



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Desenvolvimento de um Laboratório Virtual para Capacitação Tecnológica a Distância em Proteção de Sistemas Elétricos

Carlos Henrique de Castro Silva

FORTALEZA – CEARÁ

- 2011 -



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Desenvolvimento de um Laboratório Virtual para Capacitação Tecnológica a Distância em Proteção de Sistemas Elétricos

Autor

Carlos Henrique de Castro Silva

Orientador

Prof. Dr. Giovanni Cordeiro Barroso

Co-Orientadora

Profa. Ph.D. Ruth Pastôra Saraiva Leão

*Dissertação de Mestrado apresentada à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará como parte dos requisitos para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Elétrica.***

FORTALEZA – CEARÁ

- 2011 -

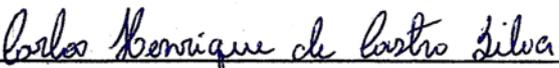
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Pós-Graduação em Engenharia - BPGE

-
- S579d Silva, Carlos Henrique de Castro.
Desenvolvimento de um laboratório virtual para capacitação tecnológica a distância em proteção de sistemas elétricos. / Carlos Henrique de Castro Silva. – 2011.
92 f. : il. color., enc. ; 30 cm.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Elétrica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2011.
Área de Concentração: Energias Renováveis e Sistemas Elétricos.
Orientação: Prof. Dr. Giovanni Cordeiro Barroso.
Coorientação: Prof^a. Dr^a. Ruth Pastôra Saraiva Leão.
1. Engenharia Elétrica. 2. Sistemas de Energia Elétrica. 3. Relés Elétricas. I. Título.

Carlos Henrique de Castro Silva

Desenvolvimento de um Laboratório Virtual Para Capacitação Tecnológica a Distância em Proteção e Sistemas Elétricos

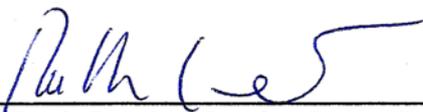
Esta Dissertação foi julgada adequada para a obtenção de título de Mestre em Engenharia Elétrica, Área de Concentração em Eletrônica de Potência e Acionamentos, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará.


CARLOS HENRIQUE DE CASTRO SILVA

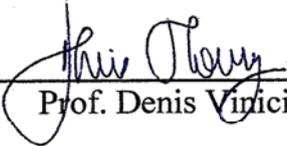
Orientador:

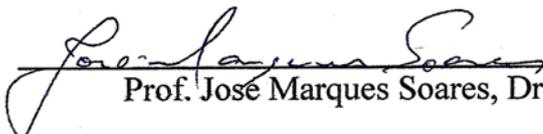

Prof. Giovanni Cordeiro Barroso, Dr.

Co-orientadora:


Prof.^a Ruth Pastora Saraiva Leão, Dr.^a

Banca Examinadora:


Prof. Denis Vinicius Coury, Dr.


Prof. José Marques Soares, Dr.

Fortaleza, 14 de novembro de 2011

Resumo

Com o aumento na demanda de energia elétrica e a exigência de maior confiabilidade, segurança e eficiência na operação de sistemas elétricos de potência por parte dos órgãos reguladores, aumentou a necessidade por profissionais cada vez mais qualificados em planejamento e operação dos sistemas de potência. No entanto, com a necessidade de atualização técnica continuada e em decorrência da política de racionalização de custos e de disponibilização de pessoal, as técnicas de ensino a distância têm evoluído e alcançado abrangência nas mais diferentes áreas do conhecimento. Este trabalho apresenta um Simulador para Treinamento Presencial e a Distância em Operação e Proteção de Sistemas Elétricos (STOP). O simulador STOP é desenvolvido em *Java*, podendo ser utilizado em ambientes: Unix, Linux, Windows, MacOS. O STOP pode ser aplicado em treinamento presencial e a distância e está voltado à capacitação de estudantes de engenharia, técnicos e profissionais da área de sistemas elétricos de potência. O STOP está integrado a um Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA), o *Moodle*. A integração enriquece o ensino-aprendizado tornando-o mais efetivo com o uso de uma ferramenta capaz de simular situações reais. Os simuladores em ambientes virtuais são alternativas para a redução de custos em empresas e instituições de ensino. O simulador STOP é um software composto de diagramas unifilares, com a representação dos principais componentes do sistema de proteção, tornando possível ao usuário simular faltas e reconfigurar o sistema elétrico, por meio de ajustes de relés para coordenação da proteção e redefinição de parâmetros.

Palavras-chave: Ambiente Virtual de Aprendizagem, Proteção de Sistemas Elétricos, Sistemas de Potência, Tecnologia na Educação.

Abstract

As the demand for electrical energy increases and requirements from regulatory agencies for improved reliability, security and efficiency on the operation of electric power systems, the need for professionals ever more qualified on planning and operation power systems also increases. However, with the need for continued technical update and as a result of rationalization policies of costs and provision of personnel for training, the distance learning techniques have evolved and reached different areas of knowledge. This work presents a Simulator for Presence and Distance Learning about Operation and Protection of Electric Systems (STOP). The STOP Simulator is developed in *Java*, which enables it to be used in the following systems: Unix, Linux, Windows, MacOS. The STOP can be applied in class as well as distance training and is directed to the training of engineering students, technicians and professionals specialized on electric power systems. The STOP is integrated to a Learning Virtual Environment (AVA), the *Moodle*. The integration enhances the teaching-learning process making it more effective by using a tool able to simulate real life situations. Simulators in virtual environments are an alternative to reducing costs in companies and educational institutions. The STOP is a software tool featuring one-line diagrams with the main components of the protection system, short-circuits simulation and reconfiguration of the system by setting relays for coordination of the system protection and redefinition of parameters.

Keywords: Virtual Learning Environment, Protection of Electric Systems, Power Systems, Technology in Education.

*Dedico este trabalho especialmente à
minha mãe, Maria do Socorro de
Castro Silva, e minha avó Maria
Rosália de Castro (in memoriam) por
estarem sempre ao meu lado, com
todo seu amor, carinho, bases sólidas
diante dos momentos difíceis.*

Agradecimentos

Em primeiro lugar gostaria de agradecer minha mãe Maria do Socorro de Castro Silva e minha avó Maria Rosália de Castro (*in memoriam*) minhas realizações também são suas.

À minha irmã Daniele de Castro Silva, por todo o apoio e carinho.

Aos meus orientadores Prof. Dr. Giovanni Cordeiro Barroso e Prof^a Ph.D. Ruth Pastôra Saraiva Leão pela orientação, compreensão, apoio e amizade.

Ao professor Denis Vinicius Coury pela participação da banca de defesa de dissertação.

Ao Prof. Dr. José Marques Soares pela contribuição e apoio na área de ensino a distância, seus comentários e sugestões foram fundamentais para a conclusão deste trabalho.

A todos os professores da Pós-graduação de Engenharia de Elétrica, pelos conhecimentos transmitidos.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CAPES, pela bolsa concedida durante os anos do curso.

Aos amigos do laboratório COGEST, Alencar, Pedro, Allyson Bonetti, Daniel, Vando, Henrique, Carla, Aparecida.

Aos meus grandes amigos Bruno Fontenele, Camila, Osmar, Raquel, Nildson, Dyonne, pela amizade e momentos agradáveis que passamos juntos.

Aos amigos Otavio Viana e Rodrigo Ciarlini, pelos auxílios valiosos.

Agradecer a todos que ajudaram a construir esta dissertação não é tarefa fácil. O maior perigo que se coloca para o agradecimento seletivo não é decidir quem incluir, mas decidir quem não mencionar.

Então, a meus amigos que, de uma forma ou de outra, contribuíram com sua amizade e com sugestões efetivas para a realização deste trabalho, gostaria de expressar minha profunda gratidão.

Por fim, agradeço a Deus, pela minha vida e família.

“De tudo, ficaram três coisas: a certeza de estarmos sempre começando, a certeza de que é preciso continuar e a certeza de que podemos ser interrompidos antes de terminar. Fazamos da interrupção um caminho novo. Da queda um passo de dança, do medo uma escada, do sonho uma ponte, da procura um encontro! E assim terá valido a pena existir!”

Fernando Sabino

Sumário

Lista de Figuras	x
Lista de Tabelas	xiv
Lista de Siglas	xv
1 Introdução	1
1.1 Motivação e Objetivos da Pesquisa.....	2
1.2 Trabalhos Correlatos	4
1.3 Estrutura da Dissertação	8
2 Sistema Elétrico de Potência	9
2.1 Sistema Elétrico de Potência.....	9
2.2 Sistema Interligado Nacional - SIN	10
2.3 Representação dos Sistemas de Potência	11
2.4 Descrição de uma Subestação Típica	14
2.5 Proteção de Sistemas Elétricos de Potência	16
2.5.1 Propriedades Básicas de um Sistema de Proteção	17
2.5.2 Composição do Sistema de Proteção.....	17
2.6 Elementos de um Sistema de Proteção	19
2.6.1 Relés de Proteção	19
2.6.2 Disjuntores	20
2.6.3 Transformadores de Corrente	21
2.6.4 Transformadores de Potencial	22
2.7 Filosofia de Proteção para as Subestações	23
2.7.1 Filosofia de Proteção das Entradas de Linha das SEs	23
2.7.2 Filosofia de Proteção das Saídas de Linha das SEs	23
2.7.3 Filosofia de Proteção do Vão de Transformação das SEs	24
2.7.4 Filosofia de Proteção da Barra de 15 kV das SEs.....	24
2.7.5 Filosofia de Proteção de Alimentador das SEs	25
2.7.6 Relés de Sobrecorrente.....	25

2.8	Seletividade das Proteções	29
2.8.1	Conceito de Seletividade.....	29
2.8.2	Seletividade Lógica.....	30
2.9	Funções de Proteção	31
2.9.1	Ajuste das Funções de Proteção de Sobrecorrente do Relé dos Alimentadores	33
	Determinação de Relação de TC (RTC)	35
2.10	Cálculo de Curto-circuito: Método das Potências	35
2.10.1	Conceito de MVA Equivalente	36
2.10.2	Elementos em Série.....	37
2.10.3	Elementos em Paralelo	37
3	Simulador para Treinamento de Operação da Proteção de Sistemas Elétricos (STOP)	39
3.1	Descrição do Software STOP	39
3.2	Interface do Simulador.....	40
3.3	Recursos do Simulador.....	42
3.3.1	Correntes de Curto-circuito na Barra de 69 kV.....	42
3.3.2	Seleção dos Transformadores de Potência	43
3.3.3	Correntes de Curto-circuito na Barra de 13,8 kV	44
3.3.4	Seleção e Validação do Dimensionamento do TC	45
3.3.5	Corrente de Carga Máxima no Alimentador.....	47
3.3.6	Proteção de Entrada e Saída de Linha de Transmissão.....	47
3.3.7	Proteção do Vão de Transformação.....	48
3.3.8	Proteções de Média Tensão (13,8 kV)	48
3.3.9	Simulação de Faltas.....	50
3.3.10	Atuação da Proteção e Mudança de Estado do Equipamento	50
3.3.11	Simulação da Função de Sobrecorrente Temporizada 51.....	52
3.3.12	Simulação da Função de Sobrecorrente Instantânea 50.....	54
3.3.13	Seleção de Grupos de Ajustes	54
3.3.14	Simulação das Funções de Seletividade Lógica.....	55
3.3.15	Coordenograma das Proteções	55

3.3.16	Simulação da Função Religamento	56
3.4	Exemplo de Caso de Simulação de Curto em Alimentador de 13,8 kV	57
4	Integração da ferramenta ao <i>Moodle</i>	65
4.1	O <i>Moodle</i> no Apoio às Aulas Presenciais	65
4.1.1	Interface de Acesso ao Simulador	67
4.2	Arquitetura	69
5	Conclusões e Trabalhos Futuros	73
	Referências	76
	Anexo A - Plataforma <i>Moodle</i>.....	80
	Anexo B - Publicações.....	90

Lista de Figuras

Figura 2.1: Rede de Operação – Horizonte 2012, Fonte: ONS.	11
Figura 2.2: Diagrama unifilar de um SEP.	13
Figura 2.3: Diagrama simplificado de uma subestação típica.	14
Figura 2.4: Diagrama simplificado de sistema de proteção.	18
Figura 2.5: Curva característica de tempo definido.	26
Figura 2.6: Curva característica de tempo dependente.	27
Figura 2.7: Curvas características normalmente inversa (NI), muito inversa (MI) e extremamente inversa EI.	27
Figura 2.8: Exemplo de um sistema de proteção seletivo.	30
Figura 2.9: Princípio da seletividade lógica.	30
Figura 2.10: Elementos em série - Método MVA.	37
Figura 2.11: Elementos em paralelo - Método MVA.	38
Figura 3.1: Tela inicial STOP - diagrama unifilar da Regional Sobral – Eixo Cariré (COELCE).	40
Figura 3.2: Diagrama unifilar de proteção de uma subestação típica de 69-13,8 kV.	41
Figura 3.3: Configuração de dados da entrada de linha 02L1.	42
Figura 3.4: Configuração de dados do barramento de 69 kV.	43
Figura 3.5: Seleção de transformador de potência.	43
Figura 3.6: Configuração de dados do barramento de 13,8 kV.	45
Figura 3.7: Seleção e cadastro de TC.	46
Figura 3.8: Mensagem de erro - RTC Inválida ou não suportada.	46
Figura 3.9: Configuração de corrente de carga do alimentador 01Y6.	47

Figura 3.10: Principais funções de proteção em entrada e saída de linhas (02L1 e 02S1).....	47
Figura 3.11: Principais funções de proteção associadas aos transformadores.	48
Figura 3.12: Proteção dos alimentadores (01Y4, 01Y5 e 01Y6)	48
Figura 3.13: Código das principais funções de proteção utilizadas no software.	49
Figura 3.14: Proteção da barra (relé geral de barra).	49
Figura 3.15: Relé de transferência (11D1).	49
Figura 3.16: Seleção do tipo e valor da corrente de curto-circuito (Alimentador 01Y6).....	50
Figura 3.17: Mudança de estado dos dispositivos de proteção e indicativo de curto-circuito.	51
Figura 3.18: Legenda dos estados dos equipamentos	51
Figura 3.19: Configuração do ajuste da função 51 do relé do disjuntor do alimentador.....	52
Figura 3.20: Tela de personalização dos gráficos.	53
Figura 3.21: Configuração do ajuste da função 50 do relé do alimentador 01Y6.	54
Figura 3.22: Configuração do SET do grupo de ajuste do relé de transferência.	54
Figura 3.23: Configuração seletividade lógica.	55
Figura 3.24: Coordenogramas de fase e neutro.	56
Figura 3.25: Tela de opções dos ciclos de religamento dos alimentadores.....	57
Figura 3.26: Exemplo de caso: correntes de curto-circuito barramento de 13,8 kV e 69 kV.	58
Figura 3.27: Verificação do dimensionamento do TC.	59
Figura 3.28: Ajuste da Função 51.....	60

Figura 3.29: Ajuste da Função 50.....	60
Figura 3.30: Ajuste da Função 51N.....	61
Figura 3.31: Ajuste da Função 50N.....	61
Figura 3.32: Simulação de falta trifásica: curto-circuito trifásico no alimentador 01Y6 corrente de curto-circuito de 3500 A, com a função seletividade lógica desativada.	62
Figura 3.33: Simulação de falta trifásica: valor inferior a corrente de <i>pick- up</i>	62
Figura 3.34: Simulação de falta trifásica, tempo de atuação da Função 51. ..	63
Figura 3.35: Simulação de falta monofásica: valor inferior a corrente de pick- up.	63
Figura 3.36: Simulação de falta monofásica: tempo de atuação função 51N. .	63
Figura 3.37: Simulação de falta monofásica: curto-circuito monofásico no alimentador 01Y6 corrente de curto-circuito de 800A, com a função seletividade lógica desativada.	64
Figura 4.1: Bloco STOP integrado ao <i>Moodle</i>	66
Figura 4.2: Interface da ferramenta de acesso remoto.....	68
Figura 4.3: Painel de solicitação de recursos (aluno).	69
Figura 4.4. Distribuição dos componentes da arquitetura.....	70
Figura 4.5: Servidor de Mensagens de Controle.....	71
Figura 4.6: Gravação de uma sessão utilizando <i>vnc2flv</i>	72
Figura A.1: <i>Moodle</i> utilizado na disciplina de Proteção de Sistemas Elétricos da UFC.....	83
Figura A.2: Fórum da disciplina Proteção de Sistemas Elétricos UFC.....	85
Figura A.3: Questionário da Disciplina Geração Transmissão e Distribuição de Energia UFC.	87

Figura A.4: Recursos disponíveis na Disciplina Geração, Transmissão e
Distribuição UFC.88

Lista de Tabelas

Tabela 1.2: Principais Diferenças entre STOP e STPO.....	3
Tabela 2-1: Símbolos utilizados na representação do SEP.....	12
Tabela 2-2: Funções de proteção associadas em cada vão de uma subestação típica.	25
Tabela 2-3: Constantes α e β para as curvas inversas IEC 255-3.	28
Tabela 2-4: Principais funções de proteção código ANSI.	32
Tabela 3-1: Botões de edição para cadastro de equipamentos	46

Lista de Siglas

AL	Vão de alimentador
ANSI	<i>American National Standards Institute</i>
AVA	Ambiente Virtual de Aprendizagem
B	Barramentos de alta e média tensão
BC	Banco de capacitor
D	Disjuntor
EL	Entrada de linha
FTP	<i>File Transfer Protocol</i>
HTML	<i>HyperText Markup Language</i>
HTTP	<i>HyperText Transfer Protocol</i>
IEC	<i>International Engineering Consortium</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronic Engineers</i>
JSP	<i>JavaServer Pages</i>
JVM	<i>Java Virtual Machine</i>
LT	Linha de transmissão
PHP	<i>Hypertext Preprocessor</i>
RTC	Relação de Transformação de Corrente
SE	Subestação
SEP	Sistema Elétrico de Potência
SL	Saída de linha
TAP	Corrente de ajuste do relé
TC	Transformador de Corrente

TIC	Tecnologias da Informação e Comunicação
TP	Transformador de Potencial
TR	Vão de transformação
UDP	<i>User Datagram Protocol</i>
VNC	<i>Virtual Network Computing</i>
W3C	<i>World Wide Web Consortium</i>
XML	<i>Extensible Markup Language</i>

Capítulo 1

1 Introdução

Com o aumento na demanda de energia elétrica nos últimos anos, os sistemas elétricos de potência em todo mundo têm crescido em tamanho e complexidade, ao mesmo tempo em que as reformas no setor elétrico brasileiro criaram um novo ambiente regulatório com aumento de competitividade com um maior número de agentes.

O aumento de competitividade no setor elétrico traz em seu bojo a necessidade de racionalização dos custos de instalação e operação, e necessidade de instalações com elevados índices de desempenho e continuidade. Neste novo contexto, considerando o aumento das restrições operativas do sistema, o maior grau de exigência da sociedade e ainda mais as penalidades a que estão sujeitas as empresas de energia elétrica, torna-se imprescindível que os profissionais do setor elétrico tenham um maior domínio, habilidade e conhecimento do sistema elétrico de potência. A exigência aumentou a necessidade por profissionais cada vez mais qualificados em planejamento e operação dos sistemas de potência.

Nos dias de hoje, as Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) estão cada vez mais sendo utilizadas e desenvolvidas. Com a popularização da internet novas possibilidades de ensino e aprendizagem surgiram, propiciando aos professores e alunos novas formas de ensinar e aprender. É notável a influência e o impacto das tecnologias

no contexto educacional. A Internet e suas ferramentas estão presentes em diversos processos educacionais, na forma presencial ou a distância.

De acordo com a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB - Lei nº 9.394, de 20/12/96), o ensino a distância ganhou uma regulamentação, tornando-se uma parte integrante do processo de ensino aprendizagem.

“A educação a distância caracteriza-se como modalidade educacional na qual a mediação didático-pedagógica nos processos de ensino e aprendizagem ocorre com a utilização de meios e tecnologias de informação e comunicação, com estudantes e professores desenvolvendo atividades educativas em lugares ou tempos diversos¹”.

A implantação de ambientes virtuais de aprendizagem não deve ser limitada apenas para disponibilização de materiais didáticos, textos, e recursos audiovisuais. É necessário que haja uma mediação e uma interação (síncrona e assíncrona) permanente entre seus usuários.

Os principais motivos da expansão da Educação a Distância (EAD) no Brasil e no mundo são basicamente:

- O aumento da demanda por formação e exigências de qualificação dos profissionais;
- Aumento de recursos disponíveis capazes de garantir a efetivação em EAD;
- Familiarização de uma cultura;

1.1 Motivação e Objetivos da Pesquisa

Com a necessidade de atualização técnica continuada e em decorrência da política de racionalização de custos e disponibilização de recursos humanos praticada

¹ Extraído de: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2005/Decreto/D5622.htm

pela grande maioria das empresas, as técnicas de ensino a distância têm evoluído e alcançado abrangência nas mais diferentes áreas do conhecimento.

Para atender essa demanda específica do setor elétrico, é apresentado um Simulador para Treinamento Presencial e a Distância em Operação e Proteção de Sistemas Elétricos (STOP), voltado à capacitação de estudantes de engenharia, eletricitistas, eletrotécnicos e profissionais de engenharia do setor de energia elétrica.

O simulador STOP é a evolução de um simulador denominado STPO desenvolvido em linguagem DELPHI (BEZERRA, 2008).

As principais diferenças entre o STOP e o STPO são mostradas na Tabela 1.2:

Tabela 1.1: Principais Diferenças entre STOP e STPO

STOP	STPO
Desenvolvido em Linguagem <i>Java</i>	Desenvolvido em Linguagem Object Pascal
Pode ser executado em qualquer plataforma ou equipamento que possua uma máquina virtual <i>Java</i> , como: Windows, Linux, Unix, MacOS.	Utilizado somente em máquinas que utilizam Windows
Integrado ao AVA Moodle	Integrado ao AVA TelEduc
Especificação e seleção de equipamentos reais: cabos utilizados em linhas de transmissão, transformadores de corrente e transformadores de potência	Valor informado apenas da RTC do transformador de corrente
Cálculo das potências e correntes de curto-circuito a partir das informações passadas como: tipo de cabo, geometria e equipamentos selecionados.	Informado manualmente pelo usuário
Subestação com dois transformadores de potência em paralelo	Subestação com apenas um transformador de potência
Biblioteca com cabos, transformadores de potência, transformadores de corrente com dados obtidos de equipamentos comercialmente utilizados.	Informado somente a relação de transformação e as potências dos equipamentos manualmente.

A linguagem utilizada para desenvolver o software é o Java e possui vantagens como: portabilidade, orientação a objetos, fácil extensibilidade. É open-source, não sendo necessário pagamentos de licença, permitindo a livre distribuição dos softwares

desenvolvidos, e uma comunidade ativa facilitando o desenvolvimento de softwares. Conta ainda com recursos de alto desempenho como multithreading, compilação just-in-time e utilização de código nativo. O código é compilado para uma forma intermediária de código denominada bytecode, que é interpretada pelas Máquinas Virtuais Java (JVMs). É essa característica que faz com que os programas Java sejam independentes de plataforma, executando em qualquer sistema que possua uma JVM, facilitando a distribuição do software para instalação nos computadores, basta que o usuário possua o aplicativo Java instalado no computador para utilização do simulador. Permite a execução através de um site, simplificando a distribuição e a atualização.

1.2 Trabalhos Correlatos

Em (BEZERRA, 2008), desenvolveu-se o Simulador para Treinamento de Operação da Proteção de Sistemas Elétricos (STPO) utilizando a linguagem *Object Pascal* utilizando *DELPHI* para plataforma *Windows*. Na ocasião, o STPO foi integrado ao AVA TelEduc². Para permitir a agregação de simuladores, foi construída e anexada ao ambiente uma ferramenta que permite o acesso remoto ao STPO. A interface da ferramenta oferece ao aluno recursos para solicitar e acessar remotamente a interface do simulador e foi desenvolvida em *Java* embora o simulador fosse desenvolvido em Delphi.

O simulador desenvolvido, para ser utilizado *standalone*, precisa da distribuição do instalador do simulador, tornando difícil a utilização fora do ambiente de estudo, com isso, dificulta-se o acesso ao *software* pelos alunos. Por ser desenvolvido para a plataforma *Windows*, usuários de outros sistemas operacionais que desejem utilizar o

² <http://www.teleduc.org.br/>

simulador precisam instalar uma máquina virtual para em seguida efetuar a instalação, perdendo um pouco de desempenho.

Com a utilização da linguagem Java no desenvolvimento do simulador, podemos utilizá-lo localmente (*standalone*) através do *Java Web Start*, que permite fazer download de aplicativos *Java* da *web* e executá-los (ORACLE, 2011).

As diferenças entre a utilização do software junto ao AVA e a versão *standalone* é que no primeiro, o usuário possui todos os recursos disponíveis no AVA, o acesso ao STOP é limitado, dependendo de uma permissão para utilização do mesmo e a dependência de um tutor/formador que esteja utilizando o mesmo, para o acompanhamento do usuário. Já na versão *standalone*, o usuário tem um ambiente controlado onde ele poderá validar seus conhecimentos mas abrindo mão dos recursos do AVA e podendo utilizar sem a supervisão de um tutor/formador.

Em (C. MIRANDA, VASCONCELOS VIEIRA e OLIVEIRA, 2008) o objetivo é descrever a estratégia utilizada pela CHESF para a implantação de um simulador para treinamento de operadores de sistema, integrado ao sistema de controle e supervisão do SAGE (Sistema Aberto de Gerenciamento de Energia). Desenvolvido no CEPEL (Centro de Pesquisas de Energia Elétrica) este sistema emprega o simulador de sistemas elétricos EPRI/OTS (Operator Training Simulator) que integrado ao SAGE possibilita um ambiente similar ao ambiente de trabalho dos operadores de sistema, através do qual os operadores podem ser treinados e reciclados nas várias situações de Operação do Sistema Elétrico. O simulador possui características que possibilitam flexibilidade e economia para sua instalação, tendo em vista que o mesmo pode funcionar desde uma configuração mais simples (*“stand alone”*) até uma mais completa, com várias IHMs operando em rede. É possível realizar treinamentos de forma remota, onde os instrutores e os treinandos não necessitam estar no mesmo local.

Em (MOREALE, 2007) é apresentada uma abordagem na preparação dos operadores do sistema elétrico, fazendo uso de novos softwares e introduzindo modernos

procedimentos para a realização de treinamento. Inicialmente é passada uma visão geral de treinamento e em seguida, apresenta-se o sistema elétrico brasileiro, a concepção do sistema de supervisão e controle utilizado pelo ONS e como é integrado o simulador de sistemas elétricos neste contexto. Uma nova estrutura no modo de treinar, adicionando a oportunidade de utilização de um simulador de treinamento de tempo real, para que o novo operador, ao adentrar na sala de controle, possa ter a segurança necessária para operar o sistema elétrico sem apresentar lacunas de conhecimento que a possível falta de experiência geraria.

Em (BOTTENTUIT JR, 2007) é relatada a experiência de um laboratório virtual de química integrado ao *Moodle*. O laboratório desenvolvido permite ao aluno realizar todas as experiências como se estivesse no próprio laboratório, permitindo que o aluno movimente cada objeto para a posição correta para efetuar experiências. O sistema conta com uma ferramenta de ajuda para auxiliar em todas as experiências, em seguida o tutor indica todos os passos a serem seguidos.

Em (PEREIRA, 2007) é apresentado o desenvolvimento e aplicação de um sistema de software denominado PROSEDI - Proteção de Sistemas Elétricos de Distribuição, destinado à execução de estudos de coordenação e seletividade da proteção em sistemas aéreos de distribuição de energia elétrica. O sistema de software desenvolvido permite que estudos de proteção sejam realizados tanto em sistemas elétricos em operação como em sistemas que ainda se encontram em fase de projeto, permitindo automatismo e padronização no estabelecimento de ajustes do sistema de proteção, e uma melhoria nos indicadores de continuidade de fornecimento de energia elétrica.

Em (ARAÚJO, 2002) é apresentada a experiência do CROL - Centro Regional de Operação de Sistema Leste – CHESF, na utilização do simulador de fluxo de

potência *PowerWorld*³ versão 7.0 associado ao controlador remoto de PC, o *pcAnywhere*⁴ 8.0. A utilização do simulador *PowerWorld* permite ao treinando interagir com o modelo do sistema elétrico, colocando em prática as recomendações das instruções de operação e normativas. O *PowerWorld* é capaz de simular situações específicas de operação de sistema, tais como: mudanças nas condições de operação, eventos indesejáveis, sensibilidade de um fator em relação a mudanças no sistema. Como recurso de simulação, permite a representação do sistema elétrico dentro de um espaço de tempo determinado, é capaz de criar situações involuntárias (pelo próprio software) ou pelo coordenador de treinamento, onde o treinando não interfere nem fica ciente do desligamento que o software provocará no sistema simulado até que ele ocorra.

A versão *standalone* permite ao treinando a utilização do software mesmo quando o tutor/formador não estiver participando. Assim, ele poderá praticar e fixar os conhecimentos adquiridos.

Com a utilização do Java Web Start podemos citar algumas vantagens como:

- Ativar aplicativos facilmente, com apenas um clique, eliminando procedimentos complexos de instalação ou atualização, é iniciado automaticamente quando é feito o primeiro download de um aplicativo Java que utiliza essa tecnologia;
- Oferece a garantia de que sempre esteja sendo executada a versão mais recente do aplicativo, toda vez que o aplicativo é iniciado, o software Java Web Start acessa o site do aplicativo para verificar se há uma nova versão disponível. Se houver, ele fará o download e iniciará a nova versão automaticamente.

³ <http://www.powerworld.com/>

⁴ <http://www.symantec.com/business/pcanywhere>

O software Java Web Start armazena todo o aplicativo localmente, na memória cache do computador. Assim, todas as inicializações futuras são quase instantâneas, pois todos os recursos necessários já estão disponíveis localmente.

1.3 Estrutura da Dissertação

Esta dissertação está organizada em cinco capítulos. No Capítulo 1 é apresentada uma revisão bibliográfica sobre ferramentas de treinamento, bem como a motivação e objetivos do trabalho. O Capítulo 2 apresenta a fundamentação sobre proteção de sistemas elétricos de potência fornecendo a base teórica para a compreensão do simulador desenvolvido.

No Capítulo 3 descreve-se o software simulador desenvolvido, explicando-se detalhadamente suas funções e os modelos elétricos desenvolvidos. É utilizado um estudo de caso para demonstrar a utilização do software para o ensino de proteção de sistemas elétricos.

No Capítulo 4, é descrita a ferramenta de acesso remoto e a integração do simulador junto ao *Moodle*.

No Capítulo 5 são apresentadas as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

No Anexo A mostra-se o Ambiente Virtual de Aprendizagem *Moodle*, utilizado para integração de simulador e no auxílio às disciplinas presenciais, bem como suas características, funcionalidades e recursos disponíveis.

No Anexo B, encontra-se a lista de congressos e eventos em que o trabalho desenvolvido foi apresentado.

Capítulo 2

2 Sistema Elétrico de Potência

2.1 Sistema Elétrico de Potência

A ABNT (NBR 5460, 1992) especifica, em sentido amplo, Sistema Elétrico de Potência (SEP) como o conjunto de todas as instalações e equipamentos destinados à geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. Em sentido restrito, é um conjunto definido de linhas e subestações que assegura a transmissão e/ou a distribuição de energia elétrica, cujos limites são definidos por meio de critérios apropriados, tais como, localização geográfica, concessionária, tensão, etc.

Normalmente, os SEPs operam interligados permitindo o uso otimizado dos recursos disponíveis de geração e da rede elétrica e aumento da confiabilidade, segurança e estabilidade do sistema. Um sistema interligado, embora mais complexo para operar e planejar, traz vantagens como: menor capacidade de reservas de potência, e intercâmbio de energias entre áreas de controle e regiões geográficas.

Em virtude da complexidade e tamanho físico, as exigências para a operação dos SEPs têm aumentado e, no Brasil foi criado em 2004 o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) que tem como finalidade coordenar e controlar a operação da geração e transmissão do Sistema Interligado Nacional (SIN).

De acordo com a Lei no. 10.848 de 15 de março de 2004 - Art. 13^o

“As atividades de coordenação e controle da operação da geração e da transmissão de energia elétrica, integrantes do Sistema Interligado Nacional – SIN, serão executadas pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS, pessoa jurídica de direito privado, sem fins lucrativos, mediante autorização do Poder Concedente, fiscalizado e regulado pela ANEEL, a ser integrado por titulares de concessão, permissão ou autorização e consumidores que tenham exercido a opção prevista nos arts. 15º e 16º da Lei no 9.074, de 1995, e que sejam conectados à rede básica”.

Para enquadrar os titulares de concessão dentro de padrões de qualidade, desempenho e confiabilidade, as exigências impostas às empresas de energia elétrica são regulamentadas pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) que tem como objetivo regular e fiscalizar a produção, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica, em conformidade com as políticas e diretrizes do Governo Federal.

2.2 Sistema Interligado Nacional - SIN

Com tamanho e características que permitem considerá-lo único em âmbito mundial, o sistema de produção e transmissão de energia elétrica do Brasil é um sistema hidrotérmico de grande porte, com forte predominância de usinas hidrelétricas e com múltiplos proprietários. O Sistema Interligado Nacional (SIN) é formado pelas empresas das regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e parte da região Norte. Apenas 3,4% da capacidade de produção de eletricidade do país encontra-se fora do SIN, em pequenos sistemas isolados localizados principalmente na região amazônica (ONS, 2010). Na Figura 2.1 é mostrada a rede de operação do SIN para 2012.



Figura 2.1: Rede de Operação – Horizonte 2012, Fonte: ONS.

2.3 Representação dos Sistemas de Potência

O comportamento de um Sistema Elétrico de Potência (SEP) deve ser acompanhado sistematicamente e analisado frente às suas contingências e alterações, a fim de que um diagnóstico correto dos efeitos seja feito e medidas corretas sejam adotadas. Para isso, o sistema elétrico deve ser criteriosamente representado através de uma modelagem adequada ao tipo de estudo a ser realizado.

Um SEP típico é formado por várias estações geradoras conectadas através de linhas de transmissão a grandes centros de carga, onde a potência é distribuída aos consumidores pelo sistema de distribuição, formado por linhas de distribuição e transformadores. Assim, é adotada uma simplificação onde os componentes do sistema são representados por símbolos simples padronizados. Em um circuito equivalente monofásico, o sistema trifásico equilibrado é representado por uma das três fases e o neutro. Frequentemente este diagrama é ainda mais simplificado, suprimindo-se o neutro dando lugar ao diagrama unifilar e indicando os principais componentes do sistema elétrico.

A importância do diagrama unifilar é fornecer de maneira concisa os dados mais significativos de um sistema de potência bem como sua topologia.

As informações contidas num diagrama unifilar variam de acordo com o problema a ser estudado. Por exemplo, no estudo da proteção de um sistema, a informação da localização dos relés e disjuntores no circuito é muito importante, bem como os valores das correntes de curto-circuito que deverão ser calculadas.

Alguns dos símbolos utilizados na representação do diagrama unifilar de um SEP foram normalizados pelo *American National Standards Institute* (ANSI) e pelo *Institute of Electrical and Electronic Engineers* (IEEE), mostrados na Tabela 2-1.

Tabela 2-1: Símbolos utilizados na representação do SEP

Descrição	Símbolo
Máquina ou armadura girante (básico)	
Transformador de potência com dois enrolamentos	
Transformador de potência com três enrolamentos	
Fusível	
Transformador de corrente	
Disjuntor a óleo ou outro líquido	

Disjuntor a ar	
Transformador de potencial	
Amperímetro e voltímetro	
Ligação trifásica em triângulo	
Ligação trifásica em estrela com neutro não aterrado	
Ligação trifásica em estrela, com neutro aterrado	

Na Figura 2.2 é mostrado um sistema de potência radial, onde as informações condensadas no diagrama unifilar são interpretadas com maior simplicidade. O sistema de potência trifásico consiste de dois geradores ligado a uma das barras, um aterrado através de um reator e outro através de um resistor, e uma linha de transmissão conectando as duas barras através de dois transformadores. A barra transmissora é suprida por dois geradores, os geradores 1 e 2 conectados em estrela (Y) e alimenta a carga A. A barra receptora da linha de transmissão alimenta as cargas B e C.

O transformador T_1 está conectado em Y aterrado nos dois lados, de alta e de baixa tensão, e o transformador T_2 está conectado em Y aterrado no lado de alta tensão e conectado em delta no lado de baixa tensão.

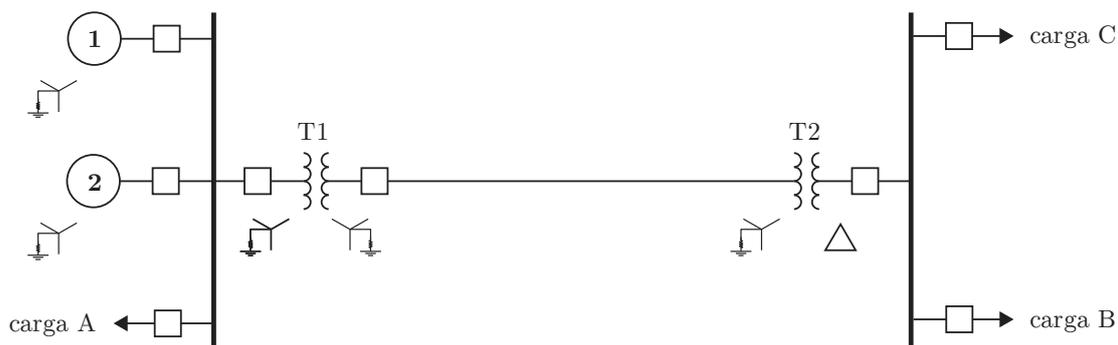


Figura 2.2: Diagrama unifilar de um SEP.

2.4 Descrição de uma Subestação Típica

Segundo a ABNT (NBR 5460, 1992), Subestação (SE) é uma parte do sistema de potência, concentrada em um dado local, compreendendo primordialmente as extremidades de linhas de transmissão e/ou distribuição, com os respectivos dispositivos de manobra, controle e proteção, podendo incluir transformadores, equipamentos conversores e/ou outros. A SE, conforme ilustrada na Figura 2.3, é o componente responsável pela interconexão entre as várias partes do sistema elétrico. Existem vários tipos de subestação e dependendo da sua finalidade no sistema elétrico, as SEs podem ser classificadas como seccionadoras, elevadoras, abaixadoras, distribuidoras, dentre outras. As SEs são compostas por um conjunto de elementos, com funções específicas no sistema elétrico, denominados vãos (“bays”) que permitem a decomposição da subestação em módulos.

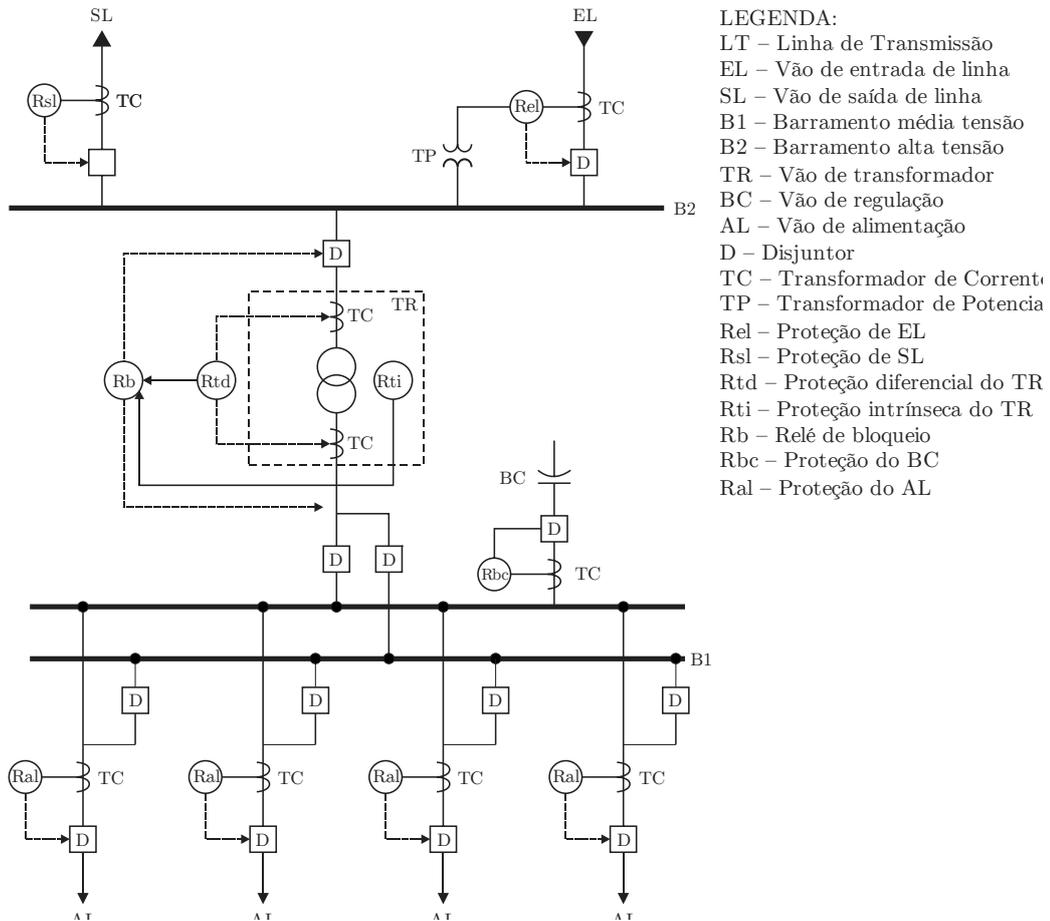


Figura 2.3: Diagrama simplificado de uma subestação típica.

As SEs distribuidoras usualmente são compostas pelos vãos de entrada de linha (EL), saída de linha (SL), barramentos de alta e média tensão (B2 e B1), vão de transformação (TR), banco de capacitor ou vão de regulação (BC) e vãos de alimentadores (AL). Por exemplo, na Figura 2.3 é apresentado o diagrama unifilar simplificado de uma subestação de distribuição ilustrando todos os vãos da SE, bem como as respectivas proteções (SAMPAIO, 2002).

Cada vão da SE, conforme apresentado na Figura 2.3, é composto de equipamentos de manobra, controle e proteção que possuem funções específicas no sistema elétrico, conforme definidas a seguir (NBR 5460, 1992).

As Linhas de Transmissão (LTs) têm a finalidade de transportar energia entre dois pontos de um sistema elétrico, sendo que a origem e o destino das LTs em subestações são denominados vão de Saída de Linha (SL) e vão de Entrada de Linha (EL), respectivamente.

Os barramentos são circuitos constituídos por condutores de impedância desprezível, aos quais estão ligados linhas e equipamentos. As SEs distribuidoras possuem barramento(s) no lado de alta tensão e no lado de baixa tensão do transformador de potência, conforme apresentado na Figura 2.3. Existem vários tipos de arranjos de barramentos que podem ser adotados na configuração de uma subestação. No contexto deste trabalho a SE terá barramento principal e barramento de transferência. O barramento principal fica energizado nas condições normais de operação da subestação. O barramento de transferência pode ser ligado a qualquer seção de uma subestação, ficando a proteção de tal seção assegurada pelo equipamento da seção de transferência, utilizável por qualquer uma das seções (NBR 5460, 1992).

O vão de Transformação (TR) é constituído por um transformador de potência elevador ou abaixador, cuja função principal é modificar o nível de tensão entre o barramento de entrada e o barramento de saída.

Os Alimentadores (AL) fazem parte da rede de distribuição que alimenta, diretamente ou por intermédio de ramais, os primários dos transformadores de distribuição do concessionário e/ou consumidor (NBR 5460, 1992).

O vão Banco de Capacitores (BC) é responsável pela regulação do nível de tensão do barramento de média tensão da subestação dentro de faixas desejadas.

O sistema elétrico de uma subestação está exposto a faltas de origem interna ou externa, tais como: curto-circuitos, sobre-tensões, subtensões, sobre-frequências, subfrequências, sobrecargas, desequilíbrios, oscilações, elevação de temperatura de transformadores, falha de equipamentos, etc. (CAMINHA, 1981).

Segundo a ABNT (NBR 5460, 1992), falta é uma ocorrência acidental e súbita, ou defeito, em um elemento de um sistema elétrico, que pode resultar em falha do próprio elemento e/ou de outros elementos associados, enquanto falha é o término da aptidão de um elemento do sistema elétrico de desempenhar a função dele exigida.

2.5 Proteção de Sistemas Elétricos de Potência

As faltas podem ser muito prejudiciais a um sistema de potência. Muitos estudos, desenvolvimento de dispositivos e projetos de esquemas de proteção têm resultado em contínuo aperfeiçoamento na prevenção de danos em transformadores, linhas de transmissão e demais equipamentos, como também de interrupções na geração após a ocorrência de uma falta (STEVENSON, 1986).

A função básica de um sistema de proteção é detectar faltas e extingui-las o mais rapidamente possível, com o objetivo de minimizar ou evitar risco de vida e danos materiais quando ocorrem situações anormais de operação.

Conforme (PEREIRA, 2007), a proteção dos sistemas de potência tem como principais objetivos:

- salvaguardar a integridade física de operadores, usuários do sistema e animais;
- evitar ou minimizar danos materiais;
- retirar de serviço um equipamento ou parte do sistema que se apresente defeituoso;
- melhorar a continuidade do serviço;
- melhorar os indicadores de continuidade DEC, FEC, DIC, FIC e DMIC;
- reduzir os custos operacionais;
- proteger o equipamento contra danos;
- salvar pessoas nas proximidades da usina elétrica de lesões;
- habilitar o serviço contínuo nas partes intactas da rede.

2.5.1 Propriedades Básicas de um Sistema de Proteção

As principais propriedades de um sistema de proteção são:

- **Confiabilidade:** probabilidade do sistema de proteção funcionar com segurança e corretamente, sob condições normais e anormais de operação.
- **Seletividade:** um sistema de proteção seletivo deve reconhecer e selecionar condições de operação a fim de retirar a menor parte do sistema possível.
- **Velocidade:** o sistema de proteção deve ter a capacidade de desligar trechos ou equipamentos defeituosos no menor tempo possível.

2.5.2 Composição do Sistema de Proteção

O sistema de proteção e controle de uma subestação é composto por vãos. Cada vão deverá possuir um dispositivo de proteção e um equipamento de disjunção, com a finalidade de protegê-lo contra faltas no sistema.

Tecnicamente, o sistema de proteção é composto por um conjunto formado por disjuntores, transdutores e relés, como mostrado na Figura 2.4.

O sistema de proteção não deve ser requisitado para operar durante o funcionamento normal do sistema elétrico, mas deve estar disponível para operar imediatamente após a detecção de condições anormais e para as quais o sistema de proteção é designado a operar.

Assim, o relé deve ser capaz de estabelecer uma lógica entre os parâmetros de entrada do sistema de potência, sinais de tensão e corrente provenientes dos transdutores, e tomar a decisão correta de abertura, sendo sua decisão de disparo ou *trip*⁵ baseada diretamente na comparação ou combinação destes parâmetros com um valor predeterminado.

Dentro destes aspectos, existem algumas características básicas para a aplicação da proteção. Quando uma falta é detectada pelo relé, o sistema de proteção envia um sinal de disparo (*trip*) para os disjuntores, os quais isolarão a menor porção possível do sistema sob falta. Para isto, os relés possuem uma área de operação abrangendo uma parte do sistema definida como zona de proteção do relé.

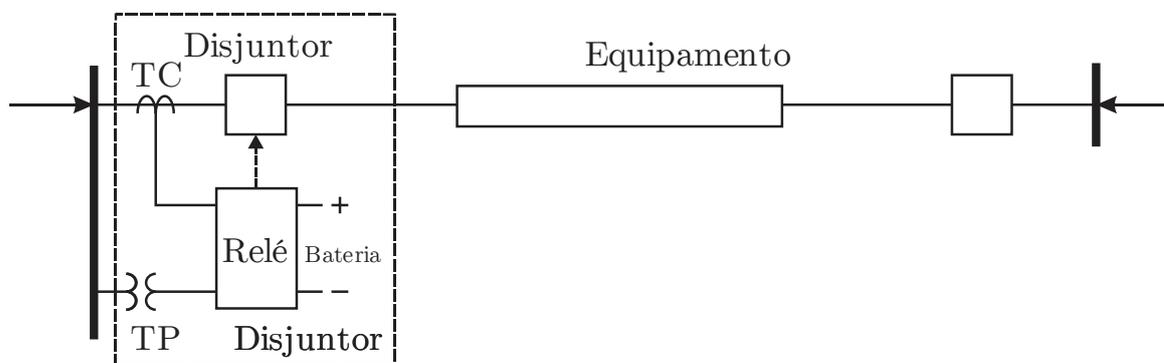


Figura 2.4: Diagrama simplificado de sistema de proteção.

⁵ Trip ou disparo é o momento em que o relé de proteção fecha seus contatos de saída quando da manutenção da corrente de falta por um determinado tempo.

2.6 Elementos de um Sistema de Proteção

2.6.1 Relés de Proteção

É definido como sendo um dispositivo sensor que comanda a abertura do disjuntor quando surgem, no sistema elétrico protegido, condições anormais de funcionamento.

Um relé, ao detectar uma perturbação que venha a comprometer os equipamentos ou o funcionamento normal do sistema, envia um sinal elétrico que comanda a abertura de um ou mais disjuntores, de modo a isolar o equipamento ou parte do sistema afetado pela falta, impedindo que a perturbação danifique equipamentos, comprometa a operação ou propague-se para outros componentes não defeituosos (ELETROBRAS, 1982).

Os relés utilizados no sistema elétrico dependem de características particulares do sistema, ou do equipamento a ser protegido, como:

- Tamanho;
- Configurações;
- Condições operacionais;
- Características construtivas.

Para atender todos os requisitos com eficiência em diferentes configurações, condições de operação e características do sistema elétrico de potência, vários relés foram criados para funções de medições de grandezas elétricas do sistema, dentre as quais: corrente, tensão, potência, frequência, temperatura, pressão, etc.

Os relés de proteção são classificados de acordo com o tipo de função de proteção, como: relé de sobrecorrente, relé direcional, relé de distância, relé diferencial, relé de sobretensão, relé de subtensão, relé de frequência, etc.

O modo geral de atuação de um relé pode ser sintetizado em quatro etapas:

- O relé encontra-se permanentemente recebendo informações da situação elétrica do sistema protegido sob a forma de corrente, tensão, frequência ou uma combinação dessas grandezas (potência, impedância, ângulo de fase, etc.);
- Se, em um dado momento, surgirem condições anormais de funcionamento do sistema protegido, tais que venham a sensibilizar o relé, este deverá atuar de acordo com a maneira que lhe for própria.
- A atuação do relé é caracterizada pelo envio de um sinal que resultará em uma ação de sinalização (alarme), bloqueio ou abertura de um disjuntor (ou nas três ao mesmo tempo).
- A abertura ou disparo do disjuntor, comandada pelo relé, irá isolar a parte defeituosa do sistema.

2.6.2 Disjuntores

Os disjuntores são equipamentos destinados a interromper e reestabelecer corrente elétrica em pontos de um circuito elétrico. Para desligar ou religar automaticamente um circuito, o disjuntor precisa ser comandado por relés que podem ou não enviar comando de abertura para o disjuntor. Portanto, o disjuntor é um equipamento que é capaz de abrir um circuito quando há um curto-circuito e de religar o circuito depois de um dado tempo e, se o curto persistir, capaz de abrir novamente o circuito, mas só executa tais operações se for, neste caso, comandado por relés de sobrecorrente e relés de religamento.

Os disjuntores podem ser solicitados a interromper correntes de circuitos a plena carga e em vazio, e a energizar circuitos em operação normal. Os disjuntores podem ainda ser manobrados manualmente por razões como, por exemplo, para intervenção em um trecho do sistema.

2.6.3 Transformadores de Corrente

Os transformadores de corrente (TC) são equipamentos que permitem aos instrumentos de medição e proteção funcionarem adequadamente sem que seja necessário possuírem correntes nominais de acordo com a corrente de carga do circuito ao qual estão ligados (MAMEDE FILHO, 2005).

Os enrolamentos primários têm geralmente poucas espiras, às vezes, uma única. Os enrolamentos secundários, ao contrário, têm muitas espiras. A eles são ligados os circuitos de corrente de medidores e/ou relés.

Conforme (NBR 6856, 1992) os valores nominais que caracterizam os TCs são:

a) Corrente nominal e relação nominal

Corrente nominal secundária: normalizada em 5 A, às vezes 1 A;

Correntes nominais primárias: 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 75, 100, 125, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600, 800, 1200, 1500, 2000, 3000, 4000, 5000, 6000 e 8000 A;

b) Classe de tensão de isolamento

É definida pela tensão do circuito ao qual o TC vai ser ligado (em geral, a tensão máxima de serviço). Os TCs usados em circuitos de 13,8 kV, por exemplo, têm classe de tensão de 15 kV.

c) Frequência nominal

Frequência normal de operação é definida como 50 e/ou 60 Hz.

d) Carga nominal

As cargas padronizadas de classe de exatidão de TCs são:

C2,5 ; C5,0 ; C7,5 ; C12,5 ; C25 ; C50 ; C75 ; C100 e C200 . A letra “C” se refere a TC e o valor após, corresponde à potência total (VA) da carga do TC. Por exemplo, 5 VA, 7,5 VA, 12,5 VA, etc.

e) Fator de sobrecorrente (FS)

Expressa a relação entre a máxima corrente com a qual o TC mantém a sua classe de exatidão e a corrente nominal. O valor máximo desse fator é igual a 20 vezes a corrente primária nominal. O FS é muito importante para dimensionar os TCs de proteção, tendo em vista que os mesmos devem responder, de acordo com sua classe de exatidão ($\pm 10\%$), a valores de corrente bastante severos nos seus primários (correntes de curtos-circuitos).

f) Classe de exatidão

A classe de exatidão empregada depende da aplicação (medição, controle e proteção). TCs de medição têm as seguintes classes de exatidão: 0,3 0,6 e 1,2%. A classe 0,3% é obrigatória em medição de energia para faturamento. As outras são usadas nas medições de corrente, potência, ângulo, etc.

g) Fator térmico

É o valor numérico que deve-se multiplicar à corrente primária nominal de um TC, para se obter a corrente primária máxima, que o mesmo poderá suportar em regime permanente, operando em condições normais, sem exceder os limites de temperatura especificados para a sua classe de isolamento. Esses fatores são: 1,0, 1,3, 1,5 ou 2,0.

2.6.4 Transformadores de Potencial

Os transformadores de potencial (TP) são equipamentos que permitem aos instrumentos de medição e proteção funcionarem adequadamente sem que seja necessário possuir tensão de isolamento de acordo com a da rede à qual estão ligados (MAMEDE FILHO, 2005).

A tensão do secundário normalmente é padronizada em 115V ou $115/\sqrt{3}$. Os instrumentos de proteção e medição são dimensionados em tamanho reduzidos com bobinas e demais componentes de baixa isolamento. Os TPs são empregados nos sistemas de proteção e medição de energia elétrica, normalmente instalados junto aos TCs.

2.7 Filosofia de Proteção para as Subestações

2.7.1 Filosofia de Proteção das Entradas de Linha das SEs

A proteção de uma entrada de linha é composta, basicamente, por relés, disjuntores TCs e TPs. O relé de entrada de linha deve conter, no mínimo, as seguintes funções: função de sobrecorrente instantânea (50) e temporizada (51) de fase, função de sobrecorrente instantânea (50N) e temporizada (51N) de neutro, função de sobrecorrente direcional de fase (67), função de sobrecorrente direcional de neutro (67N), função de subtensão (27), função de sobretensão (59), função de falha do disjuntor (50BF). Outras funções podem ser habilitadas neste relé, caso a área de estudo da proteção e operação do sistema considerar conveniente. (COELCE CP011, 2003).

2.7.2 Filosofia de Proteção das Saídas de Linha das SEs

O sistema de proteção adotado nas saídas de linhas de 72,5 kV das SEs de pequeno e grande porte deve contemplar um conjunto de 3 TCs instalados fora da zona de *by-pass*⁶, um conjunto de 3 TPs instalados na barra de 72,5 kV, um relé de distância multifunção associado aos disjuntores principal e de transferência.

O relé de distância deve contemplar, no mínimo, as seguintes funções: função de distância (21), função de sobrecorrente instantânea (50) e temporizada de fase (51), função de sobrecorrente instantânea (50N) e temporizada de neutro (51N), função de

⁶Passagem secundária, em contorno a equipamentos, possibilitando a retirada de operação do mesmo sem interrupção de energia (COELCE CP011, 2003).

sobrecorrente direcional de fase (67), função de sobrecorrente direcional de neutro (67N), função de sobrecorrente de sequência negativa (46), função de religamento (79), função de falha do disjuntor (50BF) (COELCE CP011, 2003).

A função falha de disjuntor (50BF), existente neste relé, deve enviar sinal de abertura (*trip*) para o disjuntor de entrada de linha e/ou para o disjuntor de transferência através das funções de transferência de proteção associadas aos disjuntores de entrada de linha (COELCE CP011, 2003).

2.7.3 Filosofia de Proteção do Vão de Transformação das SEs

Os transformadores de potência das SEs de pequeno e grande porte são protegidos através das proteções intrínsecas (funções 49 - relé de temperatura do óleo, 63 - relé de gás, 63A - válvula de alívio de pressão, 71 - relé de nível do óleo e 80 - relé de sobrepresão do comutador de derivação sob carga - CDC) que fazem parte do projeto do transformador e através de relés diferenciais e sobrecorrente multifunção baseados em microprocessadores (COELCE CP011, 2003).

2.7.4 Filosofia de Proteção da Barra de 15 kV das SEs

Na SE de pequeno porte, a média tensão está dividida em duas zonas de proteção, protegidas por relés distintos. A primeira zona abrange o trecho entre as buchas de baixa tensão do transformador até o disjuntor geral. A segunda zona, que protege apenas a barra principal de 15 kV, está protegida através de um relé de sobrecorrente que recebe sinal de corrente dos TCs instalados na entrada da barra de média tensão e sinal de tensão dos TPs instalados na barra de média tensão.

No relé de sobrecorrente multifunção, que protege a segunda zona de proteção responsável pela proteção da barra principal de média tensão, devem ser habilitadas, no mínimo, as seguintes funções: sobrecorrente instantânea (50) e temporizada (51) de fase, funções instantânea (50N) e temporizada (51N) de neutro e a função de falha do disjuntor (50BF) (COELCE CP011, 2003).

Na Tabela 2.3 é apresentado um resumo dos vãos de uma subestação típica e as funções de proteção mínimas associadas a cada vão (BEZERRA, 2008).

Tabela 2-2: Funções de proteção associadas em cada vão de uma subestação típica.

Vão	Funções de Proteção Mínimas
Entrada de Linha	50/51, 50/51N, 67/67N, 27, 59 e 50BF
Saída de Linha	21, 50/51, 50/51N, 67/67N, 46A, 79 e 50BF
Transformador	26, 49, 63, 63A, 71, 80, 50/51, 50/51N e 87
Barra de 15kV	50/51, 50/51N, 50BF
Alimentador	50/51, 50/51N, 50/51NS, 46, 46A, 27, 79 e 50BF

2.7.5 Filosofia de Proteção de Alimentador das SEs

O relé de saída de alimentadores deve conter, no mínimo, as seguintes funções de proteção: funções de sobrecorrente instantânea (50) e temporizada (51) de fase, funções instantânea (50N) e temporizada (51N) de neutro, funções de neutro sensível (50/51NS), função de sobrecorrente de sequência negativa I_2/I_1 (46), função de subtensão (27), função de religamento (79) e a função falha do disjuntor (50BF) (COELCE CP011, 2003).

2.7.6 Relés de Sobrecorrente

Para ajustar os relés de sobrecorrente é necessário definir os conceitos a seguir:

a) Corrente de *pick-up* ($I_{pick-up}$)

É o termo genérico designado para a menor corrente de operação ajustada no relé que proporciona o fechamento dos seus contatos e o comando de abertura do disjuntor.

b) TAPs ou faixas de ajuste

São as derivações da bobina do relé que permitem o ajuste do relé para diversas correntes de atuação.

O ajuste do TAP define a corrente de *pick-up* do relé.

Se a corrente de curto-circuito $I_{cc} < I_{pick-up}$, o relé não fechará seu contato normalmente aberto (NA).

c) Curvas características

Quanto ao tempo de atuação do relé, há curvas características de dois tipos: de tempo definido e de tempo dependente.

- De tempo definido

Uma vez ajustados o tempo de atuação (t_a) e a corrente mínima de atuação ($I_{MIN,AT}$), o relé irá atuar neste tempo para qualquer valor de corrente igual ou maior do que o mínimo ajustado (Figura 2.5).

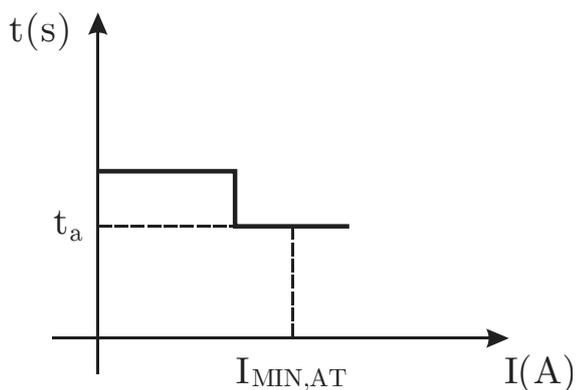


Figura 2.5: Curva característica de tempo definido.

- De tempo dependente

O tempo de atuação do relé é inversamente proporcional ao valor da corrente. Isto é, o relé irá atuar em tempos decrescentes para valores de corrente igual ou maior à corrente mínima de atuação (corrente de partida) (Figura 2.6).

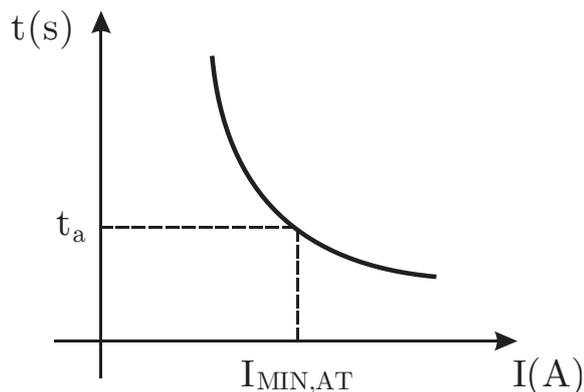


Figura 2.6: Curva característica de tempo dependente.

As curvas de tempo dependente são classificadas em três grupos: Normalmente Inversa (NI), Muito Inversa (MI) e Extremamente Inversa (EI), conforme mostrado na Figura 2.7.

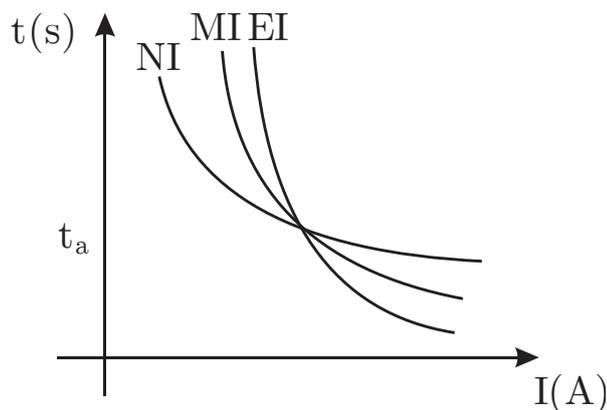


Figura 2.7: Curvas características normalmente inversa (NI), muito inversa (MI) e extremamente inversa EI.

As normas IEC 255 e BS 142 definem o tempo de operação de um relé de sobrecorrente pela fórmula:

$$t = \frac{k \times \beta}{\left(\underbrace{\frac{I_{cc}}{I_{pick-up}}}_{\text{múltiplo}} \right)^{\alpha} - 1} \quad (2.1)$$

em que:

t Tempo de operação do relé em segundos;

k Dial ou tempo multiplicador

I_{cc} Corrente de curto-circuito;

$I_{pick-up}$ Corrente de atuação do relé.

α e β Constantes que determinam a inclinação da curva característica do relé.

Para os três tipos de relés de sobrecorrente padrão os valores de α e β são dados na Tabela 2-3.

Tabela 2-3: Constantes α e β para as curvas inversas IEC 255-3.

Tipo de curva	α	β
Inversa	0,02	0,14
Muito Inversa	1,00	13,50
Extremamente Inversa	2,00	80

Essas curvas são traçadas para valores do múltiplo (M) variando, geralmente, de 1,5 a 20, em um sistema de eixos ortogonais com escala $\log \times \log$.

d) Dial de tempo ou multiplicador de tempo

O ajuste do dial ou multiplicador define o tempo exato da operação do relé.

e) Múltiplo

Relação entre a corrente de curto-circuito e a corrente de *pick-up*. O múltiplo do relé indica o quanto a corrente de curto-circuito é maior do que sua corrente de ajuste.

$$M = \frac{I_{cc}}{I_{pick-up}} = \frac{I_{cc}}{RTC \times TAP} \quad (2.2)$$

em que:

M Múltiplo

$I_{pick-up}$ Corrente de atuação do relé

TAP Corrente de ajuste do relés

RTC Relação de transformação do TC

f) Margem de coordenação

Ao determinar os ajustes dos relés de sobrecorrente e demais dispositivos de proteção em série, deve-se manter uma margem de tempo adequada entre suas curvas características a fim de se obter uma operação coordenada. Portanto, margem de coordenação é a mínima diferença de tempo em que dois relés próximos devem ter para garantir a coordenação.

2.8 Seletividade das Proteções

A principal exigência em um SEP é a continuidade de serviço. A falta de uma seletividade correta pode provocar a abertura simultânea de mais de um dispositivo de proteção situado a montante da falta. A seletividade é um conceito essencial.

2.8.1 Conceito de Seletividade

É a coordenação dos dispositivos de proteção, para que um defeito proveniente de qualquer ponto da rede seja eliminado pela proteção localizada imediatamente a montante ao defeito, e só por ela.

Para qualquer valor do defeito apresentado no circuito da Figura 2.8, desde uma sobrecarga até um curto-circuito instantâneo (franco), a coordenação é totalmente seletiva se D2 abrir e D1 permanecer fechado. Se a condição anterior não for respeitada, a seletividade será parcial ou nula.

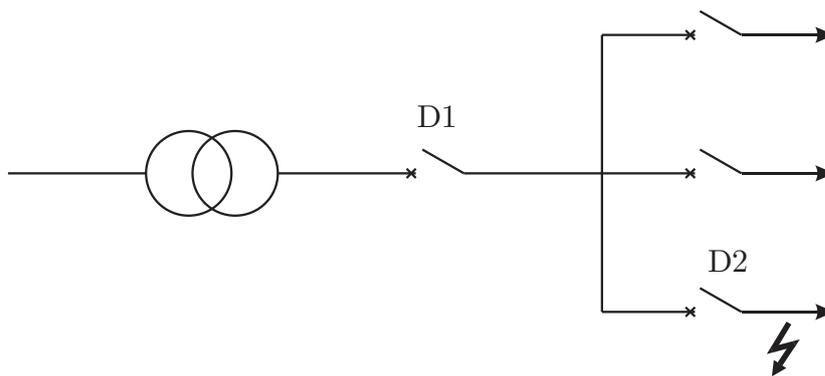


Figura 2.8: Exemplo de um sistema de proteção seletivo.

Portanto, seletividade é a propriedade de uma instalação de, em caso de falta, só abrir o dispositivo de proteção contra curtos-circuitos que estiver mais próximo do ponto de falta. Com isto, a parte do circuito que fica inoperante será a menor possível. A propriedade de escolher entre dois dispositivos de proteção qual vai ser desligado, é denominada discriminação que vai garantir a seletividade.

2.8.2 Seletividade Lógica

Os sistemas de seletividade baseados nas técnicas lógicas são possíveis usando disjuntores equipados com unidades microprocessadas. Estes sistemas de seletividade lógica requerem disjuntores equipados com unidades de disparo eletrônico, projetadas para essa aplicação, junto com fios pilotos de interligação para troca de dados entre os disjuntores (Figura 2.9).

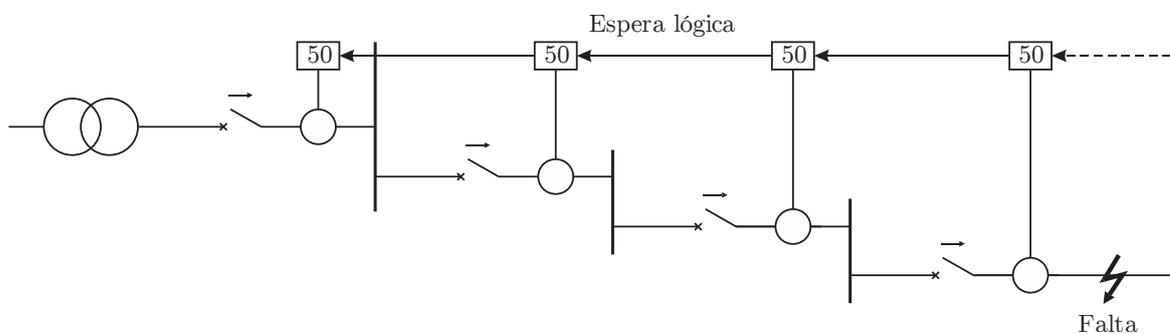


Figura 2.9: Princípio da seletividade lógica.

A troca de dados lógicos entre proteções sucessivas permite a eliminação dos intervalos de seletividade, logo, reduz consideravelmente o retardo de *trip* dos disjuntores situados mais próximos da fonte.

Conseqüentemente, em uma rede radial, são solicitadas as proteções situadas a montante do ponto de falta, e as que estão à jusante não são solicitadas. Isto permite localizar claramente o ponto de falta e o disjuntor a ser desligado.

Cada proteção solicitada por uma falta envia:

- um comando de espera lógica ao nível a montante (comando de aumento da temporização do relé a montante);
- um comando de *trip* ao disjuntor associado, exceto se este já recebeu um comando de espera lógica do nível a jusante.

Um *trip* temporizado é previsto como *back-up*.

2.9 Funções de Proteção

São aquelas que monitoram as faltas e atuam em tempo muito rápido. São dotadas de larga faixa de medição, atuando em valores que podem atingir 20 vezes a grandeza nominal (MAMEDE FILHO, 2005).

As funções dos dispositivos de controle e proteção são definidas pelas normas internacionais, *ANSI* (*American National Standards Institute*) e *IEC* (*International Electrotechnical Commission*)

As principais funções de proteção são indicadas na Tabela 2-4. A classificação é feita em ordem numérica pelo código ANSI C37.2.

Tabela 2-4: Principais funções de proteção código ANSI.

Código ANSI	Nome da função
12	Sobrevelocidade
14	Subvelocidade
21	Proteção de distância
21B	Subimpedância
24	Controle de fluxo
25	Controle de sincronismo
26	Termostato
27	Subtensão
27D	Subtensão de sequência positiva
27R	Subtensão remanente
27TN	Subtensão residual (3 ^a harmônica)
32P	Direcional de sobrepotência ativa
32Q	Direcional de sobrepotência reativa
37	Subcorrente de fase
37P	Direcional de subpotência ativa
37Q	Direcional de subpotência reativa
38	Supervisão da temperatura
40	Perda de excitação
46	Desbalanço / corrente de sequência negativa
47	Sobretensão de sequência negativa
48 - 51LR	Partida longa, rotor bloqueado
49	Sobrecarga térmica
49T	Supervisão de temperatura
50	Sobrecorrente de fase instantânea
50BF	Falha de disjuntor
50N ou 50G	Fuga à terra instantânea
50V	Sobrecorrente instantânea de fase com restrição de tensão
50/27	Energização acidental do gerador
51	Sobrecorrente de fase temporizada
51N ou 51G	Fuga à terra temporizada
51V	Sobrecorrente de fase com restrição de tensão temporizada
59	Sobretensão
59N	Sobretensão residual
63	Pressão
64REF	Diferencial de fuga à terra restrita
64G	100% de falta à terra no estator do gerador

66	Partidas por hora
67	Direcional de sobrecorrente de fase
67N/67NC	Direcional de fuga à terra
78	Salto de vetor
78PS	Perda de sincronismo (pole slip)
79	Religador
81H	Sobrefrequência
81L	Subfrequência
81R	Taxa de variação de frequência (df/dt)
87B	Diferencial do barramento
87G	Diferencial do gerador
87L	Diferencial da linha
87M	Diferencial do motor
87T	Diferencial do transformador

2.9.1 Ajuste das Funções de Proteção de Sobrecorrente do Relé dos Alimentadores

a) Critérios para o cálculo do ajuste da função 51

$$TAP = \frac{1,5 \times I_{\text{carga do alimentador}}}{RTC} \quad (2.3)$$

$$I_{\text{pick-up}} = \frac{I_{cc_{\text{trifásico na barra 13,8kV}}}}{I_{\text{pick-up}}} \quad (2.4)$$

Tempo de operação = 0,15s.

b) Critérios para o cálculo do ajuste da função 50

$$TAP = \frac{5 \times I_{\text{pick-up da função 51}}}{RTC} \quad (2.5)$$

$$TAP = \frac{50\% \cdot I_{cc \ 3\phi \text{max. na barra 13,8kV}}}{RTC} \quad (2.6)$$

Escolher o menor TAP.

$$I_{\text{pick-up}} = TAP \times RTC \quad (2.7)$$

Tempo de operação = 0s seletividade lógica ativada.

c) Critérios para o cálculo do ajuste da função 51N

Pela corrente de carga:

$$TAP \geq \frac{0,3 \times I_{\text{carga máxima}}}{RTC} \quad (2.8)$$

Pela menor sensibilidade - Define $I_{pick-up} = 30A$:

$$TAP = \frac{30}{RTC} \quad (2.9)$$

$$Múltiplo = \frac{I_{cc \text{ monofásico na barra 13,8kV}}}{I_{pick-up}} \quad (2.10)$$

Tempo de operação = 0,18s

d) Critérios para o cálculo do ajuste da função 50N

$$TAP = \frac{5 \times I_{pick-up \text{ da função 51N}}}{RTC} \quad (2.11)$$

$$Múltiplo = \frac{I_{cc \text{ monofásico na barra 13,8kV}}}{I_{pick-up}} \quad (2.12)$$

Tempo de operação = 0s seletividade lógica ativada.

e) Critérios para o cálculo do ajuste da Função Neutro Sensível (51NS)

Pela menor sensibilidade

Define $I_{pick-up} = 15 A$: (valor baseado na experiência)

$$TAP = \frac{15}{RTC} \quad (2.13)$$

Tempo definido = 60s.

Determinação de Relação de TC (RTC)

Para se fazer o ajuste da corrente de atuação de um relé de sobrecorrente indireto, é necessário, em primeiro lugar, a definição da relação do TC que irá alimentá-lo.

A relação do TC (RTC) que alimenta um relé deve atender os requisitos descritos a seguir.

Critério de Curto-circuito

A corrente nominal primária do TC ($I_{N,P}$) deve ser maior do que a razão entre o curto-circuito máximo (no ponto da instalação) e o fator de sobrecorrente do TC (FS). Geralmente, $FS = 20$.

$$I_{N,P} \geq \frac{I_{CC\max}}{FS} \quad (2.14)$$

Critério de Carga Máxima

A corrente nominal primária do TC deve ser maior do que a máxima corrente de carga a ser considerada.

2.10 Cálculo de Curto-circuito: Método das Potências

Segundo (YUEN, 1974) e (CHEN, 1994), o método do MVA é um método simples, dispensa memorizar fórmulas e permite calcular os valores de corrente de curto-circuito em sistemas elétricos de potência. Enquanto o método em p.u.⁷ é um pouco abstrato e apresenta certa dificuldade de imediata interpretação, o método das potências (MVA) fornece uma maneira fácil de visualizar o fluxo das correntes de curto-circuito independente da complexidade do sistema.

⁷ O valor de uma determinada grandeza em *por unidade* é definido como a relação entre esta grandeza e o valor adotado arbitrariamente como sua base, sendo expresso em decimal (MAMEDE FILHO, 2002).

Este método é simples porque não há necessidade de mudança de bases como aquelas exigidas pelo método p.u., pois as potências são iguais tanto do lado primário quanto do secundário de um transformador. Além disso, não efetua cálculos com números complexos.

É utilizado para analisar e especificar equipamentos de manobras e dispositivos de proteção de uma subestação e para determinar a queda de tensão durante a partida de grandes motores, considerando as demais partes do sistema. É basicamente uma modificação do método ôhmico em que a impedância de um circuito é a soma das impedâncias dos diversos componentes do circuito.

2.10.1 Conceito de MVA Equivalente

Os métodos de cálculo das correntes de curto-circuito de um SEP são feitos através da manipulação das impedâncias dos elementos que compõem o sistema. Esta manipulação consiste em determinar a impedância equivalente para cada ponto do sistema para os quais se pretende determinar a corrente de curto circuito.

O método do MVA consiste em considerar cada componente do sistema como sendo seu próprio barramento infinito⁸, dividindo a potência do elemento em MVA pela sua impedância em *pu*.

$$Y = \frac{1}{Z_{ohms}} \quad (2.15)$$

$$KVA_{SC} = 1000 \times (KV)^2 \times Y \quad (2.16)$$

$$MVA_{SC} = (KV)^2 \times Y \quad (2.17)$$

$$MVA_{SC} = \frac{MVA}{Z_{pu}} \quad (2.18)$$

⁸É uma barra do sistema que possui potência de curto-circuito infinita, na qual não existe variação de tensão ou de frequência.

em que:

- Y admitância do circuito (em mho);
- Z_{ohms} impedância (em ohms);
- Z_{pu} impedância (em por unidade *p.u.*);
- KV tensão de linha (em kV);
- KVA_{SC} potência de curto-circuito (em kVA);
- MVA_{SC} potência de curto-circuito (em MVA).

2.10.2 Elementos em Série

A potência total dos elementos em série é igual ao inverso da soma dos inversos das potências individuais desses elementos. Análoga ao equivalente paralelo de impedâncias (Figura 2.10).

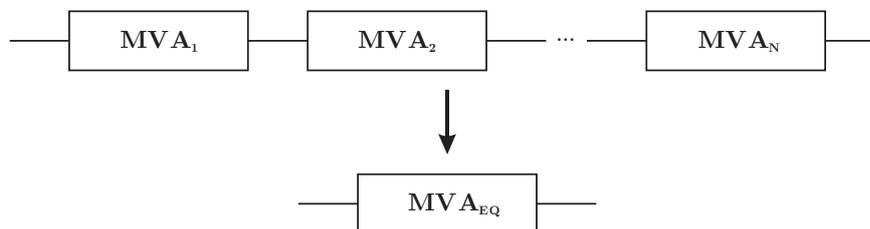


Figura 2.10: Elementos em série - Método MVA.

Equivale a:

$$MVA_{EQ} = \frac{1}{\frac{1}{MVA_1} + \frac{1}{MVA_2} + \dots + \frac{1}{MVA_N}} \quad (2.19)$$

2.10.3 Elementos em Paralelo

A potência total dos elementos em paralelo é igual à soma das potências individuais desses elementos. Análoga ao equivalente série de impedâncias (Figura 2.11).

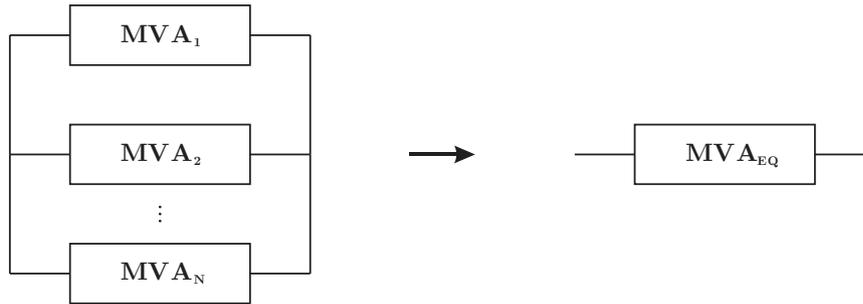


Figura 2.11: Elementos em paralelo - Método MVA.

Equivale a:

$$\boxed{MVA_{EQ} = MVA_1 + MVA_2 + \dots + MVA_N} \quad (2.20)$$

O método do MVA simplifica os cálculos e os valores de curto circuito são conhecidos num único procedimento de cálculo simplesmente manipulando-se potências equivalentes em MVA ao invés de impedâncias. Então, a potência de curto circuito será determinada numa única vez e para cada ponto do sistema, e a corrente de curto-circuito será calculada através da equação:

$$I_{CC} = \frac{MVA}{\sqrt{3} \times KV} \quad (2.21)$$

em que:

I_{CC} corrente de curto-circuito (em kA)

KV tensão de linha (em kV);

MVA potência (em MVA).

Neste capítulo foram vistos os conceitos básicos relativos ao sistema elétrico de potência, utilizado como fundamentação teórica para o desenvolvimento do simulador. No próximo capítulo será apresentado o Simulador para Treinamento de Operação da Proteção de Sistemas Elétricos (STOP), que possui como principal funcionalidade a especificação dos equipamentos utilizados em uma subestação bem como efetuar ajustes para a correta parametrização das funções de proteção utilizadas em uma subestação.

Capítulo 3

3 Simulador para Treinamento de Operação da Proteção de Sistemas Elétricos (STOP)

Neste trabalho é proposto o desenvolvimento de um Laboratório Virtual para Capacitação Tecnológica a Distância em Proteção de Sistemas Elétricos, fornecendo um ambiente integrado ao *Moodle* para treinamento de alunos e profissionais da área de Proteção de Sistemas Elétricos de Potência.

3.1 Descrição do Software STOP

No desenvolvimento do simulador foi utilizado como ambiente de desenvolvimento o *Netbeans*⁹, tendo como linguagem o *Java*. Atualmente o *Java* é uma das linguagens mais utilizadas no mundo. Dentre as principais características da linguagem cita-se a independência da plataforma, pois podem-se desenvolver aplicações para *desktop*, celular, *web*, televisão digital e utilizá-la em qualquer sistema operacional que possua uma *JVM*¹⁰, como: Windows, MacOS, Linux, Unix, etc.

⁹ <http://netbeans.org/>

¹⁰ “*Java Virtual Machine*”

O Java, possui ainda, um conjunto de bibliotecas que possibilitam trabalhar com protocolos TCP/IP como: HTTP, FTP, UDP, permitindo fácil acesso a *URLs* facilitando a integração com aplicações *web*.

O STOP tem como objetivo permitir a capacitação e treinamento de pessoal e estudantes do setor elétrico através do ensino presencial e a distância via internet. O STOP é um software composto de diagramas unifilares sistêmicos e específicos com a representação dos principais componentes do sistema elétrico de proteção, tais como disjuntores, religadores, transformadores e relés. No simulador, o usuário pode configurar o sistema utilizando dados de equipamentos reais utilizados nos sistemas elétricos de potência, bem como simular faltas e reconfigurar o sistema, fazendo ajustes de relés para coordenação e redefinição de parâmetros.

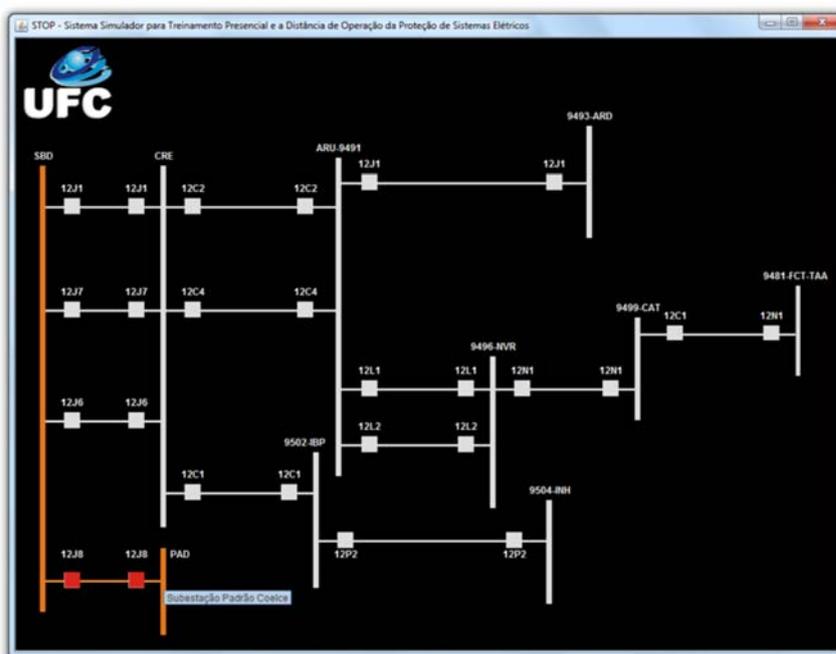


Figura 3.1: Tela inicial STOP - diagrama unifilar da Regional Sobral – Eixo Cariré (COELCE).

3.2 Interface do Simulador

A tela inicial do STOP é mostrada na Figura 3.1. Nela é apresentado o diagrama unifilar do sistema Regional Sobral – o Eixo Cariré do Sistema Elétrico da Companhia Energética do Ceará (COELCE). O modelo de subestação escolhido é o padrão de

subestações de distribuição de energia elétrica de 69-13,8 kV (COELCE CP011, 2003). Na Figura 3.2 é mostrado o diagrama unifilar da subestação com seus respectivos equipamentos de proteção e operação que podem ser configurados com valores reais de equipamentos existentes no mercado e testados através de simulações. A subestação possui arranjo de barra principal e de transferência no lado de 69 kV (02B1 e 02B2, respectivamente) e no lado de 13,8 kV (01B1 e 01B2, respectivamente). No lado de 69 kV foram modeladas duas entradas de linha (02L1 e 02L2) e uma saída de linha (02L1). No esquema são representados dois vãos de transformação (02T1 e 02T2). Na parte de 13,8 kV são modelados três alimentadores (01Y4, 01Y5 e 01Y6).

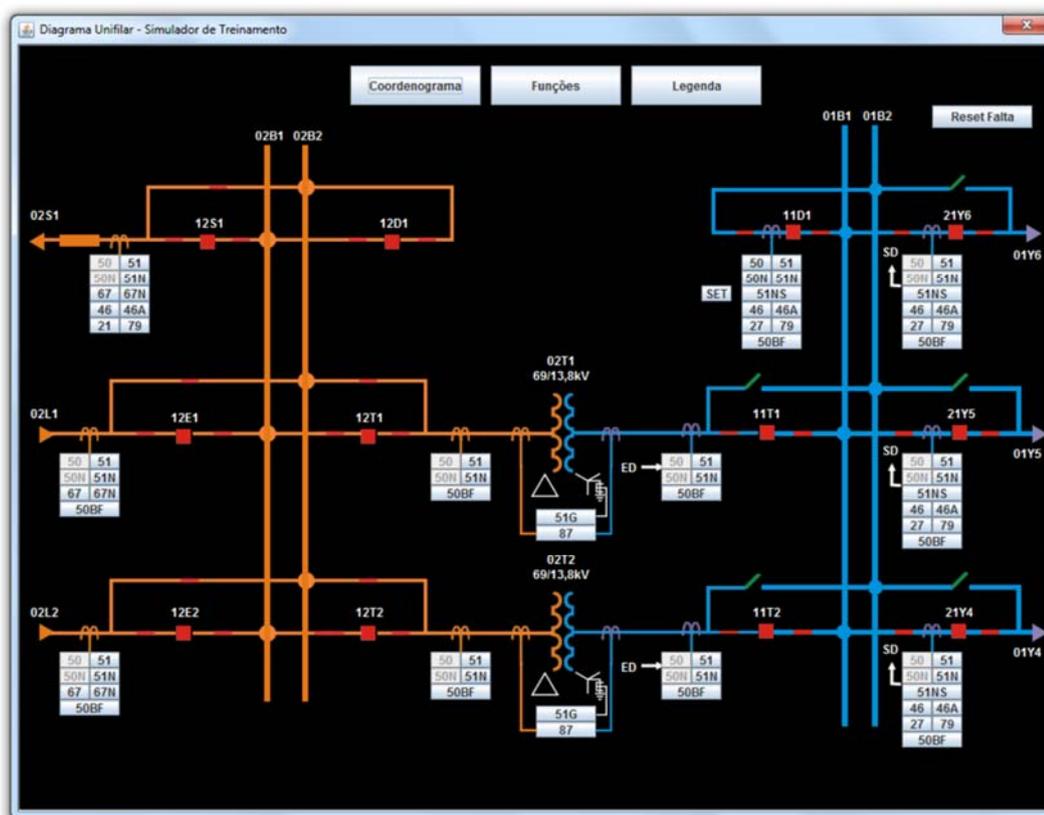


Figura 3.2: Diagrama unifilar de proteção de uma subestação típica de 69-13,8 kV.

Com a representação dos componentes da subestação, é possível realizar diversas simulações para que os usuários do simulador possam treinar com os diversos componentes de uma subestação e suas funções de proteção associadas.

3.3 Recursos do Simulador

Os principais recursos que o simulador dispõe para simulações no sistema elétrico são descritos a seguir, para consolidação e validação dos conhecimentos adquiridos pelo aluno.

3.3.1 Correntes de Curto-circuito na Barra de 69 kV

A entrada de dados para calcular as correntes de curto circuito trifásica e monofásica da barra de 69 kV é feita clicando na entrada de linha (Figura 3.3). Aparecerá, então, uma janela onde são solicitados os valores para que o usuário informe o comprimento da linha (em km), a distância entre fases (em m) e escolha o tipo de cabo utilizado na linha de transmissão.

Os dados para elaboração dos cálculos de R1 (resistência de sequência positiva), R0 (resistência de sequência zero), X1 (reatância de sequência positiva) e X0 (reatância de sequência zero) foram extraídos de (WESTINGHOUSE ELECTRIC CORPORATION, 1964).

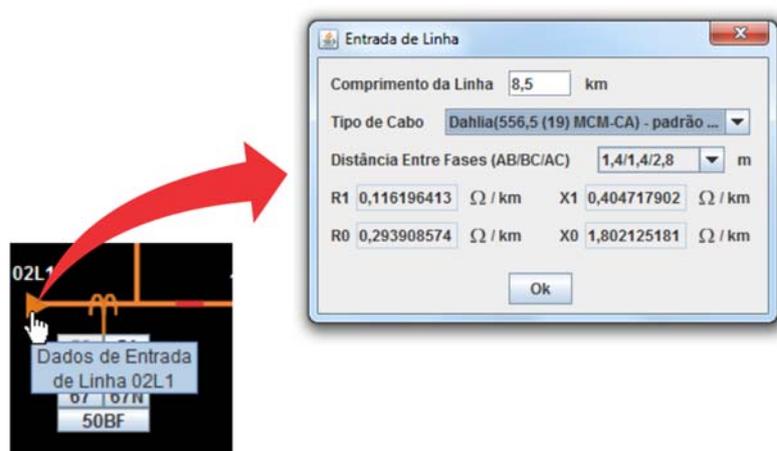


Figura 3.3: Configuração de dados da entrada de linha 02L1.

As informações referentes ao tipo de cabo utilizado na linha são obtidas de catálogos de fabricantes de cabos utilizados comercialmente nas linhas de transmissão. Novos tipos de cabos podem ser incluídos.

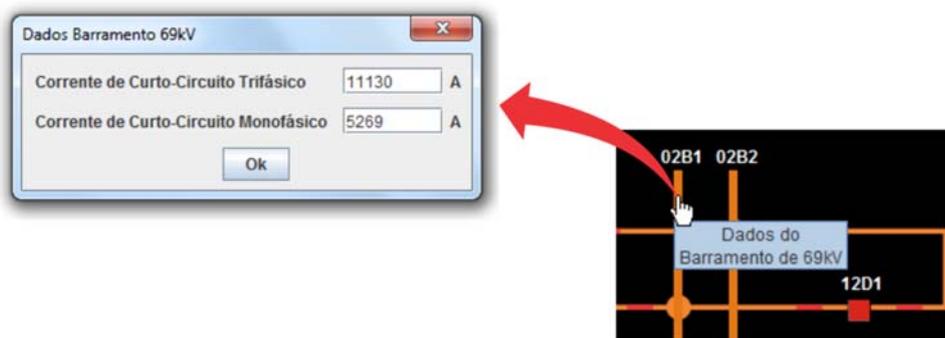


Figura 3.4: Configuração de dados do barramento de 69 kV.

O cálculo das correntes de curto-circuito trifásico e monofásico é feito atualizando os dados de linha. Mudando as configurações de linha, as correntes de curto-circuito são recalculadas (Figura 3.4), permitindo ao aluno verificar a influência de cada parâmetro da linha nas correntes de curto-circuito da barra de 69 kV.

3.3.2 Seleção dos Transformadores de Potência

A escolha do transformador utilizado na subestação é feito clicando no transformador representado no diagrama unifilar (Figura 3.5).

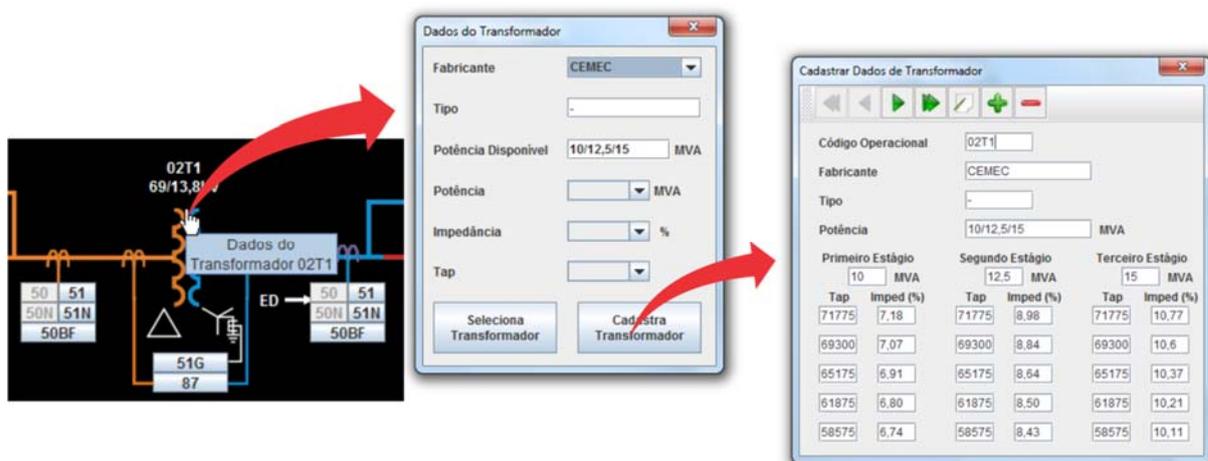


Figura 3.5: Seleção de transformador de potência.

O aluno pode escolher entre diversos transformadores utilizados comercialmente no mercado. O software disponibiliza ainda uma opção “Cadastra Transformador” (Figura 3.5). Na janela exibida, o aluno pode informar modelos que não estão

disponíveis em sua biblioteca, através da tela de cadastro, criando um banco de dados interativo que permite armazenar, cadastrar, editar e excluir. O arquivo com os dados referente aos transformadores é baseado no padrão de linguagem de marcação *Extensible Markup Language* (XML), sendo uma linguagem de marcação de dados especificada pela W3C¹¹ (*World Wide Web Consortium*).

Com a possibilidade de escolher equipamentos com dados reais dos equipamentos utilizados em sistemas de potência, o aluno pode se familiarizar e aperfeiçoar seus conhecimentos adquiridos.

O programa calcula a potência de curto circuito na barra de 13,8 kV usando o método do MVA (Seção 2.10), que considera as potências dos transformadores, suas reatâncias e a potência equivalente do sistema referente à barra de 69 kV. Com esses valores é possível avaliar a influência dos transformadores utilizados para as potências de curto-circuito.

O aluno pode verificar o efeito no sistema de potência, de utilizar transformadores em paralelo com diferentes potências e impedâncias, permitindo ao aluno uma análise crítica dos valores obtidos, cujo valor é muito importante para o dimensionamento dos dispositivos e ajustes de proteção.

3.3.3 Correntes de Curto-circuito na Barra de 13,8 kV

A entrada de dados para as correntes de curto circuito trifásica e monofásica da barra de 13,8 kV é feita clicando na barra de 13,8 kV (Figura 3.6). Aparecerá, então, uma janela onde são mostrados os valores para o usuário. Os dados informados ao usuário através dos dados de corrente de curto-circuito da barra de 69 kV (Figura 3.4) e da seleção dos equipamentos utilizados nos vãos de transformação (Figura 3.5), são utilizados para o preenchimento dos valores de curto-circuito na barra de 13,8 kV. O

¹¹ <http://www.w3.org/>

usuário poderá verificar, através das mudanças desses parâmetros, a influência na potência de curto-circuito, como diferença nas impedâncias e potências dos transformadores, tipos de cabos utilizados na linha de transmissão e diferentes comprimentos. Os valores de curto-circuito são atualizados automaticamente.

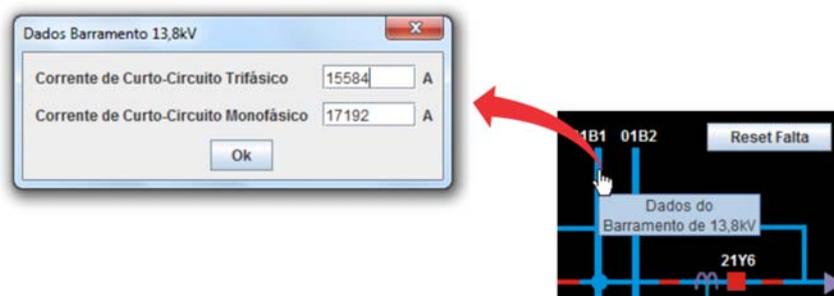


Figura 3.6: Configuração de dados do barramento de 13,8 kV.

3.3.4 Seleção e Validação do Dimensionamento do TC

Para a seleção da relação do TC (RTC), o usuário deve escolher um modelo dentre um conjunto previamente armazenado (Figura 3.7). O usuário deve escolher entre vários fabricantes disponíveis, e em seguida, escolher a RTC. O usuário pode ainda adicionar ou modificar a relação de TCs disponíveis, adicionando, excluindo ou modificando os TCs. Para tanto, basta clicar em “Cadastrar TC” (Figura 3.7) que em seguida será exibida uma tela de cadastro e edição, mostrando os equipamentos disponíveis e suas características (Código Operacional, Fabricante, RTC, Exatidão, Fator Térmico).

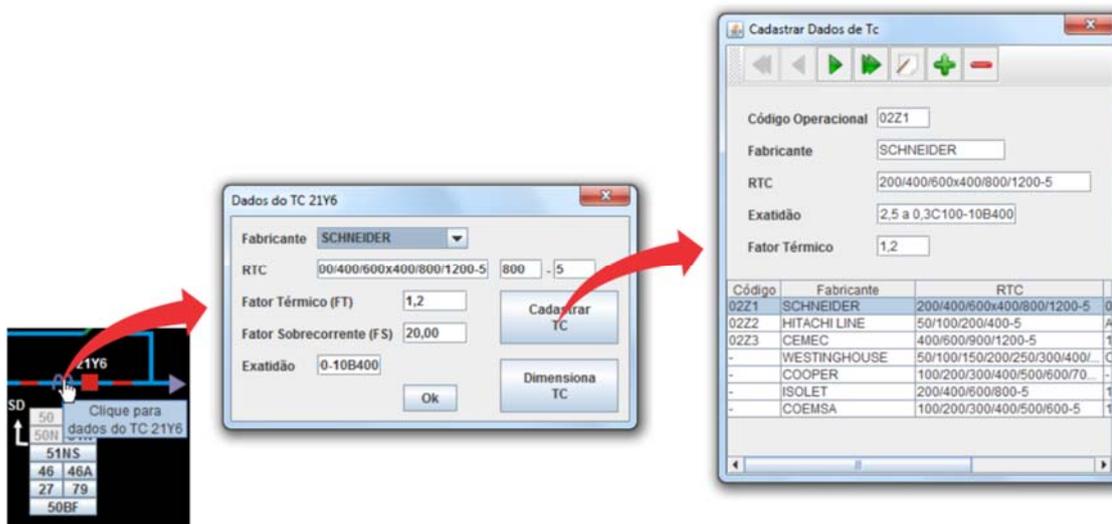


Figura 3.7: Seleção e cadastro de TC.

Os botões para edição dos TCs são descritos na Tabela 3-1.

Tabela 3-1: Botões de edição para cadastro de equipamentos

	Primeiro: Navega até o primeiro registro (primeiro equipamento disponível).
	Anterior: Navega até o registro anterior (antes do equipamento selecionado).
	Próximo: Navega até o registro posterior (depois do equipamento selecionado).
	Último: Navega até o último registro (último equipamento disponível).
	Editar: Edita as modificações feitas no equipamento selecionado.
	Adicionar: Adiciona à base de dados o equipamento selecionado.
	Remover: Remove da base de dados o equipamento selecionado.

Caso o valor de RTC não esteja disponível para o modelo selecionado, isso é informado ao usuário através de uma mensagem de erro (Figura 3.8), exigindo que o usuário reveja as relações disponíveis para o equipamento selecionado.

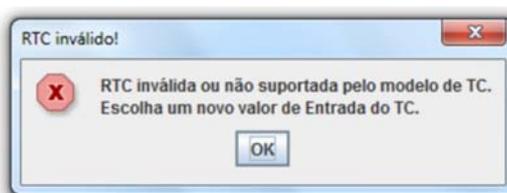


Figura 3.8: Mensagem de erro - RTC Inválida ou não suportada.

Em seguida o usuário deverá verificar o dimensionamento do TC, clicando no botão “Dimensiona TC” para obter o retorno do software, verificando se a RTC definida está especificada corretamente ou não.

3.3.5 Corrente de Carga Máxima no Alimentador

A corrente de carga máxima é inserida no sistema, clicando na saída do alimentador de 13,8kV, onde aparecerá a tela da Figura 3.9. O usuário pode ainda informar a corrente de carga dos alimentadores 01Y4 e 01Y5. Esses valores são usados para verificação do dimensionamento correto dos equipamentos e proteções do sistema.

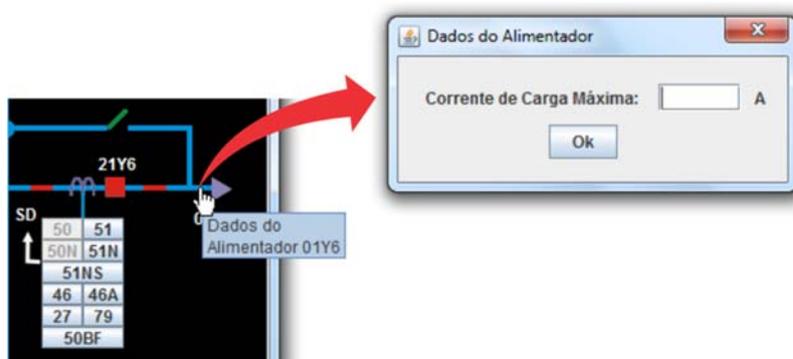


Figura 3.9: Configuração de corrente de carga do alimentador 01Y6.

3.3.6 Proteção de Entrada e Saída de Linha de Transmissão

No lado de 69 kV são apresentadas as principais funções de proteção utilizadas em entradas e saídas de linha de transmissão (Figura 3.10).

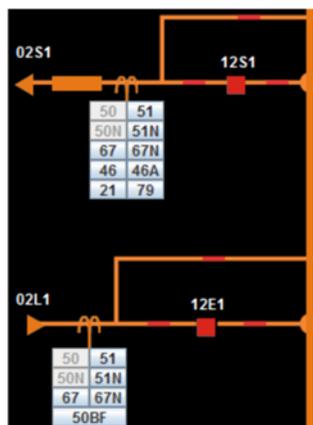


Figura 3.10: Principais funções de proteção em entrada e saída de linhas (02L1 e 02S1)

3.3.7 Proteção do Vão de Transformação

No vão de transformação são representadas as principais funções de proteção associadas aos transformadores como: função diferencial (função 87), sobrecorrente de terra (função 51G) e funções intrínsecas (Figura 3.11).



Figura 3.11: Principais funções de proteção associadas aos transformadores.

3.3.8 Proteções de Média Tensão (13,8 kV)

Na Figura 3.12 são representados os alimentadores, seus relés e respectivos disjuntores e as funções de proteção dos alimentadores.

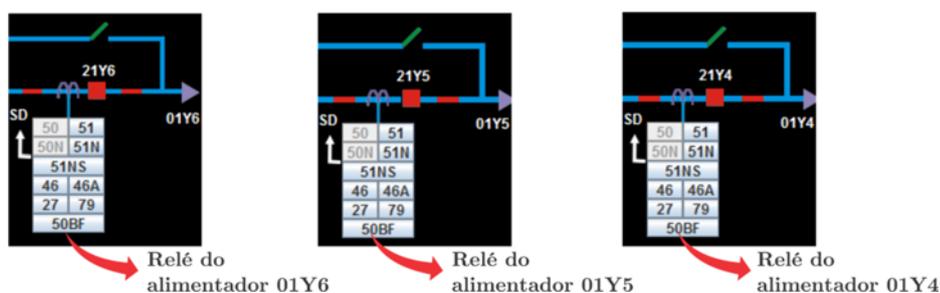


Figura 3.12: Proteção dos alimentadores (01Y4, 01Y5 e 01Y6)

Caso o aluno queira consultar as principais funções disponíveis no software e o significado, basta clicar no botão “Funções” (Figura 3.2) que será exibida uma janela com as principais funções de proteção (Figura 3.13).



Figura 3.13: Código das principais funções de proteção utilizadas no software.

Na Figura 3.14, são representados os relés de barra (11T1 e 11T2), com seus respectivos disjuntores e funções de proteção associadas.

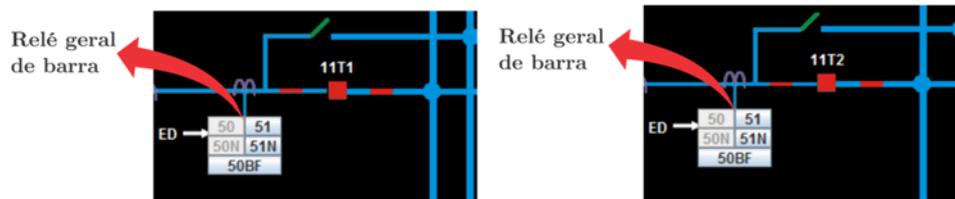


Figura 3.14: Proteção da barra (relé geral de barra).

Na Figura 3.15 está representado o relé de transferência (11D1) com seus respectivos disjuntores e funções de proteção associadas. Este relé pode substituir os relés dos alimentadores (01Y4, 01Y5 ou 01Y6) ou ainda, substituir os relés de proteção geral de barra (11T1 ou 11T2) em caso de manutenção ou substituição de um dos relés, mantendo assim a continuidade do serviço.

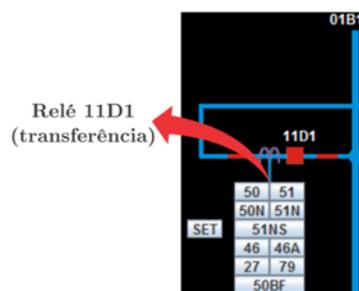


Figura 3.15: Relé de transferência (11D1).

3.3.9 Simulação de Faltas

A simulação de faltas em alimentadores com efeitos visuais indicativos de curtos-circuitos é um dos principais recursos do simulador de proteção. Neste sistema somente faltas monofásicas e trifásicas foram consideradas por serem as faltas mais comuns e de maior impacto e normalmente utilizadas para cálculo dos ajustes das proteções pelas concessionárias de energia elétrica para sistemas elétricos aéreos.

O tipo de falta pode ser selecionado através da janela mostrada na Figura 3.16, clicando na saída do alimentador no diagrama unifilar da subestação (Figura 3.2). Em seguida, deve ser informado o valor da corrente de curto-circuito (Figura 3.16). O aluno pode selecionar tipos e valores diferentes de curtos-circuitos em cada um dos alimentadores.



Figura 3.16: Seleção do tipo e valor da corrente de curto-circuito (Alimentador 01Y6).

3.3.10 Atuação da Proteção e Mudança de Estado do Equipamento

Após a seleção dos equipamentos utilizados, a configuração das funções de proteção e a atuação dos dispositivos de proteção para eliminação da falta, é apresentado ao usuário indicativos visuais de mudança do disjuntor de vermelho (estado fechado) para verde (estado aberto) (Figura 3.17), indicativo do tipo de curto-circuito e sinalização do local onde ocorreu a falta (alimentador 01Y6).

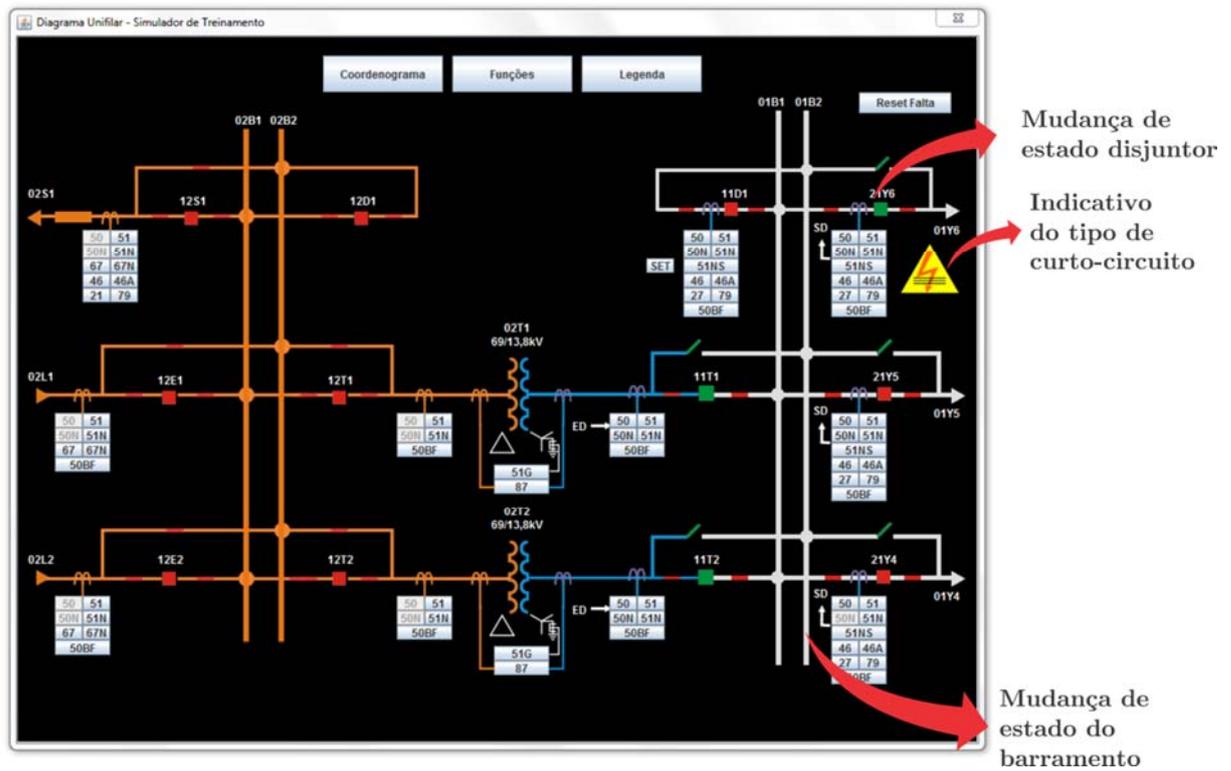


Figura 3.17: Mudança de estado dos dispositivos de proteção e indicativo de curto-circuito.

Neste diagrama, no canto superior direito, aparece o botão “reset falta”, que deve ser usado logo após a aplicação e análise de uma falta, quando se deseja restaurar a subestação para o estado anterior à falta.

Para auxiliar o aluno, e permitir uma melhor compreensão do simulador, é apresentada, na Figura 3.18, uma legenda com as cores que representam os estados dos equipamentos e barramentos exibidos.

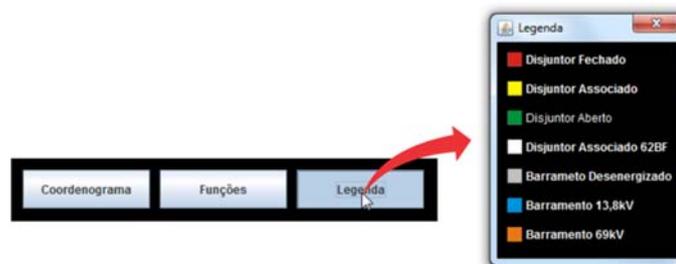


Figura 3.18: Legenda dos estados dos equipamentos

3.3.11 Simulação da Função de Sobrecorrente Temporizada 51

Na Figura 3.19 é apresentada uma janela de cálculo referente ao ajuste de proteção da função 51 (sobrecorrente de fase temporizado). Nesta tela são inseridos os dados necessários para o cálculo da curva de coordenação do relé, dentre eles tem-se o valor do *TAP*, da corrente de *pickup*, o valor do múltiplo da corrente de curto circuito e o tipo de curva. Os campos *I*carga máx e *RTC*, são informados através da seleção de *TC* (Figura 3.7) e da entrada da corrente de carga do alimentador (Figura 3.9), não permitindo a modificação pelo usuário na tela de ajuste da função 51.

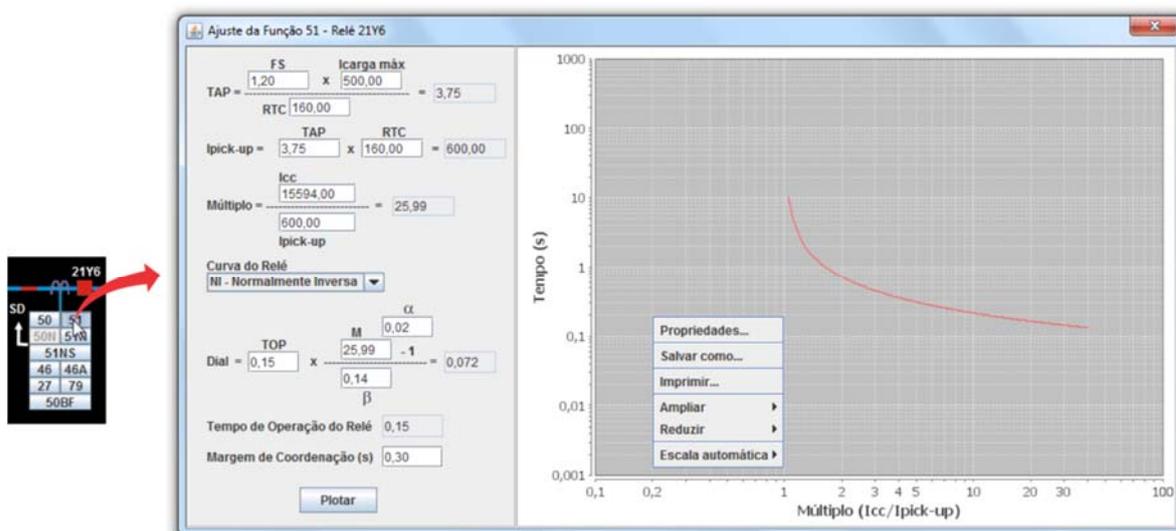


Figura 3.19: Configuração do ajuste da função 51 do relé do disjuntor do alimentador.

Para a confecção das curvas dos relés, foi utilizada a biblioteca *JFreeChart*¹², uma biblioteca *open source* escrita 100% em *Java*, que possibilita a criação de gráficos em aplicações desktop ou web. Com esta biblioteca é possível gerar gráficos como

¹² <http://www.jfree.org/jfreechart/>

arquivos de imagens (PNG¹³, GIF e JPG¹⁴) e formatos vetorizados (PDF, EPS e SVG¹⁵) possibilitando ainda, a customização de legendas, títulos, traços, bordas, cores, fontes, plano de fundo, intervalo, etc. (Figura 3.20).

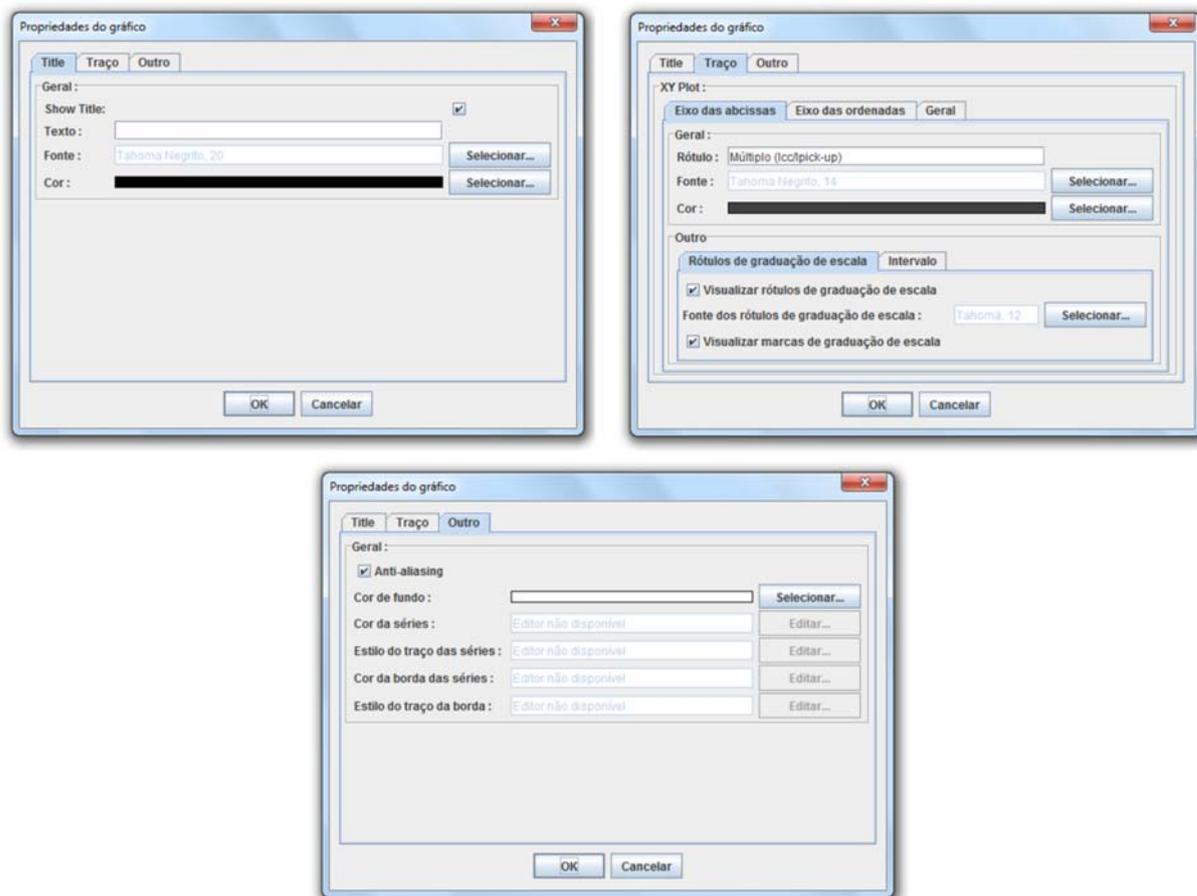


Figura 3.20: Tela de personalização dos gráficos.

Com a utilização da biblioteca, o aluno pode salvar os gráficos e armazenar as curvas geradas no computador ou imprimi-las.

¹³ <http://www.w3.org/Graphics/PNG/>

¹⁴ <http://www.jpeg.org/>

¹⁵ <http://www.w3.org/Graphics/SVG/>

3.3.12 Simulação da Função de Sobrecorrente Instantânea 50

Na Figura 3.21 é apresentada uma janela de cálculo referente ao ajuste de proteção da função 50 (sobrecorrente de fase instantâneo). Nesta tela são inseridos os dados necessários para o cálculo do TAP segundo dois critérios normalmente utilizados para esse tipo de ajuste de proteção: critério de curto-circuito e critério de carga.



Figura 3.21: Configuração do ajuste da função 50 do relé do alimentador 01Y6.

3.3.13 Seleção de Grupos de Ajustes

Nesta função, o grupo de ajuste associado ao disjuntor de transferência pode substituir qualquer um dos religadores dos alimentadores ou o disjuntor geral do barramento. Na Figura 3.22 são mostrados os três grupos de ajustes onde o grupo 1 substitui o relé do alimentador, o grupo 2 substitui o relé do disjuntor de barra 11T1 e o grupo 3 substitui o relé do disjuntor de barra 11T2.

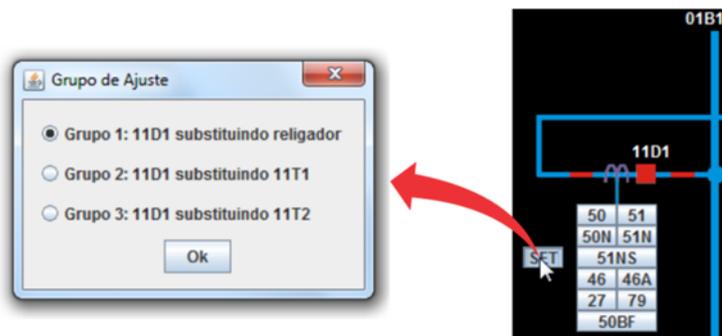


Figura 3.22: Configuração do SET do grupo de ajuste do relé de transferência.

3.3.14 Simulação das Funções de Seletividade Lógica

É possível ativar a função seletividade lógica dos relés dos alimentadores e do relé associado ao disjuntor geral. Esta função surgiu com o advento dos relés microprocessados e visa o uso de funções de sobrecorrente instantânea associada ao disjuntor geral da barra, antes inexistentes nos relés eletromecânicos. Quando a falta no alimentador proporciona a atuação da função instantânea do relé, a função seletividade lógica bloqueia a atuação da função instantânea do relé associado ao disjuntor geral do barramento. Na Figura 3.23 é mostrado um exemplo da simulação da função de seletividade lógica. A seletividade lógica é ativada mudando a cor da entrada digital (ED) do relé para vermelho.



Figura 3.23: Configuração seletividade lógica.

3.3.15 Coordenograma das Proteções

O software gera automaticamente, após a definição das curvas e ajustes dos relés de sobrecorrente, um coordenograma de fase e neutro, através do qual o usuário pode verificar a coordenação das proteções, conforme é mostrado na Figura 3.24. O usuário

poderá visualizar informações referentes a corrente de curto-circuito e tempo de operação, bastando movimentar o mouse sobre as curvas geradas, que aparecerá informações como: o relé ao qual a curva pertence, a corrente de curto-circuito e o tempo de atuação. No coordenograma são exibidas, também, as curvas da função 50 (sobrecorrente instantâneo de fase), permitindo uma visão completa dos tempos de atuação das funções de proteção. O coordenograma é importante para verificar se os relés estão coordenados, ou seja, para um curto circuito no alimentador o relé do alimentador terá que atuar primeiro do que o relé de barra, isolando assim a menor parte do sistema e permitindo a continuidade dos outros alimentadores.

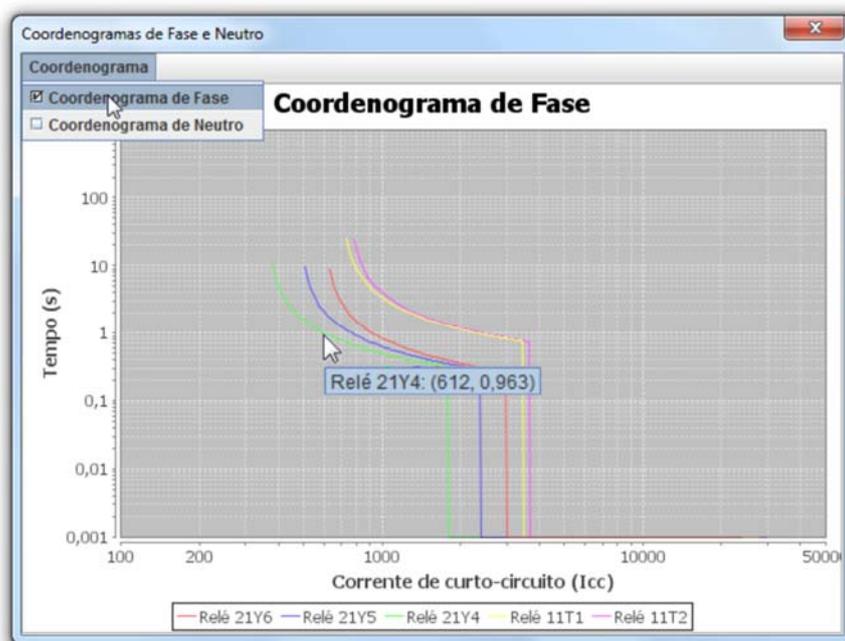


Figura 3.24: Coordenogramas de fase e neutro.

3.3.16 Simulação da Função Religamento

Escolhendo-se a função adequada, pode-se selecionar o ciclo de religamento dos religadores e verificar a sequência de abertura e fechamento do religador através de efeitos visuais de mudança de cores e mensagens.

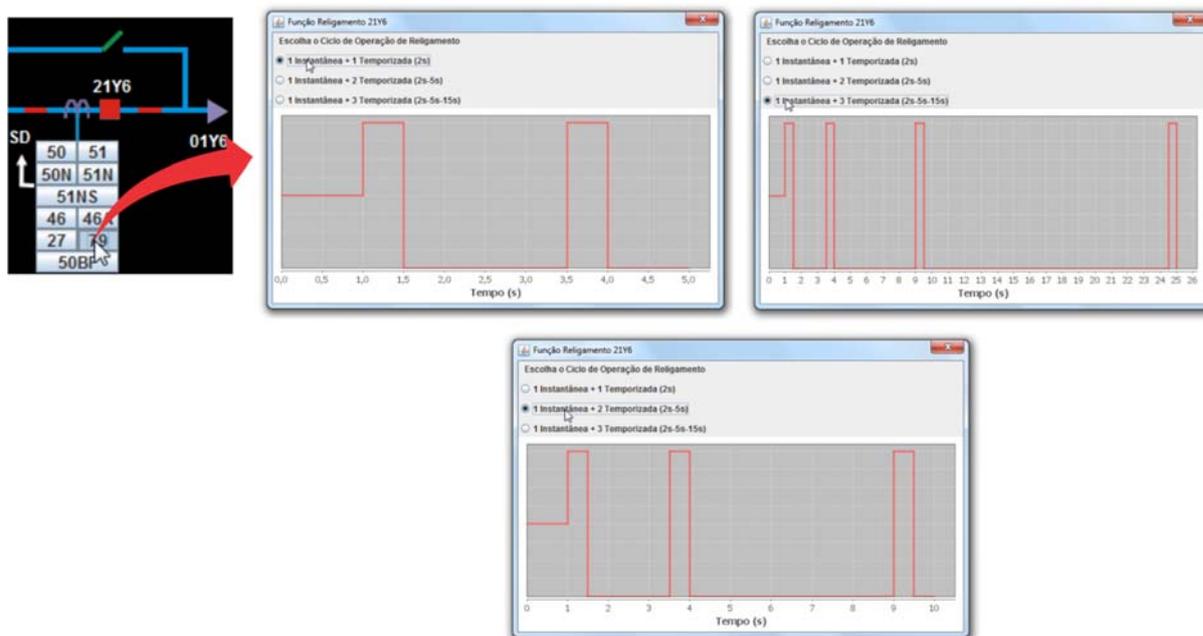


Figura 3.25: Tela de opções dos ciclos de religamento dos alimentadores.

Clicando no botão 79 será aberta a tela com as opções de ciclo de religamento com seus respectivos gráficos de tempo de atuação, conforme Figura 3.25.

3.4 Exemplo de Caso de Simulação de Curto em Alimentador de 13,8 kV

O objetivo deste exemplo de caso é a simulação de um curto circuito trifásico e um monofásico no alimentador de 13,8 kV (01Y6), para verificação da atuação das proteções de sobrecorrente instantânea e temporizada. Serão consideradas duas situações: a primeira com a seletividade lógica desativada e a segunda com a seletividade lógica ativada.

Parâmetros de entrada para a simulação:

- Corrente de carga máxima no alimentador 01Y4: 300 [A]
- Corrente de carga máxima no alimentador 01Y5: 400 [A]

- Corrente de carga máxima no alimentador 01Y6: 500 [A]
- Comprimento da linha: 9,19 [km]
- Tipo de cabo utilizado na linha: Dahlia (556,5 (19) MCM-CA) - padrão urbano normal - 69kV, geometria da linha (distância entre fases: AB/BC/AC – 1,4/1,4/2,8 [m]
- Transformador 02T1: Potência - 33MVA, Impedância - 13,0%
- Transformador 02T2: Potência - 33MVA, Impedância – 12,5%

Com base nas informações passadas ao software, os valores obtidos para as correntes de curto-circuito monofásico e trifásico no lado de 69kV podem ser observados na Figura 3.26.

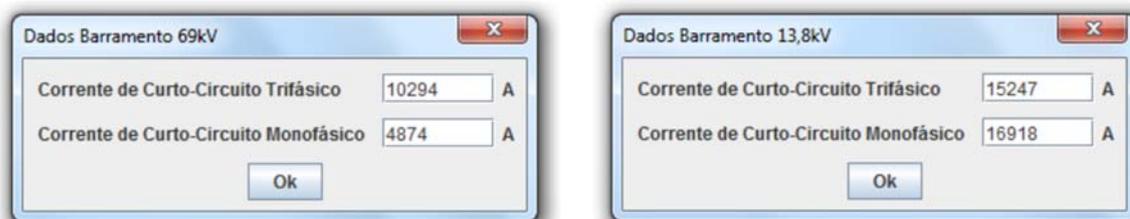


Figura 3.26: Exemplo de caso: correntes de curto-circuito barramento de 13,8 kV e 69 kV.

Selecionado os equipamentos, e escolhido as correntes de carga dos alimentadores, agora é preciso selecionar os TCs para se obter as RTC. Clicando sobre o TC do relé 21Y6 (Figura 3.7). Os dados do TC selecionado são:

- Fabricante: SCHNEIDER;
- RTC: 200/400/600x400/800/1200-5;
- Fator térmico: 1,2;
- Fator sobrecorrente: 20,00
- Exatidão: 0,3C2,5 a 0,3C100-10B400

Escolheu-se entre as RTCs disponíveis, o valor de 800-5, em seguida, verificou-se o dimensionamento do TC (Figura 3.27) utilizando os critérios da corrente nominal e de curto-circuito. Para atender aos dois critérios, pode-se mudar o fator de sobrecorrente ou mudar a RTC para 1200/5. Para o estudo de caso escolhido, modificou-se a RTC para 1200/5.

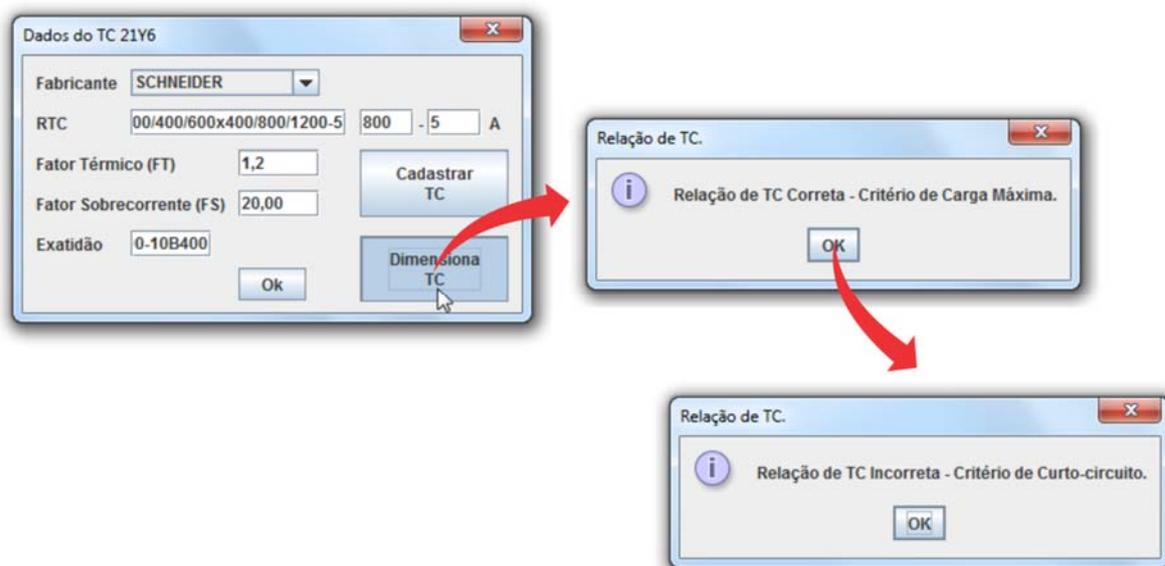


Figura 3.27: Verificação do dimensionamento do TC.

Em seguida, precisou-se ajustar as funções de proteção de sobrecorrente instantânea e temporizada que podem ser realizadas clicando nos respectivos botões 50 e 51 do relé do alimentador 21Y4, 21Y5 ou 21Y6 do diagrama unifilar (Figura 3.19). A corrente de pick-up da função de sobrecorrente temporizada é calculada conforme Figura 3.28 que leva em consideração o valor de relação do TC selecionado (Figura 3.27) e a corrente de carga máxima do alimentador. O seu valor de ajuste ficou em 600 A.

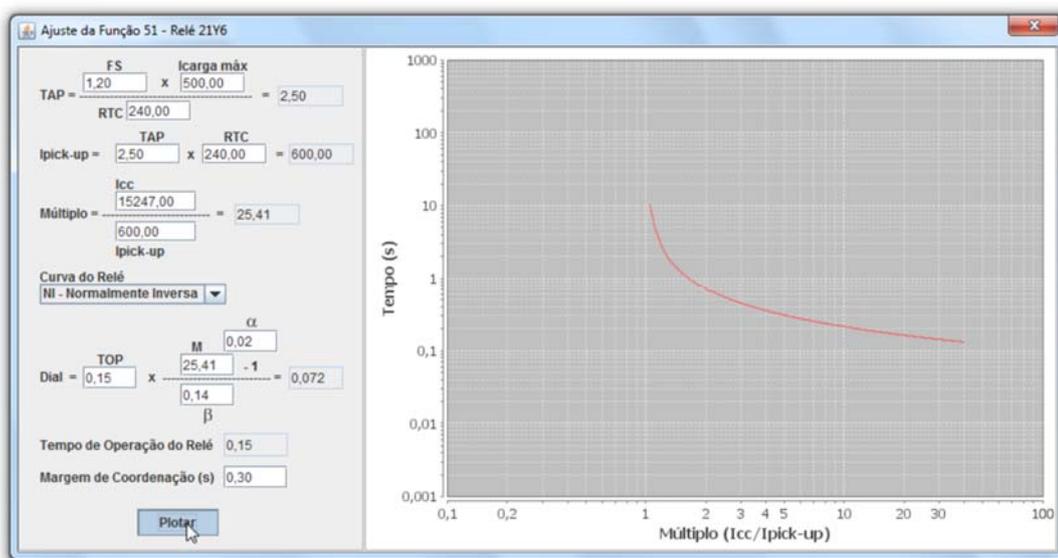


Figura 3.28: Ajuste da Função 51.

A corrente de *pick-up* da função de sobrecorrente instantânea (50) é calculada conforme Figura 3.29 que leva em consideração o valor do TC selecionado e o valor de ajuste da corrente de *pick-up* da função de sobrecorrente temporizada (51). O seu valor de ajuste ficou em 3000 A.



Figura 3.29: Ajuste da Função 50.

Agora, necessita-se definir o ajuste das funções 51N e 50N. A função 51N teve o valor da corrente de *pick-up* ajustado em 150 A (Figura 3.30). A função 50N teve o valor da corrente de *pick-up* ajustado para 750 A (Figura 3.31).

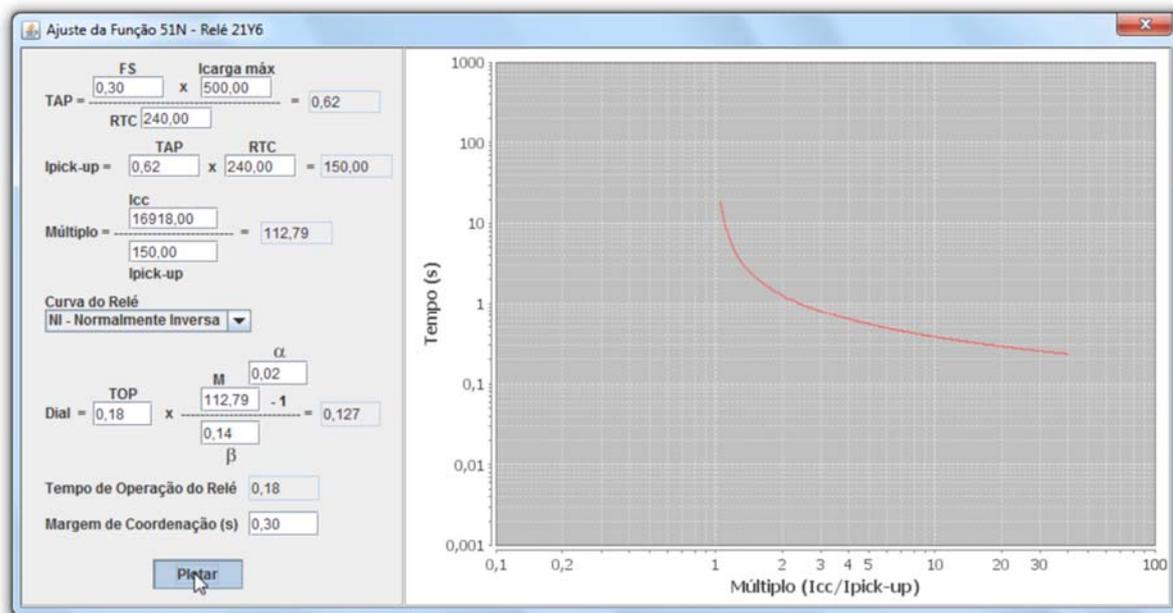


Figura 3.30: Ajuste da Função 51N.



Figura 3.31: Ajuste da Função 50N.

Com as funções de proteção ajustadas, podem-se aplicar faltas trifásicas e monofásicas de valores diferentes de corrente de curto-circuito, e pode-se observar quais funções de proteção irão atuar, e qual o estado do diagrama unifilar após a atuação das mesmas.

Para uma falta trifásica de 3500 A, no alimentador 01Y6 (Figura 3.32), o relé é sensibilizado e, por ser um valor acima do valor da corrente de pick-up da função de sobrecorrente instantânea, o mesmo atua independente da curva, levando apenas o tempo de processamento do relé e o tempo de abertura dos contatos do religador para eliminar a falta. Com a seletividade lógica desativada, os relés de retaguarda 11T1 e

11T2 atuaram também, desenergizando o barramento e os outros alimentadores 01Y4 e 01Y5 (Figura 3.32).

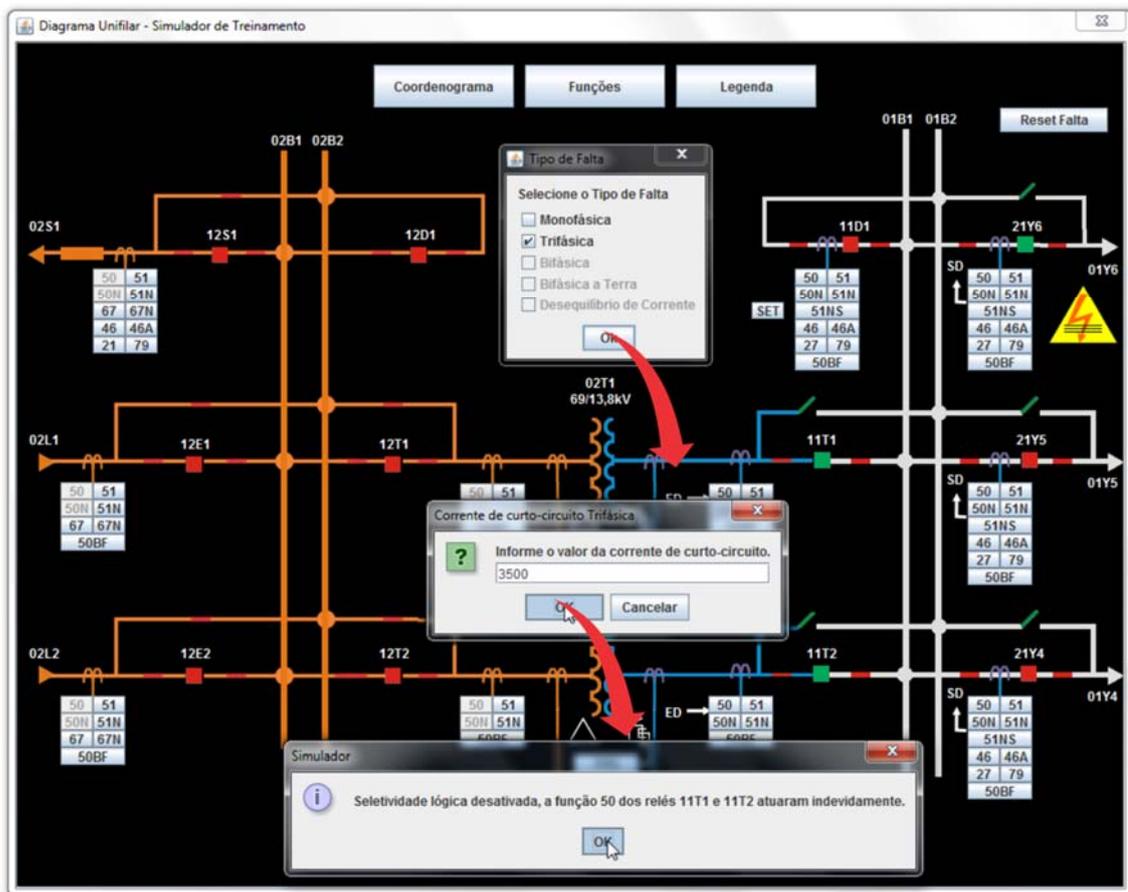


Figura 3.32: Simulação de falta trifásica: curto-circuito trifásico no alimentador 01Y6 corrente de curto-circuito de 3500 A, com a função seletividade lógica desativada.

Para uma falta trifásica no valor de 500 A, o relé não é sensibilizado por ser um valor abaixo do seu valor de ajuste (*pick-up*) (Figura 3.33).

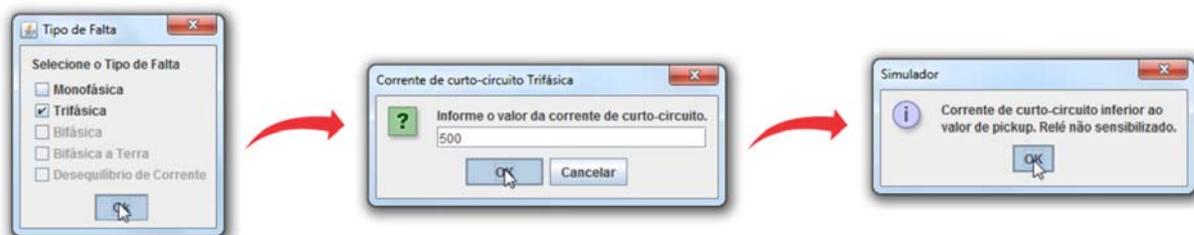


Figura 3.33: Simulação de falta trifásica: valor inferior a corrente de *pick-up*.

Para uma falta trifásica com valor de corrente de 800 A, o relé é sensibilizado e pela curva escolhida da função de sobrecorrente temporizada (51) o relé atua em 1,738 segundos conforme Figura 3.34.



Figura 3.34: Simulação de falta trifásica, tempo de atuação da Função 51.

Para uma falta monofásica de 150 A, no alimentador 01Y6, o relé não é sensibilizado, valor abaixo da corrente de *pick-up* (Figura 3.35).



Figura 3.35: Simulação de falta monofásica: valor inferior a corrente de pick-up.

Para uma falta monofásica com valor de corrente de 700 A, o relé é sensibilizado e pela curva escolhida da função de sobrecorrente temporizada de neutro (51N) o relé atua em 0,570 segundos conforme Figura 3.36.



Figura 3.36: Simulação de falta monofásica: tempo de atuação função 51N.

Para uma falta monofásica de 800 A, no alimentador 01Y6, o relé é sensibilizado, por ser um valor acima do valor da corrente de pick-up da função de sobrecorrente instantânea de neutro, atuando independente da curva, levando apenas o tempo de processamento do relé e o tempo de abertura dos contatos do religador para eliminar a falta. Com a seletividade lógica ativada apenas o relé 21Y6 atua, desligando o alimentador 01Y6 (Figura 3.37).

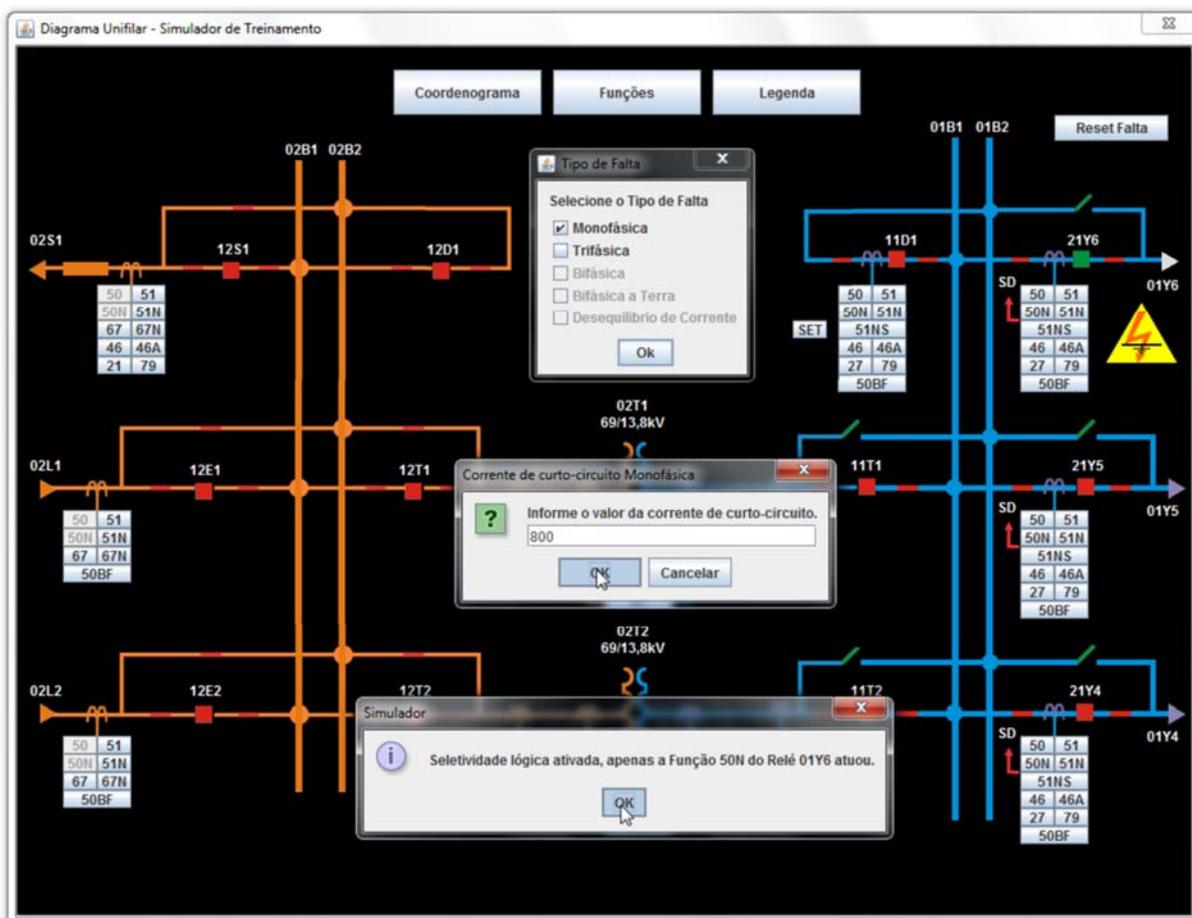


Figura 3.37: Simulação de falta monofásica: curto-circuito monofásico no alimentador 01Y6 corrente de curto-circuito de 800A, com a função seletividade lógica desativada.

Neste capítulo foi apresentado o uso do simulador de proteção STOP desenvolvido neste trabalho. Os recursos e funções que foram desenvolvidos, as telas do programa, configurações de equipamentos, configuração das funções de proteção e simulação de faltas para que os usuários possam compreender melhor proteção de sistemas elétricos, objetivos deste trabalho.

Capítulo 4

4 Integração da ferramenta ao *Moodle*

4.1 O *Moodle* no Apoio às Aulas Presenciais

Em vários cursos da Universidade Federal do Ceará o *Moodle* vem sendo utilizado como ferramenta de apoio nas disciplinas de graduação e pós-graduação. No Centro de Tecnologia da UFC, dentre outras, nas disciplinas de Cálculo Fundamental dos cursos Engenharia Metalúrgica e Engenharia de Energias Renováveis e Meio Ambiente (TAVARES, 2010). Especificamente, no Departamento de Engenharia Elétrica, ele vem sendo empregado em várias disciplinas, dentre elas, as de Proteção de Sistemas Elétricos de Potência e Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica.

Um problema que pode se apresentar com frequência para desenvolvedores que precisem agregar ferramentas previamente existentes aos AVAs é a incompatibilidade de tecnologias. Alguns simuladores são desenvolvidos em C, *Delphi* ou outras linguagens, enquanto que os AVAs são, em sua grande maioria, baseados em tecnologia *Web*.

A integração do simulador ao *Moodle* é feita através de um bloco, denominado STOP (Figura 4.1). A principal funcionalidade do bloco desenvolvido é permitir ao professor/tutor acesso às ferramentas de configuração e controle do ambiente

(Simulador Formador e Servidor de Mensagens) e, aos alunos, somente o acesso ao Simulador Aluno e Simulador.



Figura 4.1: Bloco STOP integrado ao Moodle.

Os elementos do bloco são:

- Simulador Formador: Permite acesso à ferramenta de acesso remoto, disponibilizado apenas para o professor/tutor (Figura 4.2);
- Simulador Aluno: Permite acesso à ferramenta de acesso remoto, disponibilizado para o professor/tutor e aluno (Figura 4.2);
- Simulador: Versão do software simulador para utilização local utilizando *Java Web Start*.
- Servidor de Mensagens: Permite acesso à configuração do servidor de mensagens para controle e gerenciamento do chat.

A ferramenta desenvolvida foi projetada para que se pudesse acessar o simulador remotamente usando o sistema *VNC (Virtual Network Computing)*. O *VNC* é um sistema cliente servidor que permite o acesso à interface gráfica de um computador remoto, permitindo ainda o compartilhamento deste acesso. A ferramenta desenvolvida agrega funcionalidades para a gestão do acesso ao computador remoto, além de integrar mecanismos de comunicação e colaboração, como pode ser visto na Figura 4.2. A

ferramenta desenvolvida utiliza *applet*¹⁶, um programa escrito em linguagem de programação *Java* que pode ser incluído em uma página *HTML*, da mesma forma que uma imagem é incluída em uma página. Quando o *applet* é ativado para execução no navegador, o código do *applet* é transferido para o sistema e executado pelo navegador através da *Java Virtual Machine* (JVM).

4.1.1 Interface de Acesso ao Simulador

O STOP foi desenvolvido em *Java*, integrando as classes de um cliente TightVNC, estendendo-as para incluir algumas adaptações. Durante o início do projeto foi necessário escolher entre manter a arquitetura utilizando o VNC, ou definir uma nova arquitetura sem a necessidade de utilização do VNC, no desenvolvimento do software em *Java*. Optou-se pela arquitetura utilizando o VNC em virtude da possibilidade de utilização da ferramenta em cursos utilizando softwares desenvolvidos para Windows entre outras plataformas, visto que grande parte dos softwares de configuração e parametrização dos relés é desenvolvida exclusivamente para o sistema operacional Windows.

A interface desta ferramenta para o formador (professor/tutor) é apresentada na Figura 4.2. A interface do aluno difere da interface do formador, apenas em relação ao Painel de Liberação de Recursos, que, no caso do aluno, chama-se Painel de Solicitação de Recurso (Figura 4.3). Os elementos da Interface são descritos em seguida.

¹⁶ Informações sobre *applet* em <http://Java.sun.com/applets/>

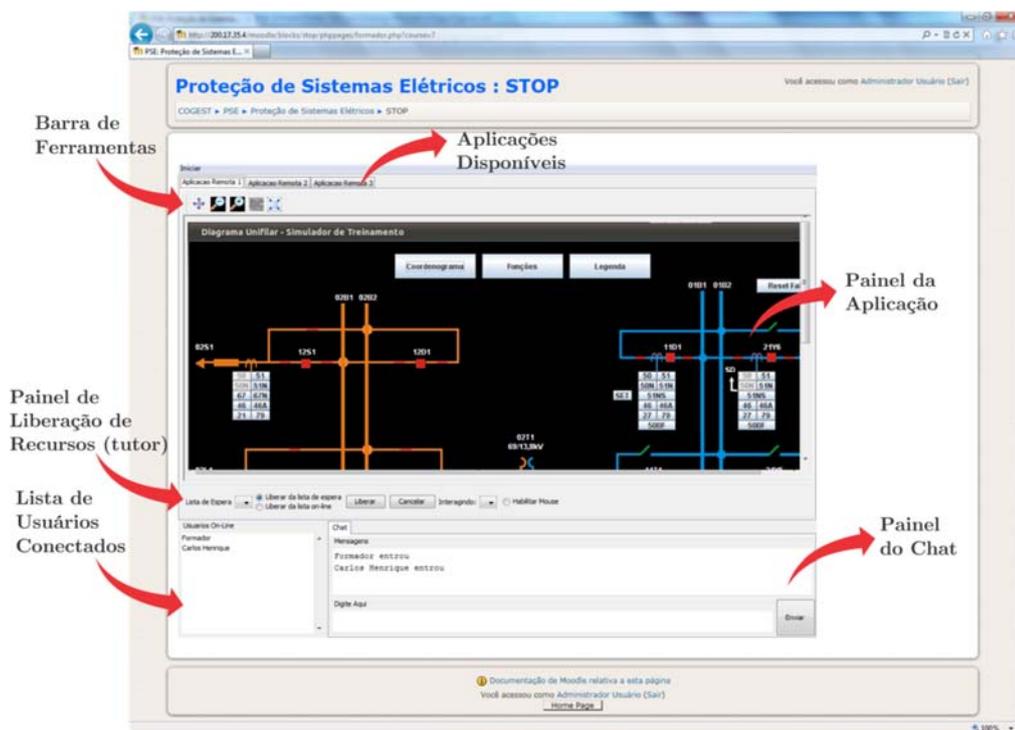


Figura 4.2: Interface da ferramenta de acesso remoto.

4.1.1.1 Aplicações Disponíveis:

Ambiente gráfico compartilhado em que cada aba disponível representa diferentes aplicações, podendo ser configuradas para acesso remoto pelos alunos.

4.1.1.2 Painel da Aplicação

Corresponde à interface do computador remoto, que executa a aplicação compartilhada por tutores e alunos. O acesso a esta região é mediado pelo tutor, podendo ele atribuir ou retirar o direito de acesso a um único aluno por vez.

4.1.1.3 Barra de Ferramentas

Contém os botões que atuam sobre o Painel da Aplicação, com opções de *pan*, de *zoom in* e de *zoom out*.

4.1.1.4 Painel do Chat

Área onde podem ser trocadas mensagens entre alunos e tutor durante a colaboração. Quando o Painel da Aplicação é apresentado em tela cheia, o chat é transportado para uma janela suspensa.

4.1.1.5 Lista de Usuários Conectados

Nesta parte da interface pode-se ver a lista de usuários conectados à aplicação.

4.1.1.6 Painel de Liberação de Recursos

Neste painel, o tutor observa os pedidos de liberação de acesso à aplicação remota. Quando o aluno requisita acesso, seu nome é apresentado na lista de usuários que estão aguardando a liberação da ferramenta. Na caixa de texto status, é apresentado o nome do aluno que detém o direito de acesso no momento. Este painel não existe na interface do aluno, sendo substituído pelo Painel de Solicitação de Recursos, como mostrado na Figura 4.3.

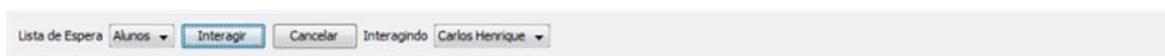


Figura 4.3: Painel de solicitação de recursos (aluno).

A interface apresenta flexibilidade suficiente para a agregação de novos componentes. Pode-se trabalhar, por exemplo, com múltiplas instâncias do *VNC* na mesma interface, permitindo o acesso simultâneo a diferentes aplicações remotas em localizações distintas. Em qualquer situação, o usuário escolhe qual a aplicação que deve ser colocada em evidência no Painel da Aplicação.

4.2 Arquitetura

Os componentes da arquitetura utilizada são distribuídos como ilustrado na Figura 4.4. Os clientes, que são os tutores e alunos, usando um navegador, acessam o Servidor *WEB* em que está instalado o *Moodle*. Neste servidor, além do próprio Servidor *Web*, encontram-se em execução os seguintes módulos: um Servidor de Mensagens, responsável pela comunicação por texto, um Módulo de Coordenação, responsável pelo controle de acesso à aplicação compartilhada, e um Refletor *VNC*, que faz a intermediação da comunicação com a aplicação compartilhada (*proxy*).

No Servidor de Aplicações, encontram-se em execução um Servidor *VNC* e a Aplicação Compartilhada. Na arquitetura desenvolvida, o Servidor de Aplicações é situado na mesma rede local que o Servidor *Web*.

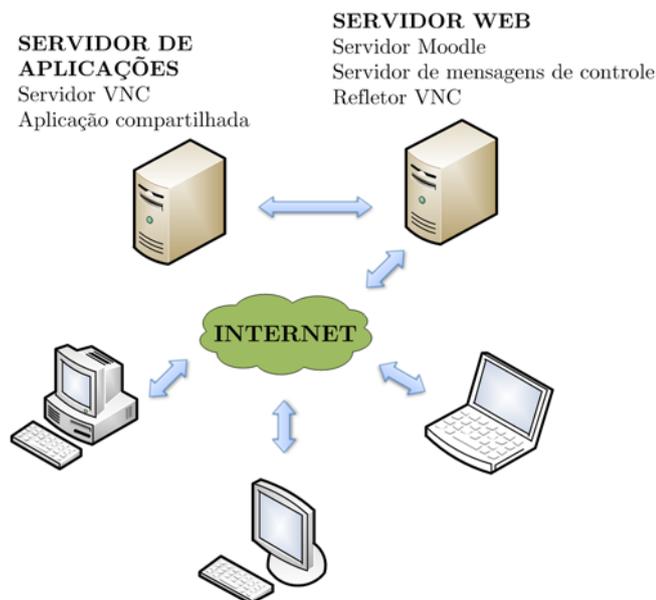


Figura 4.4. Distribuição dos componentes da arquitetura.

O Servidor de Mensagens de Controle é um *servlet*¹⁷, uma tecnologia da plataforma *Java* que recebe requisições *http*, processa-a no lado do servidor utilizando as APIs¹⁸ da plataforma *Java* e responde ao cliente com código *HTML* utilizando *Javascript*, que pode ser visualizado em qualquer dispositivo com um browser, tornando assim, o acesso ao servidor independente da *JVM*. O servidor de mensagens pode ser acionado remotamente e permite a configuração dos IPs, portas e senhas usadas pelo ambiente. A interface para esta configuração é mostrada na Figura 4.5.

O Servidor de Aplicações e o Servidor Web podem pertencer a redes diferentes, desde que o Servidor de Aplicações possua um IP válido e esteja executando uma

¹⁷ <http://www.oracle.com/technetwork/Java/Javaee/servlet/index.HTML>

¹⁸ *Application programming interfaces*

aplicação *VNCServer*. Basta configurar os endereços, porta e senha como parâmetros para o Servidor de Mensagens de Controle (Figura 4.5).

Servidor	Porta	Senha
200.17.35.4	80	●●●●●●
200.17.35.6	35008	●●●●●●
200.17.35.6	35009	●●●●●●

Figura 4.5: Servidor de Mensagens de Controle.

Toda a dinâmica de uma sessão síncrona entre tutor e alunos pode ser gravada na máquina do Servidor *WEB*. Para isso, utiliza-se o programa *vnc2flv*¹⁹, uma ferramenta de gravação de tela para Linux, Windows ou Mac. Ele captura uma sessão de desktop *VNC* (sua própria tela ou de um computador remoto) e salva como um arquivo Flash Vídeo (FLV) para posterior consulta dos alunos, conforme ilustrado na Figura 4.6.

Para iniciar o processo de gravação da sessão basta clicar no ícone “Gravar Sessão” (Figura 4.6), a gravação será iniciada pelo professor/tutor. A disponibilização do arquivo/sessão poderá ser feita através do *Moodle*, criando uma pasta específica com as sessões gravadas para consulta futura dos alunos.

¹⁹ <http://www.unixuser.org/~euske/python/vnc2flv/index.HTML>

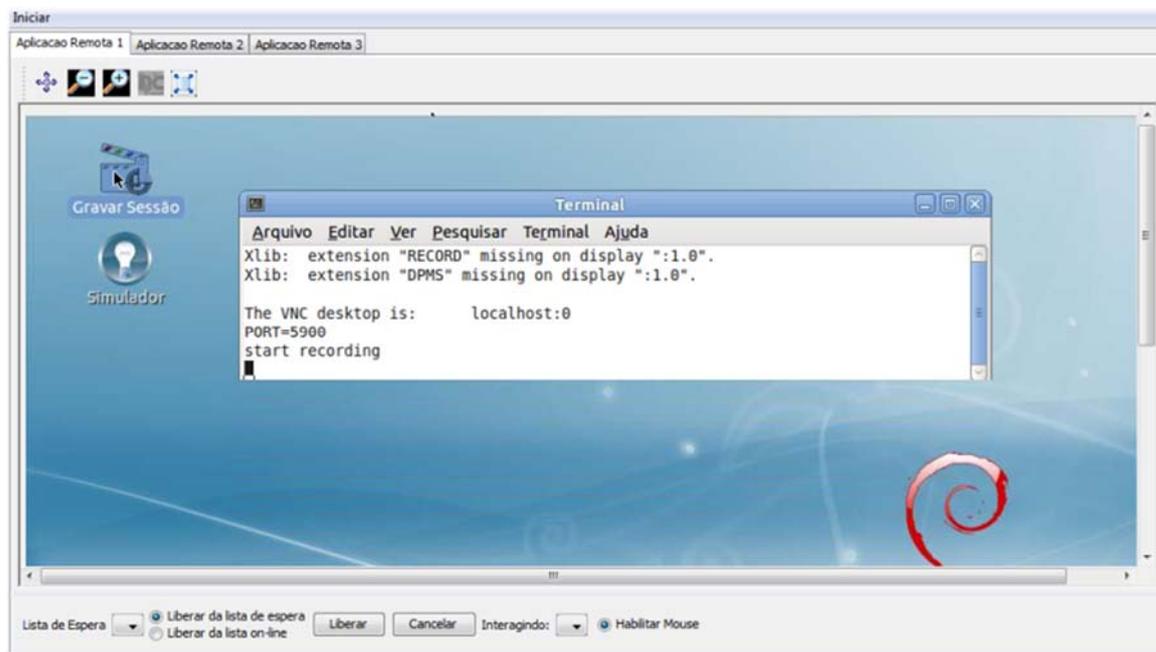


Figura 4.6: Gravação de uma sessão utilizando *vnc2flv*.

Neste capítulo foi apresentada a Integração da ferramenta de acesso remoto a plataforma Moodle, que permite a utilização do simulador no auxílio às aulas presenciais e a distância, bem como foi descrito as principais funcionalidades disponíveis na ferramenta.

Capítulo 5

5 Conclusões e Trabalhos Futuros

Neste trabalho foi apresentado o desenvolvimento de um sistema para capacitação presencial e a distância de profissionais e estudantes na área de proteção e operação de sistemas elétricos.

Além do embasamento teórico disponibilizado no *Moodle*, com atividades de exercício, avaliação e questionários, o sistema de capacitação oferece um simulador para treinamento da proteção e operação. O STOP é uma ferramenta capaz de simular situações reais que podem ocorrer em um sistema elétrico de potência, proporcionando um ambiente de ensino e aprendizagem presencial e à distância.

O STOP integrado ao *Moodle*, como apresentado neste trabalho, além de viabilizar o acesso a uma ferramenta de treinamento específico, pode ser utilizado em cenários externos aos ambientes virtuais de aprendizagem, oferecendo um suporte relevante à percepção mútua das ações efetuadas entre usuários distantes, o que é estimulado não só pela troca de mensagens síncronas através do chat, mas pelo acompanhamento da dinâmica do compartilhamento de um mesmo aplicativo, identificando o status de cada participante e permitindo a análise da interação do usuário ativo sobre a aplicação compartilhada a cada instante.

As interações com o simulador, integradas aos mecanismos de comunicação fornecidos pela ferramenta e aos demais recursos oferecidos pelo AVA, permitem ao aprendiz aplicar, transformar e buscar outras informações, construindo seu conhecimento.

O simulador, desenvolvido neste trabalho, é uma importante ferramenta auxiliar no treinamento e capacitação de alunos e profissionais da área de proteção de Sistemas Elétricos de Potência. O método para cálculo dos parâmetros utilizados no simulador é o Método do MVA, comparado com os demais métodos normalmente utilizados pelos caros e complexos softwares comerciais, este método apresenta uma pequena variação nos resultados obtidos, simplifica os cálculos e os valores de curto-circuito são conhecidos num único procedimento de cálculo simplesmente manipulando-se potências equivalentes em MVA ao invés de impedâncias.

Permite calcular as correntes nominais dos transformadores, dos vãos da subestação a partir das correntes de carga dos alimentadores e a influência das potências e impedâncias dos transformadores nas potências de curto-circuito do barramento de 13,8kV

Os novos recursos sugeridos para aprimoramento da ferramenta são:

- Parametrizar relés a partir do simulador e leitura das informações do relé utilizando protocolo de comunicação *modbus*²⁰;
- Integrar relés números de diferentes fabricantes;
- Desenvolver uma base de dados com diversos equipamentos utilizados em subestações;
- Permitir ao aluno criação e configuração de uma subestação, de forma dinâmica, criando diferentes topologias de subestação;

²⁰ <http://www.modbus.org/>

- Gerar planilha de Ordem de Ajuste das Proteções (OAP) e planilha de dados dos equipamentos a partir dos dados do STOP;
- Capturar os registros dos relés via STOP;
- Desenvolver mecanismos para geração de eventos de forma automática, de modo a levar a atuação dos relés;
- Integrar diversas subestações com topologias distintas, gerar faltas sistêmicas e calcular fluxo de carga;
- Integrar ferramentas de áudio e vídeo ao ambiente virtual.

Referências

- ALVES, L.; BARROS, D.; OKADA, A. **Moodle Estratégias Pedagógicas e Estudos de Casos**. Salvador: Eduneb, 2009.
- ANDERSON, P. M. **Power System Protection**. New York: McGraw-Hill/IEEE PRESS, 1998.
- ARAÚJO, A. S. Treinamento de Operadores de Sistema Utilizando Simulador Amigável no Centro Regional de Operação de Sistema Leste – CHESF. **3º Simpósio de Especialistas em Operação de Centrais Hidrelétricas**, Foz do Iguaçu, 5-9 Novembro 2002.
- BEATY, H.. **Handbook of Electric Power Calculations**. 3ª. ed. New York: McGraw-Hill, 2001.
- BEZERRA, H. **Sistema Simulador para Treinamento Presencial e a Distância de Operação da Proteção de Sistemas Elétricos**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 2008.
- BOTTENTUIT JR, B. **Laboratórios Baseados na Internet: desenvolvimento de um laboratório virtual de química na plataforma Moodle**. Dissertação (Mestrado), Universidade do Porto. Porto. 2007.
- BROWN, M.; HEWITSON, L. G.; RAMESH, B. **Practical power systems protection**. Oxford: Elsevier, 2004.

C. MIRANDA, A. R.; VASCONCELOS VIEIRA, T.; OLIVEIRA, J. Experiência da Chesf com Treinamentos Simulados de Operadores, Através da Utilização de Simuladores Interligados e Simulação de Manobras Reais nas Instalações e Centros de Operação. **X EDAO**, São Paulo, 9-13 Novembro 2008.

CAMINHA, A. C. **Introdução à Proteção dos Sistemas Elétrico**. 2^a. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1981.

CHEN, T.-H. Complex short circuit MVA method for power system studies. **IEE Proceedings - Generation, Transmission and Distribution**, v. 141, n. 2, p. 81-84, Março 1994.

COELCE CP011. **CRITÉRIO DE PROJETO CP 011/2003 - SUBESTAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO AÉREA E SEMI-ABRIGADA 72,5-15 kV**. [S.l.]. 2003.

COURY, D. V. **Introdução aos Sistemas Elétricos de Potência**. Universidade de São Paulo. São Carlos. 2007.

DOS SANTOS SILVA, D. **Simulador de Redes Elétricas para Treinamento de Operadores do Sistema Elétrico**. Universidade Federal do Rio de Janeiro (Trabalho de Conclusão de Curso). Rio de Janeiro. 2009.

ELETROBRAS. **Proteção de Sistemas Elétricos de Potência**. Santa Maria: UFSM/Eletrabras, v. 7, 1979.

ELETROBRAS. **Proteção de Sistemas Aéreo de Distribuição**. Rio de Janeiro: Campus / Eletrabras, v. 2, 1982.

FILENO, É. F. **O Professor como Autor de Material para um Ambiente Virtual de Aprendizagem**. (Dissertação Mestrado), Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2007.

HASE, Y. **Handbook of power system engineering**. West Sussex: Wiley, 2007.

JFREECHART. **http://www.jfree.org/jfreechart/**. Disponível em: <<http://www.jfree.org/jfreechart/>>. Acesso em: 09 Junho 2010.

KINDERMANN, G. **Curto-circuito**. 2^a. ed. Porto Alegre: Sagra Luzzato, 1997.

MAMEDE FILHO, J. **Instalações Elétricas Industriais**. 6^a. ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos, 2002.

MAMEDE FILHO, J. **Manual de Equipamentos Elétricos**. 3^a. ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos, 2005.

MOREALE, M. D. S. **Técnicas para Treinamento de Operadores de Sistema Elétrico Utilizando Simulador com Base Na Interface de Tempo Real**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2007.

NBR 5460. **5460**. Rio de Janeiro. 1992.

NBR 6856. **6856**. Rio de Janeiro. 1992.

NBR 8769. **8769**. Rio de Janeiro. 1985.

ONS. **Operador Nacional do Sistema Elétrico**, 2010. Disponível em: <http://www.ons.org.br/conheca_sistema/o_que_e_sin.aspx>. Acesso em: 5 Dezembro 2010.

ORACLE. **Java**, 2011. Disponível em: <http://www.java.com/pt_BR/download/faq/java_webstart.xml>. Acesso em: 25 Janeiro 2011.

PARCHEN, M. D. F. R. **Contextualização do Ensino e Aprendizagem na Disciplina de Construção Civil Articulada em Ambiente Virtual de Aprendizagem Colaborativo**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2008.

PEREIRA, D. R. **Um sistema de Software para Execução de Estudos de Coordenação e Seletividade em Sistemas de Distribuição**. Dissertação, Mestrado - Universidade Federal de Itajubá. Itajubá. 2007.

R. LEITE, C. R.; RODRIGUES DE OLIVEIRA, J. J.; GOMES DE OLIVEIRA, J. **O Uso de Simuladores no Treinamento de Operadores da Chesf como**

Ferramenta para Disseminação de Conhecimentos na Operação do Sistema Elétrico. Reestruturação e Regulação do Setor de Energia Elétrica e Gás Natural. Rio de Janeiro: GESEL UFRJ. 13, 14 Setembro 2007.

RAABE, A. L. A.; VAVASSORI, F. B. **Organização de Atividades de Aprendizagem utilizando ambientes virtuais:** um estudo de caso. São Paulo: [s.n.], 2003.

SAMPAIO, R. F. **Sistema de Diagnóstico de Falhas para Subestações Baseado em Redes de Petri Coloridas.** Dissertação, Mestrado - Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 2002.

STEVENSON, W. D. **Elementos de Análise de Sistemas de Potência.** 2. ed. São Paulo: Mc Graw Hill, 1986.

SUZUKI, J. T. F. **Mestrado Profissional em Tecnologias da Informação e Comunicação com Ênfase em EAD.** (Dissertação Mestrado), Universidade Norte do Paraná. Londrina. 2007.

TAVARES, D. A. B. **Um modelo de integração baseado no uso de Proxy e Web Service para incorporação de recursos do WIMS ao ambiente virtual Moodle.** Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 2010.

WESTINGHOUSE ELECTRIC CORPORATION. **Electrical Transmission and Distribution Reference Book.** 4^a. ed. East Pittsburgh, Pennsylvania: [s.n.], 1964.

YUEN, M. H. Short Circuit ABC-Learn It in an Hour, Use It Anywhere, Memorize No Formula. **Industry Applications, IEEE Transactions,** Março 1974. 261-272.

Anexo A

Anexo A - Plataforma *Moodle*

A.1. *Moodle* – Ambiente Virtual de Aprendizagem

Segundo (RAABE e VAVASSORI, 2003), um ambiente virtual de aprendizagem é definido como “(...) um sistema que reúne uma série de recursos e ferramentas, permitindo e potencializando sua utilização em atividades de aprendizagem através da internet em um curso a distância.” A criação e utilização de ambientes virtuais de aprendizagem têm aumentado para auxiliar cursos presenciais e a distância. Um conjunto de ferramentas, chamado Sistema de Gestão da Aprendizagem²¹ pode ser usado para melhorar seus cursos, valendo-se das vantagens da Internet, sem dispensar a necessidade do professor.

Atualmente, existem inúmeros ambientes para criação e manutenção de cursos a distância, alguns destes ambientes utilizados são: *Moodle*²², *TelEduc*²³, *Tidia*²⁴,

²¹ SGA, LMS ou VLS

²² <http://Moodle.org/>

²³ <http://www.teleduc.org.br/>

²⁴ <http://tidia-ae.usp.br/portal>

Solar²⁵, etc. Estes ambientes diferem em muitos aspectos, seja na linguagem em que foram implementados, nas funcionalidades e ferramentas disponibilizadas.

O nome *Moodle* é um acrônimo do termo *Modular Object Oriented Developmental Learning Environment* e é um sistema de gestão de cursos (*Course Management System* – CMS) através da Internet. Uma das suas principais vantagens é ser *open source*, ou seja, possui código aberto, permitindo que qualquer utilizador com conhecimentos de programação modifique e adapte o ambiente de acordo com as suas próprias necessidades (BOTTENTUIT JR, 2007).

O *Moodle* pode ser instalado em várias plataformas como: Unix, Linux, Windows, Mac OS X, Netware ou qualquer outro sistema que tenha suporte ao PHP²⁶. É desenvolvido de forma modular, permitindo uma grande flexibilidade para adicionar, configurar ou remover funcionalidades em vários níveis.

Permite atualização simplificada, de uma versão para outra mais recente, possui uma sistemática interna que permite fazer atualização de suas bases de dados.

Na escolha do AVA a ser utilizado, os fatores determinantes para a escolha do *Moodle* foram principalmente a facilidade na configuração/adição de recursos bem como se tratar de um software livre, com código aberto (*open source*), possuindo ainda uma grande comunidade, sendo portanto, um AVA muito popular.

Podem-se citar como funcionalidades para ajudar ao administrador do sistema na utilização do *Moodle*:

- Requer apenas um banco de dados (que pode ser compartilhado com outras aplicações, se necessário).

²⁵ <http://www.solar.virtual.ufc.br/>

²⁶ <http://www.php.net/>

- Suporta uma variedade de Sistemas Gerenciadores de bancos de dados (MySQL, PostgreSQL, Oracle, Access, Interbase, ou qualquer outro acessível via ODBC).
- Ênfase na integridade dos dados: os formulários são sempre checados, datas validadas, *cookies* criptografados, etc.

Funcionalidades interessantes aos tutores/educadores:

- Promove uma interação sócio-construtivista²⁷, que inclui colaboração, reflexão crítica, permitindo máxima interação e integração entre a comunidade virtual.
- Pode ser aplicado como opção totalmente virtual ou como complemento/suporte a turmas presenciais.
- Tem uma interface clara, limpa e simples, compatível com qualquer browser, sem maiores exigências de tecnologia.
- Lista de cursos mostra descrição sumária dos cursos disponíveis, informando, inclusive, se estão disponíveis para acesso de visitantes.
- Os cursos podem ser enquadrados em categorias.
- Um site *Moodle* pode comportar e fazer busca a centenas de cursos.
- Áreas para entradas de textos (pesquisas, postagem para fórum, entradas diversas de textos) permitem edição (negrito, imagens, sublinhados, etc.) de forma fácil, usando uma interface *HTML*²⁸ bem simples (WYSIWYG²⁹ *HTML*), acessível a qualquer usuário.

O *Moodle* possui uma interface simples, parecido com um portal de informações, o *layout* pode ser visto na Figura A.1.

²⁷ Segundo o construcionismo social, o conhecimento só pode ser concebido contextualmente, isto é, o conhecimento humano é algo construído tão somente no coletivo.

²⁸ *HyperText Markup Language*

²⁹ “*What you see is what you get.*”

As páginas dos cursos são divididas em três colunas que podem ser modificadas pelo professor ou gestor do curso, podendo inserir elementos como: calendário, usuários on-line, lista de atividades, eventos, últimas notícias, etc. Estes elementos são dispostos nas colunas à direita ou à esquerda da tela.

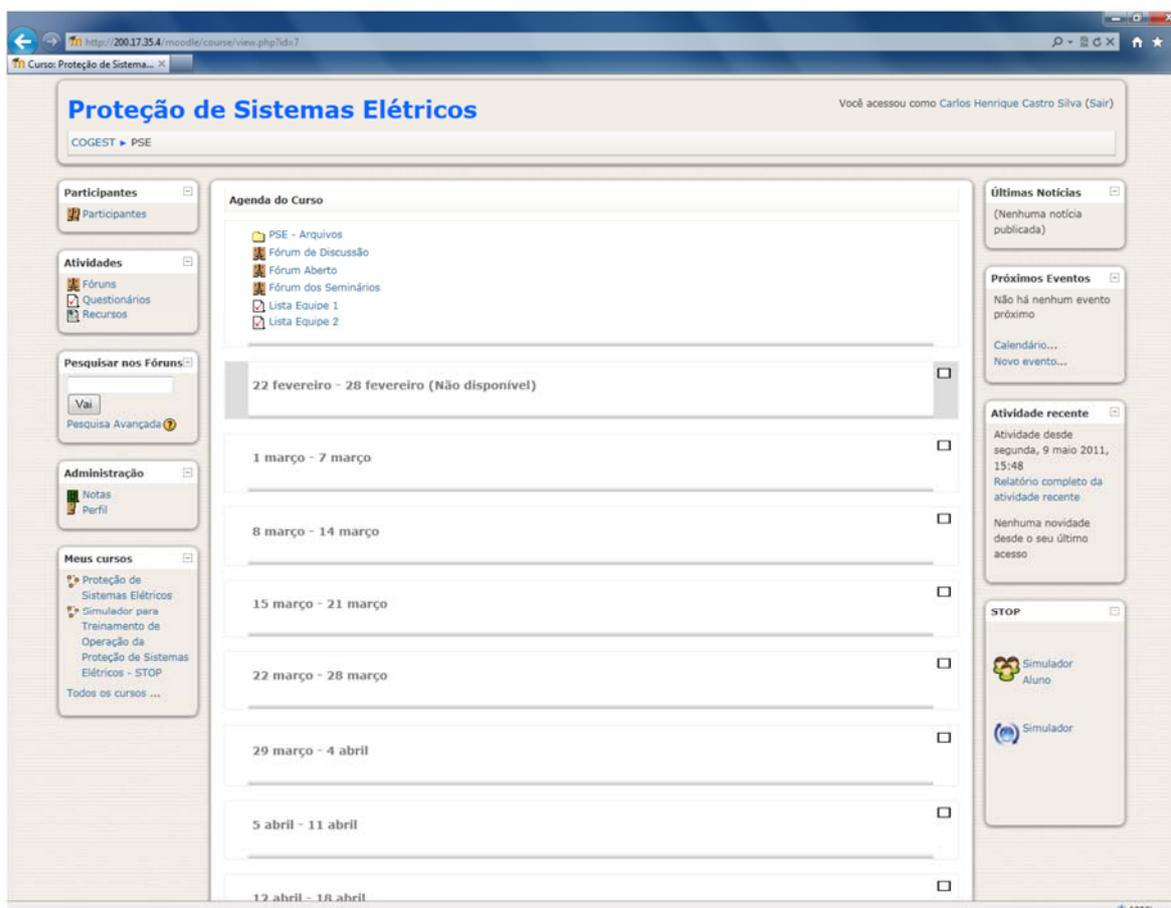


Figura A.1: Moodle utilizado na disciplina de Proteção de Sistemas Elétricos da UFC.

A.2. Formatos de Cursos no Moodle

A.2.1. Curso no Formato Semanal

O professor estabelece a data de início e o número de semanas. A partir da disponibilização do número de semanas necessárias para o curso, o professor pode disponibilizar conteúdos e atividades de acordo com o andamento do curso.

A.2.2. Curso no Formato Tópicos

Como no caso do curso semanal, o professor estabelece o número de tópicos e decide quais tópicos ocultar ou não. No formato Semanal e Tópicos, o Fórum de notícias é criado automaticamente.

A.2.3. Curso no Formato Social

Este formato é articulado em torno de um fórum principal que é publicado na página de abertura do curso. É um formato mais livre que pode ser usado, também, em contextos que não são cursos como, por exemplo, o quadro de avisos de um departamento.

A.3. Funcionalidades do *Moodle*

A.3.1. Tarefa

Tarefas podem ser marcadas com uma data de cumprimento e uma nota máxima, os alunos podem enviar suas tarefas (qualquer formato de arquivo) para o servidor. Tarefas atrasadas podem ser permitidas, mas a quantidade de atraso é mostrada ao professor. Para cada tarefa, a classe inteira pode ser avaliada (nota ou comentário) através de um único formulário. O *feedback* do professor é anexado à página da tarefa para cada aluno, e a notificação é enviada pelo e-mail. O professor pode permitir a reapresentação de tarefas após a atribuição das notas (para reavaliação).

A.3.2. Chat

Permite a interação através de texto, de forma síncrona, incluindo figuras do perfil na tela. Aceita URLs³⁰, símbolos gráficos (*smiles*), *HTML* embutidos, imagens, etc. Todas as sessões são documentadas para verificação posterior, e estas podem ser disponibilizadas também para os alunos.

³⁰ *Uniform Resource Locator*

A.3.3. Pesquisa de Opinião

Semelhante a uma eleição, podendo ser utilizada para pesquisas, ou para obter *feedback* de cada aluno (por exemplo, obter autorização de reprodução em pesquisas). O professor tem acesso a uma tabela com uma visão intuitiva das escolhas de cada aluno. Os alunos podem, opcionalmente, ter permissão para ver um gráfico atualizado dos resultados.

A.3.4. Fórum

Diferentes tipos de fóruns estão disponíveis tais como: fórum reservado aos professores, notícias, fórum para uso geral, fórum com ações limitadas. Todas as postagens têm a foto do autor anexada (quando disponibilizada pelo mesmo). As discussões podem ser vistas aninhadas, em sequência ou indentadas ((Figura A.2)), começando pelas mais antigas ou pelas mais recentes.

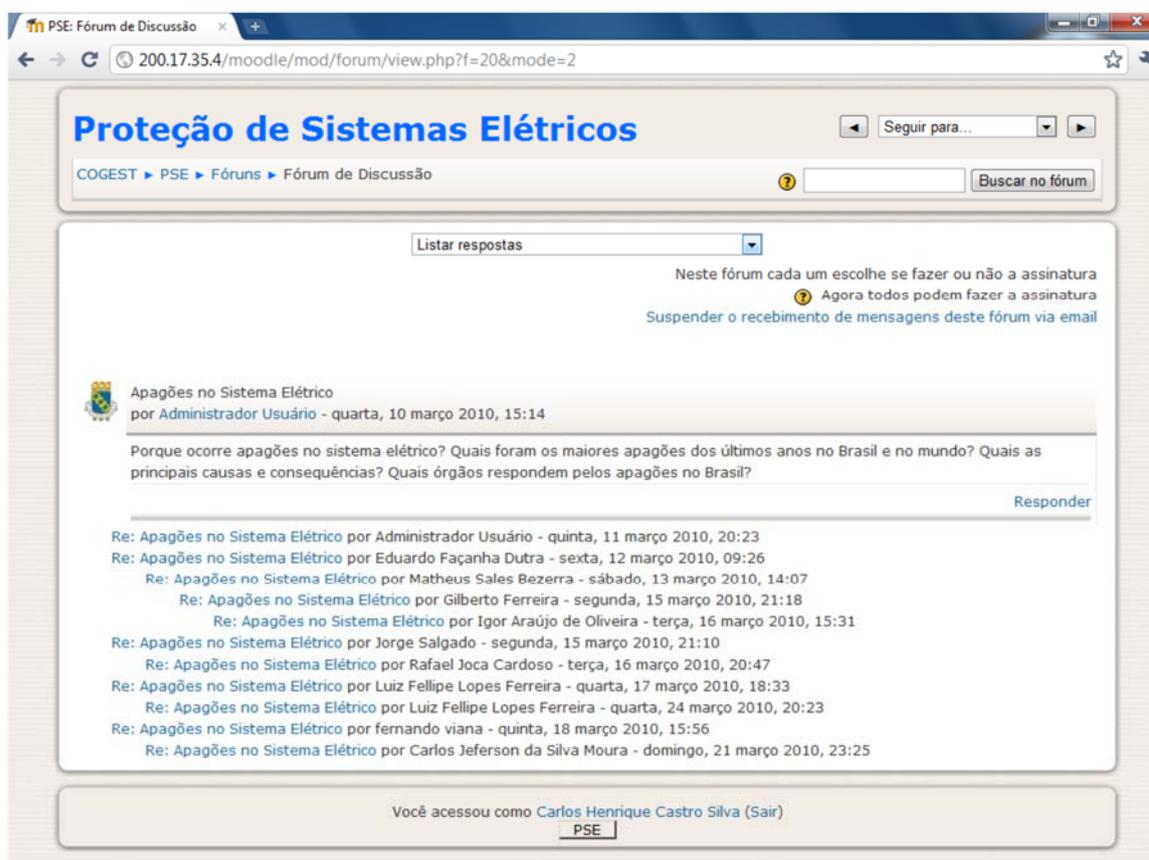


Figura A.2: Fórum da disciplina Proteção de Sistemas Elétricos UFC.

Cada pessoa pode se inscrever em cada um dos fóruns de modo que cópias são encaminhadas via e-mail, ou o professor pode forçar a inscrição de todos. O professor pode escolher não permitir réplicas (por exemplo, em um fórum somente para recados). Tópicos de discussão podem ser facilmente movidos entre fóruns pelo professor e imagens anexadas são mostradas no corpo da mensagem. Caso sejam usadas avaliações nos fóruns, podem ser restritas a um período limitado.

A.3.5. Questionário

Os professores podem definir uma base de dados de questões que podem ser reutilizadas em diferentes questionários. As questões podem ser arquivadas em categorias para facilitar o acesso, e essas categorias podem ser publicadas para torná-las acessíveis a partir de qualquer curso no site. São automaticamente avaliadas, podendo ser reavaliadas se as questões forem modificadas. Podem ter um prazo limitado de disponibilidade, fora do qual se tornam indisponíveis. Na Figura A.3 é apresentado um questionário utilizado na disciplina Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará (UFC), em que o tempo é limitado para 60 minutos e de duas tentativas apenas.

De acordo com a opção do professor, os questionários podem ser respondidos várias vezes, e pode ser mostrado o feedback e/ou as respostas corretas.

As questões e as respostas do questionário podem ser embaralhadas permitindo o uso de *HTML* e imagens. Arquivos-texto externos podem ser importados, para facilitar a elaboração dos questionários.

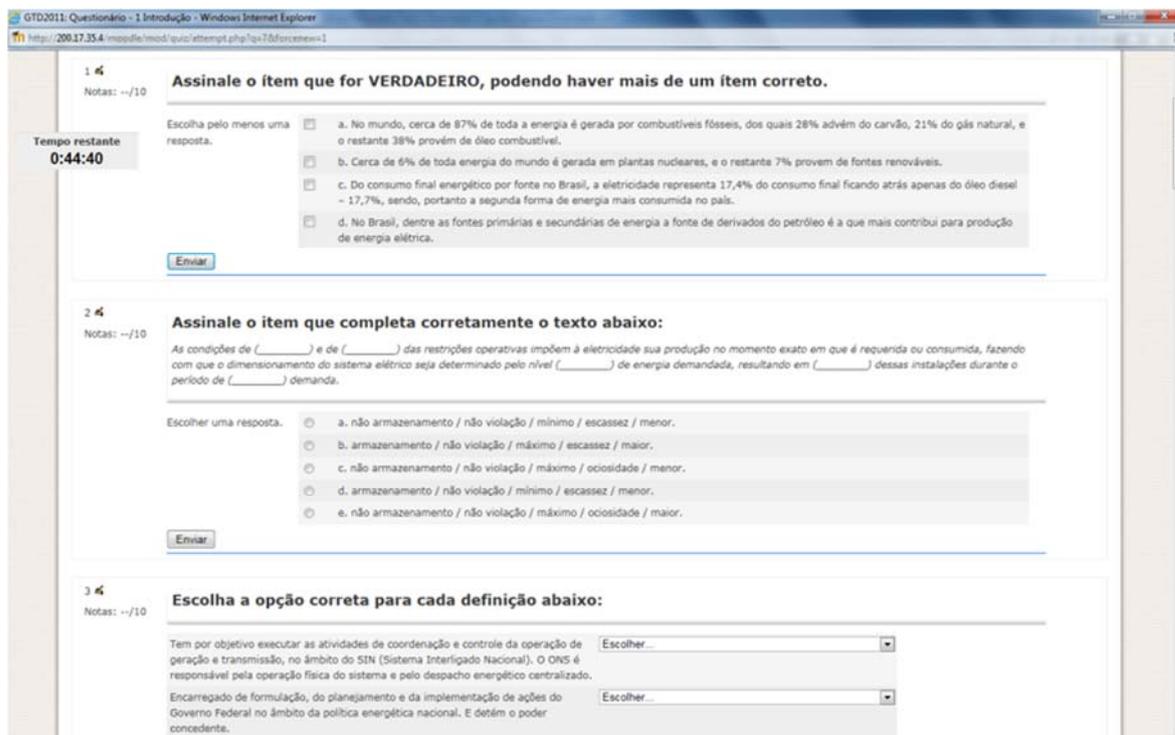


Figura A.3: Questionário da Disciplina Geração Transmissão e Distribuição de Energia UFC.

Tipos de questionários permitidos no Moodle:

- Questionários de múltipla escolha com resposta única ou respostas múltiplas;
- Questões de resposta breve (palavras ou frases);
- Questões Verdadeiro/Falso;
- Questões de associação;
- Questões aleatórias;
- Questões numéricas (com escalas permissíveis);
- Questões com resposta embutida (estilo fechado) com respostas dentro de passagens do texto;
- Texto e gráficos descritivos embutidos.

A.3.6. Recursos

O Moodle suporta acesso a qualquer conteúdo eletrônico, Word, Powerpoint, Flash, Vídeo, Sons, etc. Os arquivos podem ser enviados e administrados no servidor, ou criados internamente usando formulários web (texto ou *HTML*). Conteúdo externo da web pode ser interligado ou de forma semelhante, incluído na interface do curso. Na Figura A.4., encontram-se *links* disponíveis para páginas de interesse do aluno, bem como arquivos disponibilizados pelo professor/tutor (seção Arquivos GTD).



Figura A.4: Recursos disponíveis na Disciplina Geração, Transmissão e Distribuição UFC.

A.3.7. Módulos Adicionais

O *Moodle* conta ainda com recursos como: Lição, *SCORM*³¹, Glossário, Pesquisa de Avaliação, *Wiki*, *HotPot*. Módulos adicionais podem ser baixados na página de downloads do *Moodle* (<http://Moodle.org/mod/data/view.php?id=6009>).

³¹ *SCORM* (*Sharable Content Object Reference Model*) é uma coleção de especificações que permitem interoperabilidade, acessibilidade e reusabilidade de conteúdo de *e-learning*.
http://docs.Moodle.org/pt_br/SCORM

Anexo B

Anexo B - Publicações

SILVA, C. H. C., BARROSO, G. C., LEÃO, R.P.S., SAMPAIO, R.F., SOARES, J.M.
Desenvolvimento de um Simulador em Proteção de Sistemas Elétricos para Capacitação Tecnológica Presencial e a Distância. **XXXIX Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia**, Blumenau - SC, Outubro 2011.

SILVA, C.H.C., SAMPAIO, R.F., LEÃO, R.P.S., BARROSO, G.C., SOARES, J.M.
Desenvolvimento de um Laboratório Virtual para Capacitação Tecnológica a Distância em Proteção de Sistemas Elétricos. **RENOTE. Revista Novas Tecnologias na Educação**, v. 9, p. 1-10, 2011.