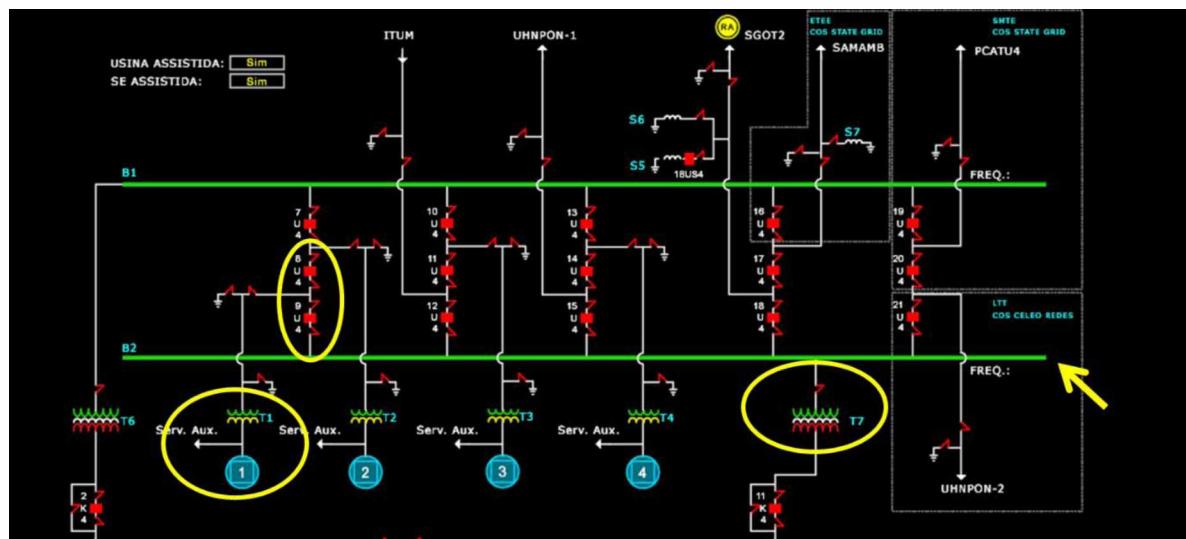


Figura 21 Área de 500kV da SE Emborcação – Equipamentos solicitados

O uso do SRVCemig permitirá a visualização dos pórticos e suas interferências com os demais elementos da subestação favorecendo uma boa execução da programação da intervenção.

A Figura 22 SRVCemig – SE Emborcação – Pórticos e Barra a serem trabalhados apresenta a interface do SRVCemig onde pode-se identificar os elementos solicitados

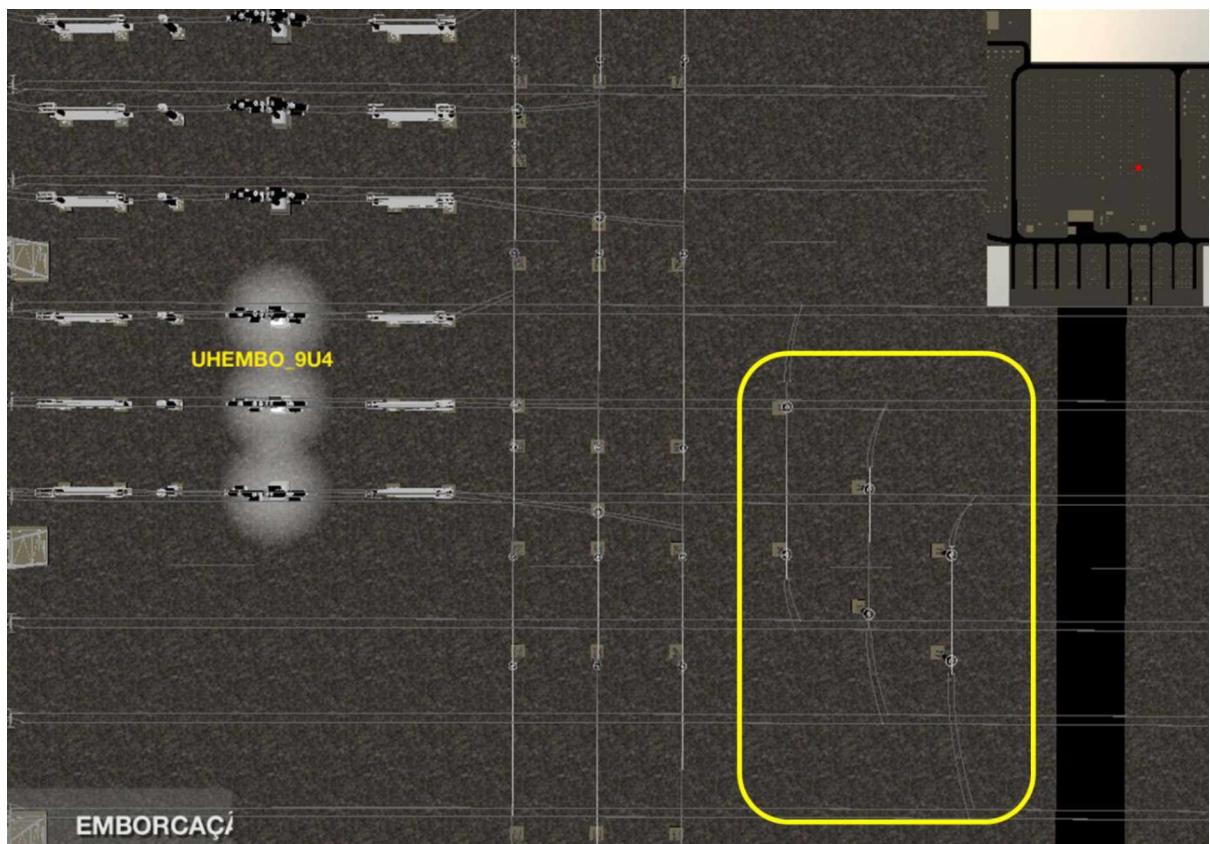


Figura 22 SRVCemig – SE Emborcação – Pórticos e Barra a serem trabalhados

5.4 Resultados do uso do sistema

Após a elaboração da programação, os programadores responderam uma pesquisa abordando o grau de adequação do sistema.

A Tabela 3 demonstra a avaliação da equipe para sete requisitos propostos.

Tabela 3 Grau de adequação do SRVCemig ao SGD

Questões Propostas	Adequação				
	Totalmente	Muito	Parcialmente	Pouco	Nada
Quão adequado é o sistema de Realidade Virtual – SRV integrado ao SGD no auxílio à programação de intervenções?	42,9	42,9	14,2	0	0
Quão realístico é o ambiente e objetos modelados nas estações?	14,3	85,7	0	0	0
Como você avalia a usabilidade do sistema? Considere o quanto é amigável as informações contidas no sistema, o uso de mouse e teclado, os ícones e botões, etc.)	0	14,3	85,7	0	0
Qual é o seu grau de motivação para o uso do Sistema de Realidade Virtual Cemig?	28,6	71,4	0	0	0
O quanto o uso do Sistema de Realidade Virtual melhorou seu processo de programação da intervenção em questão, ajudando no entendimento do serviço a ser executado e no conhecimento da estação e arranjos envolvidos?	28,6	57,1	14,3	0	0
O quanto você recomendaria o uso do Sistema de Realidade Virtual para outros programadores?	28,6	71,4	0	0	0
Em linhas gerais o quanto satisfeito você ficou com o uso do Sistema de Realidade Virtual na atividade de programação de intervenções?	14,3	57,1	28,6	0	0

Somando as respostas “totalmente adequado e muito adequado” como um índice de favorabilidade podemos verificar que houve 85,8% de favorabilidade no quesito de adequação na integração entre o SGD e o SRVCemig.

Houve 100% de favorabilidade na percepção de realismo das cenas e modelos apresentados pelo SRVCemig. Essa percepção coroa o cuidado no desenvolvimento do SRVCemig, desde a obtenção dos insumos quanto no desenvolvimento das cenas.

Outro quesito extremamente promissor na avaliação da integração do SRVCemig com o SGD é que houve 100% de favorabilidade na motivação da equipe no uso do SRVCemig. Pode-se inferir que realmente o SRVCemig poderá preencher a lacuna apontada pela equipe quanto à necessidade de melhor conhecer fisicamente as estações nas quais eles estão desenvolvendo suas atividades.

Houve 85,7% de favorabilidade no reconhecimento da utilidade do uso do SRVCemig no desenvolvimento do trabalho, como ferramenta capaz de melhorar a performance do programador. Percebe-se, ainda, 100% de favorabilidade na intenção de recomendar o uso do sistema a outros programadores.

Numa avaliação global quanto à satisfação no uso do SRVCemig obteve 71,4% de favorabilidade.

Além de responder às questões formuladas foi solicitado no formulário de pesquisa que os programadores apontassem pontos fortes e fracos do sistema. Foram apontados os seguintes pontos fortes:

- Possibilidade de se conhecer a SE, sem necessariamente ter que ir fisicamente até a mesma;
- Grande potencial do sistema no auxílio à familiarização com os arranjos e melhoria nas programações, e;
- Melhora na comunicação com as equipes de campo;

Mais uma vez a equipe demonstrou a possibilidade do SRVCemig suprir com eficiência as necessidades demonstradas pela equipe na primeira pesquisa.

O único requisito em que a predominância não esteve concentrada entre “muito adequado” e “totalmente adequado”, sendo que a favorabilidade ficou em 14,3% foi relativo à usabilidade do sistema.

Para o requisito da usabilidade a maior concentração foi majoritariamente no nível “parcialmente adequado”, 85,7%.

Avaliando as indicações dos pontos fracos do sistema verificamos que todos foram relacionados à usabilidade.

Basicamente os apontamentos quanto à usabilidade dizem respeito a três pontos principais:

- Dificuldades de manipulação de cena com o uso do mouse e teclas de direção;
- Falta de controle do ângulo vertical das câmeras em primeira e terceira pessoa, e;
- Dificuldade na identificação de equipamentos, principalmente as barras de 500kV.

O SRVCemig permite a manipulação da cena através de outros dispositivos como por exemplo joystick. No uso no ambiente empresarial essa solução ainda não foi viabilizada,

embora não esteja descartada. Se o foco fosse somente a equipe de programadores poder-se-ia suprir seus computadores com esse recurso. No entanto, o sistema está sendo pensado para uso por todos os envolvidos na operação e manutenção de estações, o que dificulta a uso de joystick.

Na versão desktop do sistema, há a possibilidade de se fazer a movimentação vertical das câmeras. Por simplificação na geração da versão web essa possibilidade foi suprimida. A avaliação dos usuários quanto a essa situação foi passada a equipe de desenvolvimento que já incluiu a movimentação vertical das câmeras na versão web.

Por fim, a dificuldade de identificação das barras de 500kV, por falta de indicação, se deve a questões de concepção do sistema. O SRVCemig foi concebido para se conectar ao SCADA e obter do mesmo os dados sobre os equipamentos. Para todos os equipamentos existentes na base de dados do SCADA há uma estratégia de visualização desses dados no SRV. No SCADA não há a identificação de barras na base de dados. As barras somente são identificadas nos unifilares das estações em informações estáticas, informações de background nas interfaces. Com o uso e o melhor conhecimento da disposição física dos elementos em campo o usuário deixará de ter essa dificuldade de identificação.

Capítulo 6

Conclusões e Trabalhos Futuros

6.1 Introdução

Este capítulo apresenta a visão geral acerca da implementação do sistema integrado SGD/SRVCemig e as conclusões advindas desta nova ferramenta de trabalho.

Descreve-se, ainda, quais os próximos passos no uso do SRVCemig.

6.2 Conclusões

Considerando um padrão comum às empresas de energia, as atividades de manutenção devem ser controladas pelo centro de operação desde sua fase de planejamento.

Essa coordenação envolve um profundo conhecimento de operação pelas equipes do centro e também envolve a necessidade de diversos contatos entre as equipes de campo e as equipes do centro.

Na fase de planejamento, de programação das intervenções, a equipe de programação precisa compreender com clareza o trabalho a ser executado de forma a garantir todos os parâmetros de segurança envolvidos e entregar às equipes de tempo real um planejamento adequado.

Em linhas gerais essa pesquisa indicou que a visão global da equipe é a de que há uma carência no conhecimento dos arranjos físicos das estações e apontam para a percepção de que ferramentas que possam reduzir esta carência seriam muito bem-vindas.

Nessa linha indicaram o alto grau de adequação do SRVCemig em suprir esta carência.

O conhecimento do arranjo físico das estações implica uma significativa melhora de desempenho dessas equipes uma vez que traz dois pontos de alta relevância:

- Melhora a interpretação e entendimento das atividades a serem desempenhadas em campo, melhorando a qualidade da programação, notadamente naquelas onde questões relacionadas aos arranjos físicos são preponderantes, e;
- Facilita o contato entre as equipes que passarão a discutir sobre questões físicas das estações com um nível de conhecimento mais equilibrado.

Além disso, como o SRVCemig está integrado ao sistema de gerenciamento de desligamentos, ele está disponível a todas as equipes envolvidas e permitirá discussões integradas como se ambos estivessem na estação, incrementando o poder de colaboração entre as equipes de programação e as equipes de campo. Assim, essa integração SGD – SRVCemig constitui-se um sistema integrado de colaboração – ou “meeting point” (YAO J et al., 2005).

6.3 Trabalhos Futuros

Nesta implantação a chamada ao SRVCemig através do SGD é baseada no nome da estação cadastrado no PLE. Uma vez feita a chamada o SRVCemig traz uma visão geral da subestação chamada. Como o PLE traz, além do nome da estação, também os equipamentos a serem trabalhados, pode-se desenvolver um tratamento a respeito da localização destes equipamentos e definir uma posição de câmera inicial que apontasse para esses equipamentos, facilitando a visualização.

O desenvolvimento desta funcionalidade dependerá de desenvolvimentos no SRVCemig para que o mesmo trate a lista de equipamentos e defina a melhor posição de câmera. No SGD haverá a necessidade de se compatibilizar o banco de dados de equipamentos com o banco de dados do SCADA, que é o banco de dados usado no SRVCemig.

Uma outra possibilidade é a associação do SRVCemig também com o SCADA de forma que a chamada do SRVCemig possa acontecer tanto pelo SGD quanto pelo SCADA uma vez

que as telas do SCADA são também comumente usadas pela equipe de programação e facilitaria a associação direta dos ambientes 2D (unifilar do SCADA) com o 3D (SRVCemig).

Referências Bibliográficas

- ARRUDA, R. V.; SILVA, W. A.; LAMOUNIER, E. A; RIBEIRO, M. W; CARDOSO, A. & FORTES, N. Realidade virtual não-imersiva como tecnologia de apoio no desenvolvimento de protótipos para reconstituição de ambientes históricos para auxílio ao ensino. V Workshop de Realidade Virtual e Aumentada – WRVA 2008, Unesp-Bauru, 2008.
- BARATA, P. N. A.; RIBEIRO, M.; NUNES, M. V. A. Consolidating Learning in Power Systems: Virtual Reality Applied to the Study of the Operation of Electric Power Transformers. *IEEE Transactions on Education*, Vol. 58, N°. 4, 2015
- BARCELOS, M. A. et al. Uso de realidade aumentada na visualização de componentes de subestações de energia elétrica. In: XI Conferência de Estudos em Engenharia Elétrica. 2013.
- BOWMAN, D.; KRUIJFF, E.; LaVIOLA, J.; POUPYREV, I. *3D User Interfaces – Theory and Practice*, Addison Wesley; 2011.
- BOWMAN, D.; RAJA, D.; LUCAS, J.; and DATEY, A. Exploring the Benefits of Immersion for Information Visualization. *Proceedings of HCI International*, 2005.
- BYRNE, C. Water On Tap: The Use Of Virtual Reality As An Educational Tool. Doctoral Dissertation, University of Washington, Human Interface Technology Lab, 2009.
- CARDOSO, A.; LAMOUNIER, E. A Realidade Virtual na Educação e Treinamento. In: TORI, Romero; KIRNER, Claudio; SISCOUTO, Robson. *Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada*. Belém: SBC, 2006. P. 304-312.
- CARDOSO, A; LAMOUNIER, E; KIRNER, C; KELNER, J. *Tecnologias e Ferramentas para o Desenvolvimento de Sistemas de Realidade Virtual e Aumentada*. Recife: Editora Universitária UFPE, 2007.
- CHANG, Z. et al. A training simulation system for substation equipments maintenance. In: *Machine Vision and Human-Machine Interface (MVHI)*, 2010 International Conference on. 2010. p. 572–575.
- COELHO, D.; COELHO, R. and CARDOSO, A. “Use of Virtual Reality in process control in a mine in Brazil – a case study”. *Anais do XIII Symposium on Virtual and Augmented Reality*, Uberlandia, MG, 2011.
- COLOMBO S, NAZIR S, MANCA D. Immersive virtual reality for decision making in process industry-experiment results. Society of Petroleum Engineers 2014.

FENG, Y.; CHENG, W. Development of a Distributed Training Simulator for Power System Based on HLA. Power and Energy Engineering Conference, 2009. APPEEC 2009. Asia-Pacific.

GUOXIAOLI, FENGLI, LIUHONG. Application of the Virtual Reality Technologies in Power Systems. 2nd International Conference on Future Computer and Communication 2010. V3 – p41-44

JANKOWSKI, J.; and DECKER, S.; A Dual-Mode User Interface for Accessing 3D Content on the World Wide Web, WWW 2012 – Session: User Interfaces and Human Factor, Lyon – France, 2012.

KEIM, D. "Information Visualization and Visual Data Mining." IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, vol. 7, n. 1, jan-mar, 2002.

KIRNER, C.; KIRNER, T. "Evolução e Tendências da Realidade Virtual e da Realidade Aumentada" In: Livro do XIII Pré-Simpósio de Realidade Virtual e Aumentada, Uberlândia, 2011, pp. 10-25.

KIRNER, C.; KIRNER, T. Virtual Reality and Augmented Reality Applied to Simulation Visualization. In: SHEIKH, El Asim; AJEELI, Abid Thyab Al; ABU-TAIEH. Simulation and Modeling: Current Technologies and Applications. New York: IGI Publishing, 2008

KIRNER, C.; PINHO, M. Introdução à Realidade Virtual. Minicurso no 1º Workshop de Realidade Virtual, São Carlos, SP, 1997

KIRNER, C.; SICOUTO, R. Realidade Virtual e Aumentada: Conceitos, Projeto e Aplicações. Rio de Janeiro: Livro do pré-simpósio, IX Symposium on Virtual and Augmented Reality, 2007. p.9

LANDBERG, V. Developing User Interfaces in Virtual Reality; Department of Computing Science; Umeå University, Master's Thesis, 2000.

LOWDERMILK, T. Design Centrado no Usuário, O'Reilly Novatec; 2013.

LUZ, R.; KIRNER, T. Processo de desenvolvimento de Sistemas de Realidade Virtual. In: TORI, Romero; KIRNER, Cláudio; SISCOUTO, Robson (Ed.). Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada. Livro do pré simpósio SVR 2006. Belém: Editora SBC, 2006, cap.8, p.109-127.

MORAIS, I.; ANDRADE, H.; SILVA, A.; CARDOSO, A. Realidade Virtual Para Treinamento em Normas de Segurança Para Manutenções de Redes Elétricas; Anais do Workshop de Realidade Virtual e Aumentada de 2013; Jataí, GO, 2013.

NAZIR S, KLUGE A, MANCA D. Can Immersive Virtual Environments Make the Difference in Training Industrial Operators? Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society, Europe Chapter, 2013 Annual Conference.

PREECE, J.; SHARP, R.; SRARP, H. *Interaction Design: Beyond Human-Computer Interaction*, John Wiley & Sons 2002.

REIS, P. R. J.; MATOS, C.; DINIZ, P.; SILVA, D; DANTAS, W.; BRAZ Jr., G.; PAIVA, A.C.; ARAÚJO, A.S. Uma Aplicação Imersiva de Realidade Virtual para Treinamento Colaborativo de Operadores de Sistemas Elétricos. *XVII Symposium on Virtual and Augmented Reality 2015*

SILVA, A.; CARDOSO, A; LAMOUNIER Jr., E.; PRADO, P.; FERREIRA, J. Adequação de uma Engine de Jogos Visando a Construção de Sistemas de Realidade Virtual para o Treinamento de Operadores e Controle de Subestações de Energia Elétrica. In: *Anais do Simpósio Brasileiro de Games - Workshop de Realidade Virtual e Aumentada aplicada a Games – SBGames 2013*, 2013, São Paulo, SP, Brasil.

SILVA, A.; CARDOSO, A; LAMOUNIER Jr., E.; PRADO, P.; FERREIRA, J. Uso da Engine de Jogos Unity3D para Sistemas de Realidade Virtual Aplicado à Monitoramento e Controle de Subestações de Energia Elétrica. In: *Anais do X workshop de Realidade Virtual e Aumentada – WRVA'2013*, 2013, Jataí, GO, Brasil.

SILVA, A.; CARDOSO, A; LAMOUNIER Jr., E.; PRADO, P.; FERREIRA, J; OLIVEIRA, L, VRCEMIG: a Virtual Reality System for Real Time Control of Electric Substations. In: *IEEE Virtual Reality, 2013*, Orlando - Florida. Research Demonstrations – RD1, 2013.

TORI, R. A presença das Tecnologias Interativas na Educação. *Revista de Computação e Tecnologia da PUC-SP*. 2011

TORI, R.; KIRNER, C. and SISCOUTTO, R. Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada. Belém: *VIII Symposium on Virtual Reality*, 2006.

UNITY3D. Disponível em: < <http://unity3d.com/pt/unity> > Acesso em: 28 de junho de 2016.

YAO J, FERNANDO T, TAWFIK H, ARMTIAGE R, BILLING I. A VR-centered workspace for supporting collaborative urban planning. *The Ninth International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design Proceedings 2005*. p. 564–569 Vol. 1

Apêndice I

Pesquisa Pré-Implantação

Programação de Intervenções

Para as questões abaixo favor responder conforme as instruções disponíveis. Há a possibilidade de incluir comentários para cada resposta.

1. Na programação de intervenções você usa quais dos recursos de apoio abaixo? Numero-os em ordem de prioridade (1 – mais usa; 7 – menos usa; 0 – não usa – coloque 0 em todos que você não usa)):

- Diagrama de Operação
- Unifilar do SCADA (SSCD)
- Desenhos em perspectivas, desenhos CAD com cortes da área sob intervenção
- fotos do local da intervenção ou do equipamento
- filmes do local da intervenção ou do equipamento
- Instrução de Operação do COS
- Instrução de Operação do ONS

Comentários:

2. Durante a programação dos seus PLEs você faz contato com o solicitante e/ou executante? Escolha a faixa percentual que mais representa a sua realidade.

- 0% a 20% das programações;
- 20% a 50% das programações
- 50% a 70% das programações
- 70% a 90% das programações
- 90% a 100% das programações

Comentários:

3. Nos contatos rotineiros com as equipes de campo (solicitante/executante/equipe local) você já encontrou dificuldade para discutir detalhes da programação em função de não conhecer detalhes dos arranjos ou dos equipamentos?

Sim Não

Comentários:

4. Numere (1 a 4) os recursos, por ordem de prioridade (1 = mais e 4 = menos prioritário), que você acredita que poderiam facilitar suas conversas com as equipes de campo (solicitante/executante/equipe local) durante a programação das intervenções. Coloque 0 (zero) naqueles que julgar desnecessários:

– fotos do local da intervenção e/ou equipamentos
 – filme do local da intervenção e/ou equipamentos
 – desenhos em perspectivas, desenhos CAD com cortes da área da intervenção
 – discutir os detalhes presencialmente na estação

Comentários:

5. Para aquelas intervenções envolvendo desconexões/reconexões, grandes áreas sob intervenção, obras e mudanças de arranjos você acredita que o trabalho do programador seria facilitado se o mesmo pudesse ir ao local da intervenção?

Sim Não

Comentários:

6. Para aquelas intervenções onde são necessários isolamentos de áreas ou equipamentos adjacentes à área ou equipamento a ser trabalho devido à proximidade você acredita que o trabalho do programador seria facilitado se o mesmo pudesse ir ao local da intervenção?

Sim Não

Comentários:

7. Para aquelas intervenções onde são necessárias montagens de estruturas ou passagem de equipamentos próximos a equipamentos energizados, você acredita que o trabalho do programador seria facilitado se o mesmo pudesse ir ao local da intervenção?

Sim Não

Comentários:

8. Você acredita que se tanto o programador, quanto as equipes locais tivessem o mesmo nível de conhecimento da estação envolvida em uma programação isso facilitaria os entendimentos feitos durante a programação?

Sim Não

Comentários:

Apêndice II

Pesquisa de Avaliação

Avaliação do Suporte do Sistema de Realidade Virtual – SRV ao Processo de Programação de Intervenções

Para as questões abaixo favor responder conforme a tabela de adequação abaixo:

Totalmente	Muito	Parcialmente	Pouco	Nada

Marcar somente uma alternativa para cada questão.

A identificação do respondente é facultativa.

Respondente: _____

1. Quão adequado é o sistema de Realidade Virtual – SRV integrado ao SGD no auxílio à programação de intervenções?

Totalmente	Muito	Parcialmente	Pouco	Nada
Adequado	Adequado	Adequado	Adequado	Adequado

2. Quão realístico é o ambiente e objetos modelados nas estações?

Totalmente	Muito	Parcialmente	Pouco	Nada
Realístico	Realístico	Realístico	Realístico	Realístico

3. Como você avalia a usabilidade do sistema? Considere o quanto é amigável as informações contidas no sistema, o uso de mouse e teclado, os ícones e botões, etc.)

Totalmente	Muito	Parcialmente	Pouco	Nada
Amigável	Amigável	Amigável	Amigável	Amigável

4. Qual é o seu grau de motivação para o uso do Sistema de Realidade Virtual Cemig?

Totalmente Motivado	Muito Motivado	Parcialmente Motivado	Pouco Motivado	Nada Motivado

5. O quanto o uso do Sistema de Realidade Virtual melhorou seu processo de programação da intervenção em questão, ajudando no entendimento do serviço a ser executado e no conhecimento da estação e arranjos envolvidos?

Totalmente	Muito	Parcialmente	Pouco	Nada

6. O quanto você recomendaria o uso do Sistema de Realidade Virtual para outros programadores?

Totalmente	Muito	Parcialmente	Pouco	Nada

7. Em linhas gerais o quanto satisfeito você ficou com o uso do Sistema de Realidade Virtual na atividade de programação de intervenções?

Totalmente Satisfeito	Muito Satisfeito	Parcialmente Satisfeito	Pouco Satisfeito	Nada Satisfeito

Após responder as questões acima favor indicar os pontos positivos e negativos percebidos no sistema.

Pontos Positivos:

Pontos Negativos: