

Universidade Federal do Ceará
Centro de Tecnologia
Pós-Graduação em Engenharia Elétrica



**Sistema Simulador para Treinamento Presencial e a Distância de Operação
da Proteção de Sistemas Elétricos**

Hamurabi Bezerra

Fortaleza

Novembro 2008

Hamurabi Bezerra

**Sistema Simulador para Treinamento Presencial e a Distância de Operação
da Proteção de Sistemas Elétricos**

Dissertação submetida à Universidade Federal do Ceará como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

Orientadores:

Prof^a. Ph.D. Ruth Pastôra Saraiva Leão

Prof. Dr. Giovanni Cordeiro Barroso

Fortaleza

Novembro 2008

Agradecimentos

Agradeço a realização deste trabalho primeiramente a Deus pela força e esperança que Ele me dá todos os dias e por ter colocado pessoas ao meu lado que me ajudaram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

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

Ao meu professor e orientador Raimundo Furtado Sampaio pela contribuição, esforço, entusiasmo e dedicação para o sucesso deste projeto.

Ao professor José Marques Soares pela contribuição e apoio na área de ensino a distância.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE) da Universidade Federal do Ceará.

Aos profissionais da Coelce envolvidos neste projeto de pesquisa e desenvolvimento.

Aos funcionários, amigos e colegas do PPGEE.

Aos amigos do mestrado, que conviveram comigo durante o período deste trabalho.

Aos meus pais e irmãos que me incentivaram e me apoiaram.

À minha esposa que me incentivou todos os dias e pela paciência e compreensão dos períodos que tive que dedicar para finalizar esse trabalho.

Bezerra ,H., “Sistema Simulador para Treinamento Presencial e a Distância de Operação da Proteção de Sistemas Elétricos”, Universidade Federal do Ceará – UFC, 2008, 122p.

A área da energia elétrica ocupa no mundo moderno e, particularmente, nos países em desenvolvimento como o Brasil expressivo destaque, por se tratar de insumo básico ao desenvolvimento do país. O novo modelo institucional do setor elétrico brasileiro vem exigindo maior competitividade e maior quantidade de investimentos, o que incentiva à formação de pessoas qualificadas para demandas atuais e futuras, de forma a tornar possível a adequação de métodos e conceitos existentes aos novos desafios técnicos, operacionais e comerciais na área. A política de racionalização da gestão de recursos humanos das empresas concessionárias de energia elétrica provocou nos últimos anos dificuldades de liberação de pessoal para participar de cursos de capacitação. Com o objetivo de dar suporte às atividades de formação e treinamento, antes tradicionalmente presenciais, Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVA), tais como Teleduc, Moodle e AulaNet, vêm sendo continuamente desenvolvidos, testados e aplicados em cursos à distância. Este trabalho apresenta um sistema desenvolvido para treinamento presencial e a distância de profissionais da área de operação e proteção de sistemas elétricos de potência. A ferramenta proposta desenvolvida inicialmente para o ambiente Teleduc oferece módulos com conteúdo de formação teórica no domínio específico e um simulador capaz de representar situações realísticas, projetado para o treinamento de engenheiros e técnicos do setor elétrico. A integração do simulador à interface do Teleduc para operação remota e compartilhada representa um avanço do processo ensino-aprendizagem do ensino tecnológico e profissional à distância.

Palavras-chave: Ambiente Virtual de Aprendizagem, Proteção de Sistemas Elétricos, Simulador de Sistema de Potência.

Bezerra, H., “Simulator System for Presence and at Distance Training of Operation of the Protection of Electric Power Systems”, Universidade Federal do Ceará – UFC, 2008, 122p.

The area of electrical power systems worldwide, particularly in developing countries like Brazil, has expressive importance because it is the basic input to industrial production. The new institutional model of the Brazilian electrical power sector has demanded greater competitiveness and larger amount of investment, which brings encouragement to the training of skilled people for current and future demands, in order to make possible the adequacy of existing methods and concepts to new operational and commercial technical challenges. The human resources management policies prevailing in the electricity utility companies have caused difficulties in recent years for the release of staff to attend training courses. In order to keep up the qualification and training activities, traditionally carried out in presence courses, the Virtual Learning Environments (AVA), such as Teleduc, Moodle and AulaNet, have been continually developed, tested and implemented for courses at distance. This dissertation presents a system designed for present and at distance training courses for professionals in the area of protection of electrical power systems. The tool has been developed in the Teleduc environment, and it offers modules with theory contents in the specific area and a power system simulator that can represent practical situations, designed for training engineers and technicians of the electricity sector. The integration of the simulator into the Teleduc interface for remote and shared operation represents a breakthrough in the teaching-learning process of technological education and vocational at distance.

Keywords: Protection of Electrical Systems, Simulator Power of System, Virtual Learning Environment.

Sumário

Agradecimentos	ii
Sumário	v
Lista de Figuras	ix
Tabelas.....	xii
Lista de Abreviaturas e Siglas	xiii
CAPÍTULO 1.....	1
INTRODUÇÃO	1
1.1 Motivação e Objetivos da Pesquisa	1
1.2 Estado da Arte	2
1.3 Importância do Ensino Tecnológico a Distância na Educação.....	3
1.4 Educação Tecnológica a Distância	6
1.4.1 Considerações Iniciais	6
1.4.2 TelEduc – Um Ambiente Virtual de Aprendizagem.....	10
1.4.3 Ferramentas do TelEduc	11
1.5 O Uso de Simuladores para Treinamento	12
1.6 Objetivos do Trabalho.	14
1.7 Contribuições do Trabalho.....	15
1.8 Estrutura da Dissertação	15
CAPÍTULO 2.....	16
VISÃO PANORÂMICA DA PROTEÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA.....	16
2.1 Representação dos Sistemas de Potência.....	16
2.1.1 Diagrama Unifilar	17
2.1.2 A Necessidade da Proteção de Linhas de Transmissão	18
2.2 Descrição de uma Subestação Típica.....	19

2.3	Composição de um sistema de proteção	21
2.4	Características Funcionais dos Relés.....	22
2.5	Características da Proteção Elétrica.....	24
2.6	Conceitos Básicos no Estudo de Coordenação e Ajuste em Sistema de Proteção	24
2.7	Funções de Proteção.....	26
2.8	Critérios Gerais de Proteção para Subestações	28
2.8.1	Filosofia de Proteção das Entradas de Linha das SE's	28
2.8.2	Filosofia de Proteção das Saídas de Linha das SE's	28
2.8.3	Filosofia de Proteção do Vão de Transformação	29
2.8.4	Filosofia de Proteção da Barra de 15kV	29
2.8.5	Filosofia de Proteção de Alimentador das SE's.....	30
CAPÍTULO 3.....		31
CRITÉRIOS DE AJUSTES DAS FUNÇÕES DE PROTEÇÃO		31
3.1	Introdução.....	31
3.2	Sobrecorrente Instantânea e Temporizada de Fase (50/51).....	32
3.3	Sobrecorrente Instantânea e Temporizada de Neutro (terra) 50/51N.....	34
3.4	Religamento Automático (79).....	35
3.5	Seccionalizadores.....	38
3.6	Proteção contra falha de disjuntor (50BF).....	40
3.7	Critérios de Ajustes e Coordenação.....	41
3.7.1	Margem de Ajuste	41
3.7.2	Relé de Sobrecorrente dos Alimentadores	42
3.7.3	Relé do Lado de BT do Transformador – Sobrecorrente.....	43
3.7.4	Relé de Sobrecorrente do Neutro do Transformador 51G	44
3.7.5	Relé do Lado de AT do Transformador - Sobrecorrente	44
3.8	Seletividade Lógica.....	45

3.9	Sistema Digital de Automação (SDA)	47
3.10	Cálculo de curto circuito pelo Método do MVA	48
3.10.1	Elementos em Série	48
3.10.2	Elementos em Paralelo.....	49
3.11	Diagramas Unifilares de Coordenação da Proteção	49
3.11.1	Relé x Relé.....	49
3.11.2	Religador x Seccionalizador	50
3.11.3	Relé x Fusível	50
3.11.4	Fusível x Relé	50
3.11.5	Fusível x Fusível.....	50
CAPÍTULO 4		51
SIMULADOR PARA TREINAMENTO DE OPERAÇÃO DA PROTEÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS		
ELÉTRICOS		51
4.1.	Descrição do STOP	52
4.2.	Ambiente de Gerenciamento do Ensino a Distância	53
4.2.1	Incompatibilidade de Tecnologias na Integração de Ferramentas aos AVAs.....	56
4.2.2	Interface da Ferramenta de Acesso Remoto	57
4.2.3	Distribuição dos Componentes do Sistema.....	57
4.3.	Composição do STOP	60
4.3.1	<i>Interface do Simulador STOP</i>	60
4.3.2	<i>EmulaScada</i>	61
4.3.3	<i>Descrição e Recursos do STOP</i>	67
4.3.3.1	<i>Simulação de Falhas</i>	68
4.3.3.2	<i>Seleção da RTC de TC e Validação do Dimensionamento</i>	69
4.3.3.3	<i>Funções de Proteção e Relé de cada Vão</i>	70
4.3.3.4	<i>Correntes de Curto-Circuito na Barra de 13,8kV</i>	71
4.3.3.5	<i>Corrente Máxima de Carga no Alimentador de 13,8kV</i>	71
4.3.3.6	<i>Proteção de Entrada e Saída de Linha de Transmissão</i>	72
4.3.3.7	<i>Proteção do Vão de Transformação</i>	72

4.3.3.8	<i>Proteções da Média Tensão</i>	73
4.3.3.9	<i>Atuação da Proteção e Mudança de Estado do Equipamento</i>	73
4.3.3.10	<i>Simulação da Função de Sobrecorrente Temporizada 51</i>	74
4.3.3.11	<i>Simulação da Função de Sobrecorrente Instantânea 50</i>	75
4.3.3.12	<i>Seleção de Grupos de Ajustes</i>	76
4.3.3.13	<i>Simulação das Funções de Seletividade Lógica</i>	76
4.3.3.14	<i>Geração de Coordenograma das Proteções</i>	77
4.3.3.15	<i>Simulação da Função Religamento</i>	78
4.3.3.16	<i>Simulação do Cálculo da Potência de Curto Circuito pelo Método do MVA</i>	80
4.3.3.17	<i>Simulação Relé versus Seccionalizador</i>	81
4.3.3.18	<i>Coordenação entre relés</i>	83
4.3.3.19	<i>Coordenação ente Relé e Fusível</i>	84
4.3.3.20	<i>Coordenação Fusível versus Relé</i>	84
4.3.3.21	<i>Coordenação entre Fusíveis</i>	85
4.3.3.22	<i>Visão Geral de um Sistema Elétrico de Potência</i>	86
4.3.3.23	<i>Visão Geral de um Sistema Digital de Automação</i>	86
4.3.3.24	<i>Simulação de Codificação Operacional - Diagrama Operacional</i>	87
4.3.3.25	<i>Exemplo de Caso de Simulação de Curto em Alimentador de 13,8kV</i>	91
CAPÍTULO 5		97
CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS		97
5.1	Conclusões	97
5.2	Trabalhos Futuros	98
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		100
APÊNDICE - PUBLICAÇÕES		106

Lista de Figuras

Figura 1. 1:Tela do ambiente do TelEduc com o simulador desenvolvido neste trabalho.....	11
Figura 2. 1:Diagrama simplificado de um sistema elétrico de potência.....	16
Figura 2. 2:Símbolos utilizados na representação do sistema.....	18
Figura 2. 3:Diagrama unifilar de um SEP.....	18
Figura 2. 4:Diagrama simplificado de uma subestação distribuidora típica.....	19
Figura 2. 5:Diagrama simplificado de sistema de proteção.	22
Figura 2. 6:Definição do conceito de coordenação ou seletividade.....	26
Figura 3. 1:Associação entre relé e disjuntor.	31
Figura 3. 2:Diagrama unifilar do esquema de proteção da saída de um alimentador radial.	32
Figura 3. 3:Exemplo de aplicação dos elementos de sobrecorrente.	34
Figura 3. 4:Religador instalado na saída do alimentador na S/E.....	37
Figura 3. 5:Seqüência de operação: 2 rápidas + 1 retardada.	37
Figura 3. 6:Curvas características de religador: tempos dependentes.	38
Figura 3. 7:Seccionalizador ligado a jusante do religador.....	39
Figura 3. 8:Princípio de coordenação religador x seccionalizador.	39
Figura 3. 9:Aplicação da função falha de disjuntor.	41
Figura 3. 10:Exemplo de aplicação da Seletividade lógica.....	46
Figura 3. 11: Diagrama de Bloco da Hierarquia Funcional de um SDA para SE.	47
Figura 3. 12:Elementos em Série – Método MVA.	48
Figura 3. 13:Elementos em Paralelo – Método MVA.....	49
Figura 4. 1:Exemplo do ambiente do curso 1-Módulo 1.	52
Figura 4. 2:Fluxograma de Funcionamento do STOP.	53
Figura 4. 3:Indicação do grupo de ferramentas acessíveis pelo Teleduc.....	55
Figura 4. 4:Interface da ferramenta de acesso remoto.....	56
Figura 4. 5:Distribuição dos componentes da arquitetura.....	58
Figura 4. 6:Tela inicial do STOP.....	61
Figura 4. 7:Tela inicial do EmulaScada.....	62
Figura 4. 8:Diagrama unifilar do EmulaScada.....	62

Figura 4. 9:Telas com funções de proteção.	63
Figura 4. 10:Tabela de dados de alarmes gerados.....	63
Figura 4. 11:Diagrama unifilar da Subestação Cariré.....	64
Figura 4. 12:Tela com funções de proteção.....	65
Figura 4. 13:Tela com Legenda dos estados dos equipamentos.....	65
Figura 4. 14:Exemplo de geração de falta.	66
Figura 4. 15:Exemplo de geração de falta.	66
Figura 4. 16:Diagrama Unifilar de proteção.....	68
Figura 4. 17: Janela de seleção de curto no alimentador.	69
Figura 4. 18:Tela com operação dos dispositivos de proteção.....	69
Figura 4. 19:Configuração do transformador de corrente.	70
Figura 4. 20:Configuração do transformador de corrente.	70
Figura 4. 21:Configuração de dados barramento 13,8kV.....	71
Figura 4. 22: Configuração da corrente de carga do alimentador.	71
Figura 4. 23:Configuração da Entrada e saída de linha 69kV.	72
Figura 4. 24:Configuração do vão transformador de potência.	72
Figura 4. 25:Proteções da média tensão.	73
Figura 4. 26:Mudança de estado do disjuntor.	74
Figura 4. 27:Configuração do ajuste da função 51 do relé do disjuntor de barra 13,8kV.....	75
Figura 4. 28:Configuração do ajuste da função 50 do relé do alimentador 13,8kV.....	75
Figura 4. 29:Configuração do SET do grupo de ajuste do relé de transferência.....	76
Figura 4. 30:Configuração da seletividade lógica.	77
Figura 4. 31:Coordenograma.	77
Figura 4. 32:Exemplo de coordenograma entre relés.....	78
Figura 4. 33:Tela de opções dos ciclos de religamento.	79
Figura 4. 34:Tela de dados do religador.....	79
Figura 4. 35:Cadastro de religador.....	80
Figura 4. 36:Cadastro de dados de relé.	80
Figura 4. 37:Cálculo de curto circuito pelo método do MVA.....	81
Figura 4. 38:Coordenação entre religador e seccionalizador.	82

Figura 4. 39:Dados do religador.....	82
Figura 4. 40:Dados do seccionizador.	83
Figura 4. 41:Coordenação entre relés.....	83
Figura 4. 42:Coordenação relé x fusível.	84
Figura 4. 43:Coordenação fusível x relé.	85
Figura 4. 44:Coordenação entre fusíveis.	85
Figura 4. 45:Visão geral de um SEP.	86
Figura 4. 46:Visão geral de um sistema digital de automação - SDA.	87
Figura 4. 47:Diagrama operacional de distribuição.....	87
Figura 4. 48:Codificação operacional.	89
Figura 4. 49:Diagrama de simulação de codificação operacional.	90
Figura 4. 50:Tela de Mensagem de erro cometido pelo usuário.....	90
Figura 4. 51:Tela de abertura do POP-13.	90
Figura 4. 52:Tela de alerta durante o teste de codificação operacional.....	91
Figura 4. 53:Tela de entrada de codificação para entrada de linha.....	91
Figura 4. 54: Verificação do dimensionamento do TC.....	92
Figura 4. 55:Verificação do Dimensionamento adequado do TC.....	92
Figura 4. 56:Verificação do dimensionamento do religador.....	93
Figura 4. 57:Ajuste da função 51.	94
Figura 4. 58:Ajuste da função 50.	94
Figura 4. 59: Simulação de falta abaixo do valor de <i>pick-up</i>	95
Figura 4. 60:Simulação de falta acima do valor de <i>pick-up</i>	95
Figura 4. 61:Atuação da função 50 no alimentador de 13,8kV.	96

Tabelas

Tabela 2. 1: Estatística entre os tipos de faltas e suas composições.....	23
Tabela 2. 2: Principais funções de proteção aplicadas em SE distribuidora	27
Tabela 2. 3: Funções de proteção associadas em cada vão de uma subestação típica.	30
Tabela 3. 1: Constantes α e β para as curvas inversas, conforme IEC 255-3.	33
Tabela 3. 2: Ajustes de proteção efetuados para o relé de religamento.	36

Lista de Abreviaturas e Siglas

AL	- Vãos de Alimentadores
ANSI	- <i>American National Standards Institute</i>
AVA	- Ambiente Virtual de Aprendizagem
B	- Barramentos de Alta e Média Tensão
BC	- Banco de Capacitor ou Vão de Regulação
COELCE	- Companhia Energética do Ceará
COS	- Centro de Operação do Sistema
D	- Disjuntor
EL	- Entrada de linha
EPRI	- <i>European Parliaments Research Initiative</i>
I _{carga máxima}	- Corrente de carga máxima
I _{cc}	- Corrente de curto circuito
IEC	- <i>International Engineering Consortium;</i>
IEEE	- <i>Institute of Electrical and Electronic Engineers</i>
IHM	- Interface homem máquina
I _{pick-up}	- Corrente de atuação do relé.
JDBC	- <i>Java DataBase Connectivity</i>
RTC	- Relação de transformação do transformador de corrente
RTT	- Relação de transformação do transformador
SCADA	- <i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>
SDA	- Sistema Digital de Automação

SDF	- Sistema de Diagnóstico de Falhas
SE	- Subestação
SEP	- Sistema Elétrico de Potência
SL	- Saída de linha
STOP	- Simulador para Treinamento da Operação da Proteção
TAP	- Corrente de ajuste do relé
TC	- Transformador de Corrente
TP	- Transformador de Potencial
TR	- Vão de transformação
UCP	- Unidade de Controle de posição
UCS	- Unidade de Controle de Subestação
VNC	- <i>Virtual Network Computing</i>

CAPÍTULO 1 | INTRODUÇÃO

A constante evolução tecnológica dos sistemas de controle e proteção tem proporcionado melhoria na segurança e confiabilidade dos sistemas de potência. Em contrapartida, para acompanhar a velocidade das mudanças, garantindo a segurança e a confiabilidade dos sistemas elétricos, as empresas necessitam de profissionais qualificados, devendo para isto investir em capacitação e atualização profissional continuada dos profissionais próprios e terceirizados. No entanto, na conjuntura atual, as empresas se deparam com a dificuldade de liberação de pessoal para participar de treinamentos. Estes fatores têm conduzido à busca de soluções que venham a atender à demanda das empresas, mantendo a qualidade do processo de formação continuada.

1.1 Motivação e Objetivos da Pesquisa

A dificuldade de liberação de colaboradores para participar de cursos e a constante necessidade de atualização técnica têm motivado a pesquisa de novas formas de treinamento, que possibilitem implantar os treinamentos necessários ao bom desempenho profissional e que atendam as políticas atuais de racionalização de recursos humanos da empresa.

Para resolver esse impasse tem-se optado pelo uso de tecnologias de informática e comunicação via rede informatizada, combinando o uso de recursos existentes nos cursos presenciais com recursos disponíveis na internet, contemplando, assim, a mais premente necessidade de desenvolvimento humano atual: a preparação de pessoas para interagir com as atuais tecnologias de informação das sociedades modernas.

Para suprir esta necessidade, neste trabalho é apresentado um Simulador para Treinamento de Operação da Proteção de Sistemas Elétricos (STOP). O STOP é um software desenvolvido em DELPHI para ser aplicado em treinamento, presencial e a distância, voltado à capacitação de estudantes de engenharia, eletricitas, eletrotécnicos e profissionais de engenharia do setor de energia elétrica.

1.2 Estado da Arte

Vários são os ambientes virtuais de aprendizagem existentes nas diversas áreas do conhecimento. Estes ambientes geralmente não possuem o uso de simuladores externos desenvolvidos em outras linguagens de programação para aprendizagem virtual a distância principalmente sobre o tema de proteção de sistemas de potência. A literatura aponta alguns simuladores desenvolvidos para treinamento a distância como experiência de empresas de energia elétrica, a seguir descritos.

Em (FUZETO, 2003) é relatada a experiência da Companhia Energética de São Paulo (CESP) no treinamento a distância de operadores de usina com infotecnologias e recursos da web, através de um sistema que associa a realização de tarefas que exigem atuação e interação com o professor, ensino presencial em sala de aula, e atividades que possam ser conduzidas a distância utilizando a Internet como meio de comunicação. O sistema utilizado foi o TelEduc.

Em (TEIXEIRA et al, 2003) é apresentada a experiência da Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista (CTEEP) com treinamento de operadores de subestações e despachantes utilizando simulador de treinamento para operação de sistemas elétricos, o qual contempla uma visão funcional e dinâmica de equipamentos, sistemas de proteção e do sistema elétrico.

(MORAIS E ROSA, 2002) relatam a experiência de Furnas com um simulador para treinamento de serviço auxiliar de corrente alternada da usina de Marimbondo. O aplicativo é capaz de simular as funcionalidades existentes nos equipamentos do serviço auxiliar de corrente alternada da usina de Marimbondo.

Em (OLIVEIRA, 1998) tem-se uma modernização das ferramentas de simulação para estudos de proteção, uma experiência da Cemig, que modernizou um antigo programa americano chamado PECO que fazia simulações de curto circuito, verificação de coordenação de relés de proteção e construção de diagramas de impedâncias do sistema.

Em (PINTO, 1998) tem-se um sistema de ajuste de proteção chamado SETTIME desenvolvido sobre uma plataforma DOS em linguagem CLIPPER. O SETTIME foi desenvolvido para auxiliar os trabalhos de estudos operacionais de coordenação de proteções do sistema elétrico.

Em a (ARAÚJO, 2002) a experiência da Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (Chesf) com o Treinamento de Operadores de Sistema Utilizando Simulador amigável no

Centro de Regional de Operação de Sistema Leste, trata-se de um simulador que se utiliza um simulador de fluxo de potência PowerWorld versão 7.0 associado ao controlador remoto de PC, o pcAnywhere 8.0.

Ainda com os projetos da Chesf tem-se em (LEITE et al, 2002) o uso de simuladores para treinamento de operadores da empresa como ferramenta para disseminação de conhecimentos na operação do sistema elétrico denominado de SIMULOP. O simulador foi desenvolvido em parceria com o Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL), e emprega o simulador de sistemas elétricos EPRI/OTS (*Operator Training Simulator do Electric Power Research Institute*), que integrado ao Sistema Aberto de Gerenciamento de Energia (SAGE), possibilita um ambiente similar ao ambiente de trabalho dos operadores de sistema, no qual os mesmos 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 Interfaces Homem Máquina (IHM) operando em rede. Além disto, é possível, através de uma rede WAN, a realização de treinamentos de forma remota.

Em (Miranda, 2008) é mostrado a utilização da ferramenta *Operator Training System* (OTS), conhecida como SIMULOP (SAGE/OTS), interligando dois Centros de Operação da Chesf através da sua rede de dados.

Um simulador com propósito de ensino a distância é mostrado em (MARTINS, 2008) com a experiência da Elektro na utilização do simulador de treinamento de operação de subestações.

O software “O AUTOMATA” mais voltado para o apoio de decisão para locação de chaves automáticas em redes de distribuição é mostrado em (SPERANDIO, 2007).

1.3 Importância do Ensino Tecnológico a Distância na Educação.

Antes de tratar sobre a importância do ensino tecnológico a distância, faz-se necessário algumas definições, vantagens, objetivos e recursos disponíveis hoje sobre Ensino Tecnológico a Distância (EAD), além de suas utilizações nas mais diversas áreas do conhecimento.

O termo Educação a Distância tem sido usado para definir um processo de aprendizagem que envolve a obtenção de conhecimento fora das tradicionais vias de ensino (NUNES, 1998). Neste processo, professor e aluno estão separados no espaço e/ou no tempo, o que implica, necessariamente, na comunicação entre estudante e professor mediada por algum mecanismo de distribuição de informação.

Diversos são os autores que trazem uma conceituação para a educação a distância. Consensualmente, o ensino a distância é uma modalidade de educação onde o conceito de “sala de aula” deixa de ser real para tornar-se virtual. Isso com relação a uma não convergência de espaço/tempo dentro do grupo (professores e alunos). Alguns questionamentos são feitos com relação ao próprio termo distância, já que a mesma (se compreendida de forma abstrata) pode ser ainda maior em cursos tradicionais presenciais.

O termo educação aberta e a distância também tem sido usado na tentativa de associar a modalidade a distância com as necessidades do mundo atual globalizado.

Nesse caminho, a ênfase deve ser dada na maior autonomia do estudante, na flexibilidade e na abertura do sistema. Um olhar mais cuidadoso ao processo de aprendizagem, e não só ao processo de ensino (BELLONI, 2003).

No entanto, o termo Educação a Distância (EAD) ainda é o mais utilizado no Brasil atualmente, tanto pela comunidade acadêmica como pela população em geral. Mas isso não quer dizer que a EAD esteja sendo pensada de forma divergente dos aspectos relativos a uma aprendizagem aberta. Pelo contrário, uma educação de qualidade, seja ela presencial ou a distância, passa por aspectos como: a preocupação com um material didático atualizado; a atenção à aprendizagem do aluno através de uma postura integrativa; a construção de meios motivacionais (LIMA, 2003).

Uma educação que se preocupe não só com o conteúdo, mas também com a construção e adaptação deste conteúdo de acordo com o contexto, com a atenção à diversidade cultural e regional do grupo, com a formação do aluno enquanto ser social e cidadão, com a formação de indivíduos com um perfil mais adequado ao mundo globalizado atual, um perfil que privilegie a criação, a inovação e a troca (LIMA, 2003). Tudo isso dentro de um processo educativo que seja centrado no aluno, objetivando desenvolver capacidades de autonomia e auto-aprendizagem (BELLONI, 2003).

Com o advento das tecnologias de informação e comunicação, é inevitável que grandes mudanças aconteçam nos ambientes de ensino (UCB, 2005). A internet hoje é entendida como

fonte fundamental de busca de informações, e a participação dela nos processos formais de ensino/aprendizagem é imprescindível. O EAD ganha vida com as possibilidades da rede; a interação encontra sua solução na rede. No contexto da globalização a internet atua como uma conexão com o outro, na busca de parcerias e construções coletivas de conhecimento.

O principal objetivo do EAD é oferecer às pessoas que se encontram distantes dos centros de difusão de informação a condição de se capacitarem. Possui também como objetivos a democratização do acesso à educação, o fornecimento de uma aprendizagem autônoma e ligada à experiência, o oferecimento de um sistema educativo inovador, o incentivo a educação permanente e também a redução de custos.

Entre suas principais características pode-se citar a separação física do professor aluno; a utilização de meios técnicos de comunicação (impressos, áudios, vídeos, etc.); a organização de apoio-tutoria para auxílio do cursista; a aprendizagem independente e flexível, possibilitando um trabalho independente com tempo, estilo, ritmo e métodos de aprendizagem definidos pelo aluno; a comunicação bidirecional, fazendo do cursista não apenas um receptor, mas possibilitando diálogos; um enfoque tecnológico, com uma tecnologia sistemática e globalizadora; a comunicação massiva, eliminando fronteiras espaço-temporais, e propiciando o aproveitamento destas mensagens por um grande número de pessoas dispersas geograficamente e procedimentos industrializados, aplicados à produção e à distribuição massiva de materiais e recursos didáticos.

A crescente presença da internet no dia-a-dia de milhões de pessoas no Brasil está suscitando o aparecimento de idéias para ajudar e aperfeiçoar atividades que podem ser exercidas a distância.

O EAD tem na Internet a possibilidade de construir ambientes de aprendizado interativos que fomentem ainda mais o processo de construção de conhecimento, onde o aluno passe a ser um integrante provedor de informação e o professor um tutor que norteie esse processo (MARTINS E POLAK, UNIREDE, 2001).

As vantagens apresentadas pelo EAD são numerosas, e pode-se relatar entre as principais: a abertura, pois ocorre a eliminação ou redução das barreiras de acesso aos cursos; a diversificação e ampliação da oferta de cursos; a interatividade, já que não há restrições de localização e, quanto ao fator temporal, o estudante pode acessar a internet a qualquer horário; a eficácia, havendo conteúdos instrucionais elaborados por especialistas; a utilização de recursos multimídia e comunicação bidirecional freqüente; o ensino independente de tempo e

lugar; a minimização de deslocamentos; a economia de tempo; o atendimento em massa personalizado; e a possibilidade de determinação, pelo aluno, de seu ritmo de aprendizagem.

O EAD foi incluído na lei de diretrizes e bases da educação nacional, aprovada em 1996, como uma das modalidades de ensino a ser praticada oficialmente no Brasil. Desta maneira, esta modalidade de educação é hoje regulamentada e reconhecida no país (MARTINS E POLAK, UNIREDE, 2000).

Com a chamada “era da informação” surgiram novos recursos tecnológicos que têm provocado verdadeiras revoluções nas mais diferentes áreas da nossa sociedade. A área da educação tem sentido reflexos diretos desta revolução, tornando-se necessário o desenvolvimento de novas abordagens para atender às necessidades emergentes.

Com o objetivo de facilitar o trabalho do professor em organizar e disponibilizar cursos na Web, muitos ambientes computacionais têm sido desenvolvidos (CERCEAU, 1998; OEIRAS, 1998). Esses ambientes consistem, basicamente, de ferramentas para gerenciar cursos, tornar disponíveis conteúdos e possibilitar a comunicação entre os participantes.

Ainda com o objetivo de dar suporte às atividades de formação e treinamento, antes tradicionalmente presenciais, Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVA), tais como Teleduc, Moodle e AulaNet, vêm sendo continuamente desenvolvidos, testados e aplicados em cursos a distância.

O EAD não veio para substituir o ensino presencial; as duas modalidades são complementares. Com sua abrangência, o EAD atenderá a um número consideravelmente superior de alunos, chegando a lugares bastante dispersos geograficamente, e que necessitam de qualificação e requalificação freqüente para atender as necessidades exigentes do mundo atual.

1.4 Educação Tecnológica a Distância

1.4.1 Considerações Iniciais

A Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (Lei. 9.394-96) descreve a Educação Profissional como a integração das diferentes formas de educação ao trabalho, à ciência e à tecnologia, conduzindo ao permanente desenvolvimento de aptidões para a vida produtiva. A Educação Tecnológica é, portanto, enquadrada no contexto da Educação Profissional, que compreende três níveis:

- *Básico* – destinado à qualificação, requalificação e reprofissionalização, independentemente de prévia escolaridade, em vários níveis.
- *Técnico* – destinado a oferecer habilitação profissional a alunos matriculados ou egressos do ensino médio.
- *Tecnológico* – destinado a egressos do ensino médio e técnico, correspondente a cursos de nível superior na área tecnológica.

O texto em seguida refere-se ao Capítulo III da LDB, Lei número 9.394, de dezembro de 1996.

CAPÍTULO III

Da Educação Profissional

Art. 39. A educação profissional, integrada às diferentes formas de educação, ao trabalho, à ciência e à tecnologia, conduz ao permanente desenvolvimento de aptidões para a vida produtiva.

Parágrafo único. O aluno matriculado ou egresso do ensino fundamental, médio e superior, bem como o trabalhador em geral, jovem ou adulto, contará com a possibilidade de acesso à educação profissional.

Art. 40. A educação profissional será desenvolvida em articulação com o ensino regular ou por diferentes estratégias de educação continuada, em instituições especializadas ou no ambiente de trabalho.

A utilização de conjuntos de componentes didáticos de experimentos e fitas de vídeo com demonstrações de ensaios práticos encaminhados aos estudantes para suprir as necessidades de experimentações práticas já foi uma das principais alternativas para a oferta de cursos tecnológicos a distância, anteriormente ao surgimento das ferramentas multimídia e da Internet. Este procedimento restringe consideravelmente as áreas dos cursos com possibilidade de serem ofertados remotamente.

A distribuição de materiais e componentes didáticos relacionados com o ensino prático de elementos tecnológicos modernos torna os cursos inviáveis financeiramente para os estudantes e instituições de ensino. Além disto, existem instrumentos de medição, de custo elevado, que não podem ser disponibilizados desta maneira. Outra alternativa seria a programação de aulas intensivas de laboratório em centros remotos equipados adequadamente. Isto também torna oneroso o curso, considerando-se os custos com

deslocamento, além do fato de que os conteúdos teóricos ficariam mais isolados da experimentação e demonstração prática.

A aplicação da multimídia, dos dispositivos interativos e dos hipertextos, comumente utilizados em cursos a distância através de ambientes virtuais de aprendizagem ou de LMS's (*Learning Management System*) vem aprimorar a aquisição de conhecimento nas diversas áreas do saber. A integração de recursos como imagem, áudio, textos e telemática permitem ao estudante o contato com uma extraordinária riqueza de informações que podem ser acessadas de uma maneira dinâmica e interativa. Estes recursos, porém, demonstram-se insuficientes para os ensaios e demonstrações científico-tecnológicas, bem como para o desenvolvimento de competências e habilidades práticas relacionadas com os perfis profissionais programados pelas instituições de ensino (DEDE, 2000).

A experimentação prática de elementos científicos e de dispositivos tecnológicos efetuada em cursos a distância, conta com o apoio de animações elaboradas com softwares específicos para demonstrações de movimentos e formas. Porém a aquisição de conhecimento sem que se viabilizem inferências não permite um ciclo completo de cognição (FIALHO, 2001). Torna-se necessário o desenvolvimento de softwares tutoriais e de simulação de experimentos práticos específicos, bem como a disponibilização de laboratórios virtuais que venham a atender às diversas programações curriculares. As eventuais limitações na utilização destas ferramentas de ensino devem ser estudadas de forma aprofundada, antecedendo-se ao planejamento e desenvolvimento de programas de cursos com exigência de aulas práticas a distância.

Percebe-se um crescimento na aplicação de técnicas de simulação no ensino presencial ou a distância das diversas áreas do conhecimento. A imaginação auxiliada por computador (LÉVY, 1993) potencializa os recursos e as metodologias de ensino a distância tanto para exemplificação e assimilação de conteúdos teóricos, como para a substituição de experimentos práticos de laboratório.

A eficiência didática e, principalmente, a capacidade de aquisição de conhecimento proporcionada pela aplicação de softwares simuladores em experimentos práticos requer uma investigação científica criteriosa para cada área de conhecimento antecipadamente à oferta destes cursos, para que seja possível um planejamento metodológico adequado do desenvolvimento das habilidades e competências esperadas com a devida dosagem de teoria, experimentação real e experimentação simulada.

Muito embora existam atualmente simuladores de altíssimo grau de detalhamento e sofisticação tecnológica, muitos aprimoramentos ainda devem ser implementados no sentido de torná-los efetivamente didáticos, proporcionando maior interação entre professor e aluno durante o processo de experimentação remota.

Paralelamente ao aprimoramento dos softwares de forma integrada com os *designers* educacionais, os organizadores/coordenadores de cursos tecnológicos a distância necessitam de uma avaliação prévia das metodologias e estratégias a serem empregadas para contornar as eventuais deficiências de ensino-aprendizagem.

Embora muitas ferramentas de Educação a Distância tenham sido desenvolvidas nos últimos anos, ainda existe uma lacuna no que se refere ao ensino tecnológico ou profissional. Nesta modalidade, os aspectos práticos do ensino tornam-se tão importantes quanto os aspectos teóricos, existindo maior exploração dos sentidos e, conseqüentemente, a necessidade de um conjunto de instrumentos que aproximem mais o aprendiz do ambiente profissional real.

Em (MOURA, 1999) encontramos uma reflexão sobre os problemas enfrentados pelas instituições de Educação Tecnológica que decidiram implementar projetos de Educação a Distância baseado em redes de computadores. O trabalho de Moura levanta características típicas da Educação Tecnológica, diferindo-a da educação convencional, e apresenta alguns pressupostos a serem satisfeitos pelos sistemas de Educação a Distância desenvolvidos para escolas profissionalizantes.

Dentre as novas tecnologias, a Internet tem se destacado como a infra-estrutura preferida no desenvolvimento de novos modelos de Educação a Distância. Em especial, a habilidade de integrar texto e diversos recursos multimídia deu à Internet uma interface mais amigável, fornecendo aos seus usuários um novo instrumento para ensinar e aprender a distância. A Web, em conjunto com outros recursos amplamente difundidos na Internet, vem tornando-se não só um meio familiar de acesso à informação, mas também um ambiente rico para o desenvolvimento do trabalho cooperativo. Barreiras geográficas e temporais vêm sendo rompidas, proporcionando o compartilhamento em tempo real de informações e permitindo a cooperação e a comunicação entre usuários.

A possibilidade de incursão em domínios diferentes e de acesso a recursos que podem variar em função do contexto, traz à tona um outro importante conceito que deve ser considerado em um ambiente voltado para a Educação Tecnológica a Distância: a

flexibilidade (SOARES et al, 2001). Muitos sistemas EAD empregam soluções fechadas, em que as características dos elementos pertinentes à ferramenta computacional só podem ser alteradas através de dispendiosas atualizações em sua estrutura interna. Outro problema freqüente em tais ferramentas é a dificuldade de expandir as suas funcionalidades. Além de um conjunto básico de programas de comunicação e de acesso a recursos tipicamente usados em sistemas EAD, é provável que programas de um domínio específico precisem ser criados ou adaptados ao sistema computacional. Poder-se-ia ter, por exemplo, programas CAD (*Computer Aided Design*), para o domínio de Mecânica, e programas de montagem de circuito impresso, para o domínio de Eletrônica, entre outros.

1.4.2 TelEduc – Um Ambiente Virtual de Aprendizagem

Dentre os ambientes virtuais de aprendizagem (AVAs) existentes, optou-se pelo TelEduc. A opção pelo TelEduc deu-se em função de ser um software desenvolvido pelo Núcleo de Informática Aplicada à Educação (NIED) da Universidade de Campinas (UNICAMP), e por ser um software de licença pública encontrando-se em constante desenvolvimento. Por ser de licença pública, o TelEduc utiliza o sistema operacional Linux, também de licença pública.

O TelEduc é um ambiente para a criação, participação e administração de cursos na Web. Foi concebido tendo como elemento central a ferramenta que disponibiliza Atividades. Isso possibilita a ação onde o aprendizado de conceitos em qualquer domínio do conhecimento seja feito a partir da resolução de problemas, com o subsídio de diferentes materiais didáticos como textos, software, referências na Internet, dentre outros, que podem ser colocadas para o aluno usando ferramentas tais como: Material de Apoio, Leituras, Perguntas Frequentes, etc.

Na Figura 1.1 é mostrado um exemplo do ambiente do TelEduc já com a tela do simulador desenvolvido, o qual será percorrido na seção 4.1.

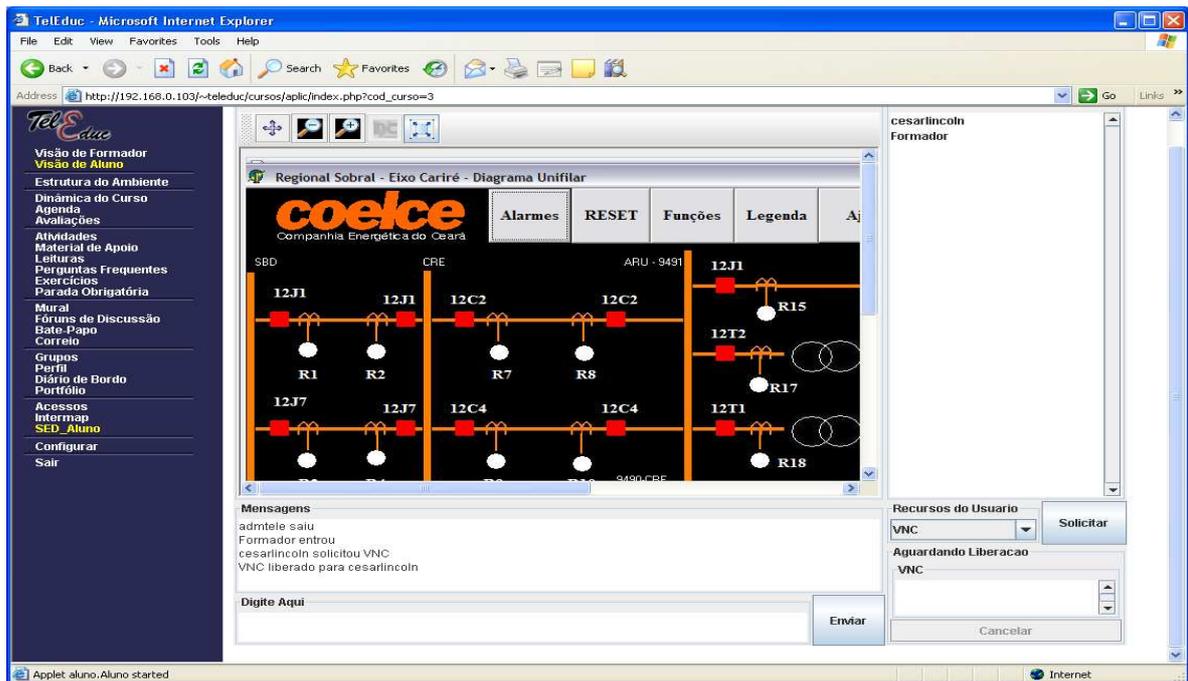


Figura 1. 1:Tela do ambiente do TelEduc com o simulador desenvolvido neste trabalho.

1.4.3 Ferramentas do TelEduc

Para tornar o ambiente virtual muito parecido com uma sala de aula presencial, fornecer ao professor ferramentas que possibilite ministrar aulas com todos os recursos necessários que permita a interação, o diálogo e o gerenciamento das atividades, o TelEduc possui um variado rol de ferramentas, com finalidade específica, que são:

- Estrutura do Ambiente - Contém informações sobre o funcionamento do ambiente.
- Dinâmica do Curso - Contém informações sobre a metodologia e a organização do curso.
- Agenda - É a página de entrada do curso.
- Atividades - Apresenta as atividades a serem realizadas durante o curso.
- Material de Apoio - Apresenta informações úteis relacionadas à temática do curso.
- Leituras - Apresentam artigos relacionados à temática do curso, endereços na Web, etc.
- Perguntas Frequentes - Contém a relação das perguntas realizadas com maior frequência.
- Parada Obrigatória - Contém materiais que visam desencadear reflexões e discussões.
- Mural - Espaço reservado para todos os participantes disponibilizarem informações.
- Fórum de Discussão - Permite estruturar uma discussão entre os participantes.

- Bate-Papo - Permite uma conversa em tempo real.
- Correio - Correio eletrônico interno ao ambiente.
- Grupos - Permite a criação de grupos.
- Perfil - Perfil dos participantes do curso.
- Diário de Bordo – Espaço utilizado para facilitar que os alunos descrevam e reflitam sobre seu processo de aprendizagem.
- Portfólio – Para os participantes do curso armazenarem textos e arquivos.
- Acessos - Permite acompanhar a frequência dos usuários ao curso e às ferramentas.

Os formadores têm acesso a todas as ferramentas citadas acima e acesso exclusivo às ferramentas (Administração), que lhes permite o gerenciamento do curso e dos alunos, e à ferramenta (Suporte), que fornece informações sobre os responsáveis pela administração do TelEduc.

O que se almeja é uma mudança de paradigma no qual a educação deixe de ser baseada na transmissão de informação, na instrução, para a criação de ambientes de aprendizagem nos quais o aluno realiza atividades e constrói o seu conhecimento (VALENTE, 1999).

Inserida no processo de universalização e democratização da educação, o EAD se apresenta como uma modalidade de ensino do futuro, atendendo às necessidades de formação e qualificação profissional e alcançando um número significativamente maior de pessoas que poderão estar dispersas geograficamente (KORCZAGIN, 2004).

1.5 O Uso de Simuladores para Treinamento

No contexto da educação tecnológica, os simuladores são hoje uma excelente alternativa à produção e difusão do conhecimento de maneira rápida e objetiva. Simuladores educacionais, em específico, já auxiliam no aprendizado de diversos campos do conhecimento.

No início deste projeto surgiu a dúvida sobre a definição dos termos simulação e emulação, e qual dos dois termos se aplicaria melhor à ferramenta de treinamento proposta.

A literatura fala que simular e emular estão sempre dentro de um mesmo contexto, pois se pode chegar à conclusão de que ambos são sinônimos de "Imitar". Porém, emular traduz a

situação de competição ou rivalidade com o objeto imitado. Simular não descarta ou substitui o objeto original.

Um simulador de vôo imita o avião, mas não voa. Não compete com o objeto original. Todavia os emuladores de Jogos em PC emulam jogos de vídeo game e não se precisará mais do vídeo game porque eles desempenham literalmente todas as funções do aparelho. A emulação é muito comum no mundo computacional, onde um software pode imitar ou substituir outro.

A simulação é mais comum no mundo real. Simular um treinamento tático policial ou de guerra, por exemplo. Programas de computador também podem simular cirurgias médicas, comportamentos físicos e orgânicos, etc. Mas nenhuma simulação pode vir a tomar o lugar do objeto simulado.

Simulação visa representar um fenômeno por meio de outro buscando medir, demonstrar, testar, avaliar, treinar, educar, minimizar custos ou riscos. Em termos educacionais, a simulação tem se mostrado uma ferramenta importante, pois possibilita o aprendizado pela prática, especialmente em situações complexas, envolvendo um alto risco ou custo (ARAÚJO, 2002).

Nos últimos anos tem havido um crescente questionamento por parte da pedagogia acerca dos métodos tradicionais de ensino e a constante busca por novos paradigmas de ensino aprendizagem que tornem o ato de ensinar e aprender prazeroso tanto para o professor quanto para o aluno. Como reflexo destas idéias na área das Engenharias, surgiu a reengenharia no ensino tecnológico, que procurou fomentar o desenvolvimento de novas técnicas de ensino, tornando acessível ao aluno de graduação o contato com novas estratégias de aprendizagem, ressaltando a utilização da informática como ferramenta indispensável na construção do conhecimento (ASSIS et al, 2000).

O simulador desenvolvido buscou ser o mais objetivo e intuitivo possível, visto que sua utilidade é a de auxiliar profissionais na área elétrica a obter resultados de manobras e configurações e ajustes de proteção e seus conseqüentes resultados.

Com o rápido desenvolvimento tecnológico das últimas décadas faz-se necessário a evolução dos métodos de ensino para assimilar as inúmeras informações disponíveis. É nesse cenário que se popularizam cada vez mais os softwares simuladores de cunho educativo.

No simulador de treinamento proposto foi utilizado o ambiente de desenvolvimento Borland Delphi 2005, adotando a linguagem Object Pascal. O uso do ambiente Delphi 2005

permitiu até agora desenvolver o software de forma bem estruturada e com uma interface bastante eficiente e amigável para plataforma *Windows*.

A aplicação de softwares simuladores como ferramentas didáticas de apoio à educação tecnológica à distância têm demonstrado ser uma das principais soluções para a viabilização da oferta de cursos que necessitem de demonstrações e ensaios práticos.

O ensino e a aprendizagem da proteção de sistemas elétricos é, muitas vezes, difícil de ser conduzido, por tratar de tópicos envolvendo certo grau de complexidade. O simulador foi desenvolvido visando auxiliar a compreensão do tema de forma mais fácil por parte dos alunos em aulas pela Internet. Ele pode ser empregado em treinamentos e simulações com dados reais de campo, substituindo com vantagens o emprego de tabelas e gráficos. O programa busca facilitar a assimilação do conteúdo e dos cálculos necessários à matéria.

Esta poderosa ferramenta pode ser usada em EAD, como auxiliar do professor na sala de aula ou até mesmo em ambientes corporativos. O acesso remoto através da rede tem as seguintes vantagens:

- A utilização remota pelos usuários (estudantes ou não) sem restrição de tempo ou limitações de distância;
- O uso de calculadores e/ou simuladores em que usuários podem não ter acesso em laboratórios tradicionais;
- A interface visual interativa traz ao aluno um novo modelo de aprendizado, libertando-o dos compêndios técnicos extensos e pouco estimulantes. (MELO E MELONI, 2002).

1.6 Objetivos do Trabalho.

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um software de simulação de proteção de sistemas elétricos para treinamento presencial e a distância de profissionais da área de energia elétrica. Esta ferramenta foi integrada em um ambiente virtual de aprendizagem (AVA) baseado no Teleduc, assim vários profissionais poderão ser treinados onde se fizerem presentes através da internet, reduzindo assim os custos com deslocamentos e treinamentos presenciais.

O objetivo deste trabalho é então desenvolver um programa, baseado em linguagem orientada a objetos, capaz de simular através de diagramas unifilares as funções de proteção e

atuação dos respectivos equipamentos de uma subestação típica promovendo assim o aprendizado tecnológico do tema proteção.

1.7 Contribuições do Trabalho

Este trabalho trouxe como contribuições o uso de Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) para suprir a demanda de formação permanente e atualização técnica continuada dos profissionais do setor elétrico.

Contribui também para diminuir a lacuna de software e o difícil acesso à literatura atualizada com as novas tecnologias dos sistemas de proteção de sistemas elétricos de potência, normalmente disponível em volumosos compêndios disponibilizados por fabricantes de equipamentos. Trouxe também uma disseminação da cultura do ensino a distância.

1.8 Estrutura da Dissertação

Este trabalho está dividido em capítulos e seções, subdividindo os temas e assuntos de forma a facilitar a compreensão.

Neste primeiro capítulo é apresentada uma introdução que mostra a necessidade da ferramenta de treinamento no contexto do ensino tecnológico a distância para disseminação de conhecimento através da internet, podendo alcançar assim um público alvo muito maior do que seria alcançado por um treinamento presencial.

O segundo capítulo está organizado de forma a apresentar uma Visão Panorâmica da Proteção de Sistemas Elétricos de Potência, incluindo uma introdução teórica sobre as filosofias de proteção e seus ajustes segundo padrões gerais de proteção de sistemas de potência utilizados no desenvolvimento do trabalho que serviram de base para o simulador de proteção.

No terceiro capítulo são apresentados os cálculos de ajustes das funções de proteção implementadas no simulador de proteção para treinamento.

No quarto capítulo são descritos a concepção geral do simulador de treinamento, suas funções e recursos disponíveis para simulação, bem como o funcionamento do software para melhor aproveitamento de seus recursos.

No quinto capítulo são apresentadas as conclusões e sugestões de trabalhos futuros, buscando uma continuidade da linha de pesquisa em sistemas de proteção. Por fim encontra-se a bibliografia estudada e consultada durante a elaboração deste trabalho.

No apêndice constam a relação de artigos publicados em eventos técnicos-científicos, nacional e internacional, com os resultados deste trabalho.

Neste capítulo é apresentada uma visão panorâmica dos conceitos e funções de proteção de sistemas elétricos de potência que foram utilizados como base teórica para a implementação dos recursos do Simulador de Treinamento de Operação da Proteção - STOP.

Como o trabalho pretende alcançar um público abrangente de diferentes áreas do conhecimento e diferentes níveis de *expertise*, alguns conceitos, nomenclaturas e símbolos são apresentados para facilitar o entendimento do que seja um sistema elétrico de potência.

2.1 Representação dos Sistemas de Potência

Os sistemas elétricos de potência são compostos por Geração, Transmissão e Distribuição de energia elétrica (GERS, 1998, LAKERVI, 1995).

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 das ocorrências 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, no caso, para um simulador de treinamento, objetivo deste trabalho.

Na Figura 2.1 tem-se uma representação simplificada de um sistema elétrico de potência contendo seus respectivos sistemas de geração, transmissão, distribuição e cargas ou consumidores.

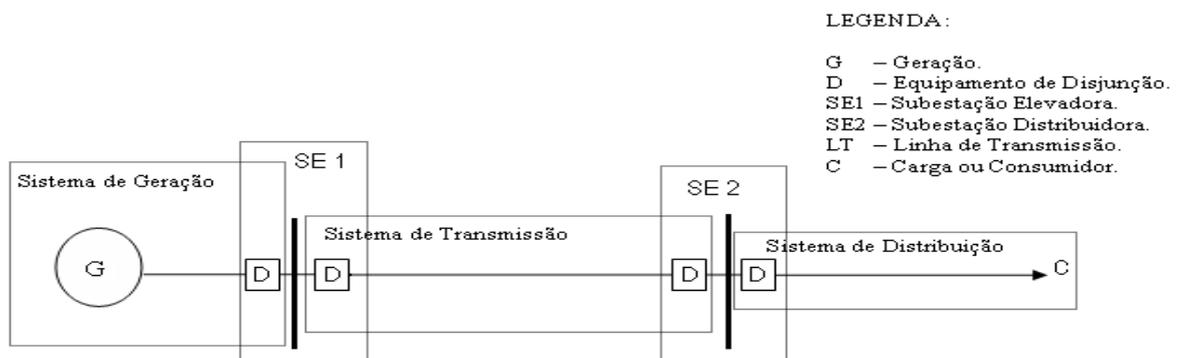


Figura 2. 1:Diagrama simplificado de um sistema elétrico de potência.

2.1.1 Diagrama Unifilar

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 denominado diagrama unifilar. Em um diagrama unifilar, o sistema trifásico é representado por um sistema monofásico (uma das três fases e o neutro). Frequentemente este diagrama é ainda mais simplificado, suprimindo-se o neutro e indicando as partes componentes por símbolos padronizados.

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 da subestação do simulador de treinamento foram normalizados pela *American National Standards Institute* (ANSI) e pelo *Institute of Electrical and Electronic Engineers* (IEEE) e são mostrados na Figura 2.2.

Máquina ou armadura girante (básico)		Disjuntor a óleo ou outro líquido	
Transformador de potência com dois enrolamentos		Disjuntor a ar	
Transformador de potência com três enrolamentos		Ligação trifásica em triângulo	
Fusível		Ligação trifásica em estrela, com neutro não aterrado	
Transformador de corrente.		Ligação trifásica em estrela, com neutro aterrado.	

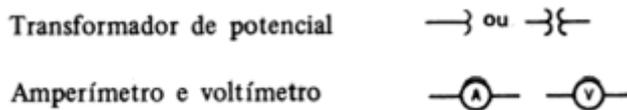


Figura 2. 2: Símbolos utilizados na representação do sistema.

A Figura 2.3 mostra 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, um aterrado através de um reator e outro através de um resistor ligado a uma das barras, um terceiro gerador, e uma linha de transmissão conectando as duas barras através de dois blocos de transformadores. A barra de geração é suprida por dois geradores, o Gerador 1 conectado em estrela (Y) e o Gerador 2 conectado também em estrela. A barra de carga é representada por uma carga trifásica. O transformador 1 está conectado em Y aterrado dos dois lados de alta e de baixa tensão e o transformador 2 está conectado em Y e aterrado no lado de alta tensão e conectado em delta no lado de baixa tensão.

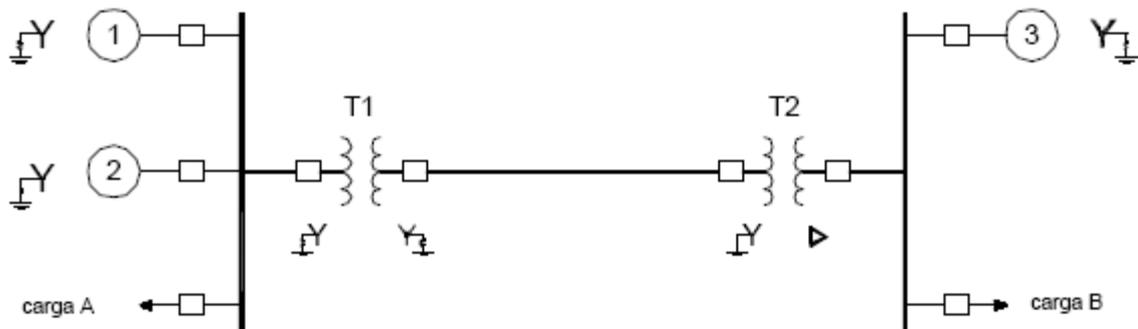


Figura 2. 3: Diagrama unifilar de um SEP.

2.1.2 A Necessidade da Proteção de Linhas de Transmissão

A interligação do sistema elétrico de potência trouxe, além de vantagens econômicas, novos problemas para o sistema como um todo. Em sistemas interligados, as perturbações causadas por uma falta podem se propagar por todo o sistema, pois a corrente que circula durante um curto-circuito é aumentada, obrigando a instalação de um sistema de proteção de maior capacidade.

Pela própria natureza do sistema elétrico de potência, o elemento mais vulnerável a falhas é a linha de transmissão, especialmente se for considerada sua dimensão física, visto que ela fica exposta a toda sorte e risco como intempéries, descargas atmosféricas entre outros.

2.2 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 2.1, 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.

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, a Figura 2.4 apresenta o diagrama unifilar simplificado de uma subestação de distribuição ilustrando todos os vãos da SE, bem como as respectivas proteções.

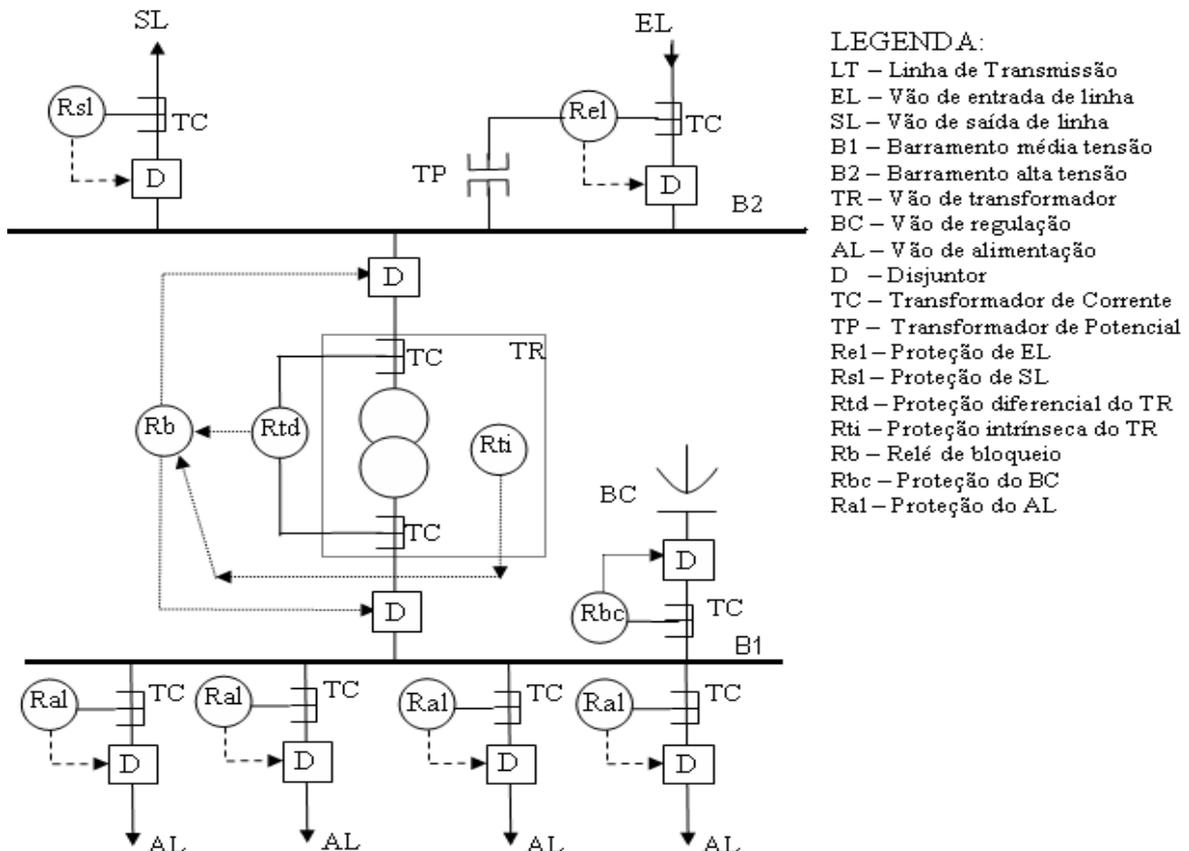


Figura 2. 4:Diagrama simplificado de uma subestação distribuidora típica.

Cada vão da SE, conforme apresentado na Figura 2.4, é composto de equipamentos de manobra, controle e proteção e possui 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 são ligados linhas e equipamentos. As SE's distribuidoras possuem barramentos no lado de alta tensão e no lado de baixa tensão do transformador de potência, conforme apresentado na Figura 2.4. Existem vários tipos 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, sem passar pelo equipamento de manobra, 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 manutenção do nível de tensão do barramento de média tensão da subestação dentro de faixas desejadas.

O sistema elétrico de uma subestação está exposto à faltas de origem interna ou externa, tais como: curtos-circuitos, sobretensões, subtensões, sobre-freqüências, sub-freqüências, sobrecargas, desequilíbrios, oscilações, elevação de temperatura de transformadores, falha de equipamentos, etc (ANDERSON, 1998; CAMINHA, 1981).

Segundo a ABNT (NBR5460, 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.

O sistema elétrico não é projetado para operar continuamente na presença de tais ocorrências e estas condições anormais, a que está submetido, são indesejáveis, porém inevitáveis. Para reduzir e/ou evitar danos no sistema elétrico e perigo para os seres humanos, bem como, fornecer energia para os consumidores de forma confiável, segura e com qualidade, deve-se dispor de sistema de controle e proteção que possa rapidamente detectar as condições anormais no sistema e tomar as ações apropriadas.

2.3 Composição de um 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 de relés de diferentes tipos ou não. Porém, para efeito de estudo, entende-se como sistema de proteção o conjunto formado por disjuntores, transdutores e relés, como mostrado na Figura 2.5.

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* 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.

A lógica de operação do sistema de proteção divide o sistema de potência em várias zonas de proteção, cada uma requerendo seu próprio grupo de relés (COURY, 2007).

O princípio básico de proteção é a técnica de selecionar, coordenar, ajustar e aplicar os vários equipamentos e dispositivos protetores a um sistema elétrico, de forma a guardar entre

si uma determinada relação, tal que uma anormalidade no sistema possa ser isolada, sem que outras partes do mesmo sejam afetadas.

Não há até o momento um procedimento único para a utilização dos dispositivos de proteção em relação às empresas concessionárias de energia elétrica, isto é os esquemas de proteção variam de empresa para empresa.

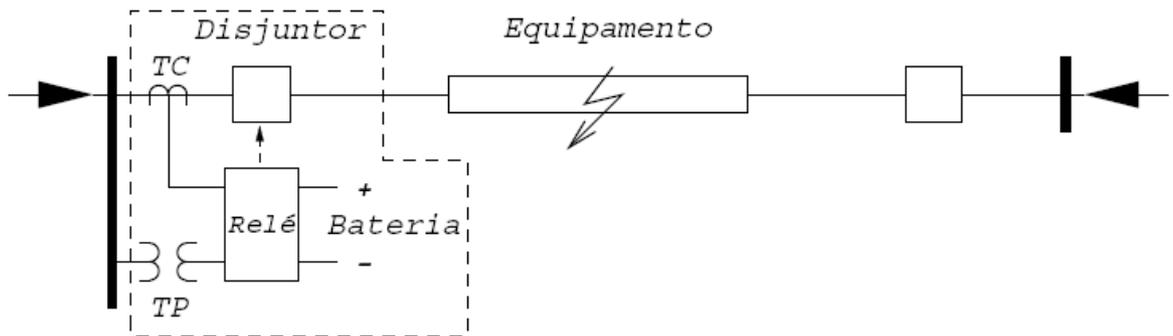


Figura 2. 5:Diagrama simplificado de sistema de proteção.

Uma descrição de cada elemento de um sistema de proteção é dada a seguir:

- **Circuito disjuntor:** isola o circuito faltoso interrompendo uma corrente quando está próxima do zero. É operado por um disparador energizado pela bateria, que por sua vez é comandado pelo relé;
- **Transdutores:** Transformador de potencial (TP) e Transformador de corrente (TC), responsáveis por reduzir a magnitude da tensão e corrente, dentro de certos limites, reproduzindo fielmente seus valores no secundário;
- **Relés:** são os elementos lógicos do sistema de proteção. Normalmente respondem a tensões e correntes e provêm a abertura ou não dos disjuntores a ele associado;
- **Bateria:** supre o sistema de proteção na falta de fornecimento de energia.

2.4 Características Funcionais dos Relés

Para um melhor entendimento do sistema de proteção, é necessário que se conheçam as características e o princípio de funcionamento dos relés.

Segundo a norma da ABNT, (NBR 5465, 1981), Relé de proteção é um dispositivo por meio do qual um equipamento elétrico é operado, quando se produzem variações nas condições deste equipamento ou do circuito em que ele está ligado, e/ou em outro(s) equipamento(s) ou circuito(s) associado(s).

A proteção deve isolar a menor parte possível do sistema o mais rápido possível do defeito, protegendo o sistema (bens materiais e pessoais) e isolando apenas o componente sob falha. (LIMA, 1994).

O relé é a parte lógica do sistema de proteção. É um dispositivo, analógico ou digital, que conectado ao sistema elétrico é responsável pela detecção de condições intoleráveis ou indesejáveis ao sistema elétrico e pela tomada de decisão de abertura ou não dos disjuntores adequados a ele associados, a fim de iniciar o processo de retirada de operação da parte faltosa, mantendo com isso a continuidade do fornecimento de energia elétrica e limitando os danos aos equipamentos.

Os sistemas de energia elétrica estão susceptíveis às faltas que podem ser temporárias ou permanentes. As faltas temporárias são aquelas cuja duração é limitada ao período necessário para restabelecer o serviço através de operação automática do equipamento de proteção que desligou o circuito ou parte dele. As faltas permanentes são as ocorrências não classificadas como temporárias ou programadas. Na Tabela 2.1, apresentam-se dados estatísticos de um sistema de distribuição entre os tipos de faltas e a composição das mesmas.

Tabela 2. 1: Estatística entre os tipos de faltas e suas composições.

	% de Ocorrência	Permanentes (%)	Transitórias (%)
Trifásicas	2	95	5
Bifásicas	11	70	30
Fase-terra	79	20	80
Outros	8	-	-

As faltas no sistema elétrico são normalmente provocadas pela ação de descargas atmosféricas, contatos de árvores e animais às partes vivas do sistema, falhas de equipamento e erro humano.

Visando reduzir o desligamento dos alimentadores de distribuição são tomadas várias ações preventivas, dentre as quais se destacam a instalações de pára-raios, podas de árvores, instalação de proteção contra animais e manutenção de equipamentos. Tais medidas preventivas não eliminam todas as ocorrências de faltas e assim, dispositivos de proteção são instalados para detectarem estas faltas e isolar a seção do circuito de distribuição. Dispositivos

de proteção previnem ou minimizam os riscos para equipamentos do sistema, melhoram a confiabilidade e a qualidade do serviço prestado aos consumidores e aumento de faturamento para a concessionária de energia elétrica.

Em geral, a proteção de um sistema de distribuição consiste de um disjuntor na S/E com religadores de linhas, seccionadores e fusíveis ao longo do alimentador e sobre as derivações.

2.5 Características da Proteção Elétrica

Um sistema de proteção básico necessita possuir sensibilidade, seletividade, confiabilidade, velocidade, baixo custo e manutenibilidade.

Sensibilidade é a capacidade da proteção de cobrir a maior parte possível do circuito e detectar pequenos defeitos (anormalidades).

Seletividade é a capacidade de manter o mais contínuo possível o fornecimento de energia, protegendo o sistema e isolando o defeito.

Confiabilidade é a habilidade do sistema de proteção atuar de forma correta e quando realmente necessário, evitando atuações indevidas.

Velocidade é a característica que garante que uma adequada proteção irá atuar o mais rápido possível isolando o defeito.

Economia é um requisito levado em conta na relação custo x benefício ao se escolher um relé de proteção.

Mantenabilidade é a capacidade do sistema de ter sua manutenção rápida e precisa.

2.6 Conceitos Básicos no Estudo de Coordenação e Ajuste em Sistema de Proteção

O objetivo desta seção é inicialmente avaliar os principais conceitos pertinentes ao estudo clássico da proteção de um sistema de distribuição primária, bem como estudar a coordenação entre os equipamentos utilizados para tal.

A análise de coordenação entre os dispositivos de proteção é muito ampla e extensa apresentando diversas combinações e topologias (MAMEDE FILHO, 1994). Serão ilustradas aquelas de maior interesse que servirão como embasamento teórico para a aplicação prática a ser implementada no capítulo 4 do presente trabalho.

Segundo (JUNIOR PARADELO, 2006) para o melhor entendimento dos itens subsequentes se faz necessário o conhecimento dos seguintes termos:

a) Zona de proteção primária: Corresponde aos trechos de rede situados a jusante da instalação de um determinado dispositivo de proteção, onde na ocorrência de um defeito qualquer (temporário ou permanente), o dispositivo resultará sensibilizado.

b) Defeito temporário: São defeitos causados na rede de distribuição oriundos de fatores externos, tais como umidade, vento, chuva, salinidade, galhos de árvores, neve. Em outras palavras, ocorre na rede um curto circuito sem haver um defeito físico na mesma.

c) Defeito permanente: São os defeitos que ocorrem na rede de distribuição e que necessitam de um reparo para haver o restabelecimento do circuito.

d) Coordenação ou seletividade: Dois dispositivos de proteção estão coordenados, quando na ocorrência de um defeito, haver primeiramente a atuação daquele que estiver mais próximo do ponto de defeito. De acordo com a Figura 2.6, na ocorrência de um defeito no ponto A, o dispositivo mais próximo (D1) deverá atuar e isolar o trecho de rede defeituoso. Nestas condições, o restante do alimentador continuará energizado e alimentando os demais trechos de rede que não apresentam defeito.

e) Proteção de Retaguarda: É o dispositivo de proteção que está situado a montante daquele que está instalado na zona de proteção primária. Na Figura 2.6, para um defeito no ponto A, a proteção primária corresponde ao dispositivo D1 e a proteção de retaguarda corresponde ao dispositivo D4.

f) Tempo de rearme: É o tempo que um dispositivo automático leva para retornar a sua posição de repouso. No caso dos relés digitais, corresponde ao tempo que ele leva para voltar a condição de repouso após um comando de *reset*. Já para os seccionadores é o tempo que o equipamento leva para zerar as contagens realizadas e finalmente para um religador é o tempo que ele leva para retornar a contagem zero do número de ciclos de religamento, após uma seqüência completa ou incompleta de operações do mesmo.

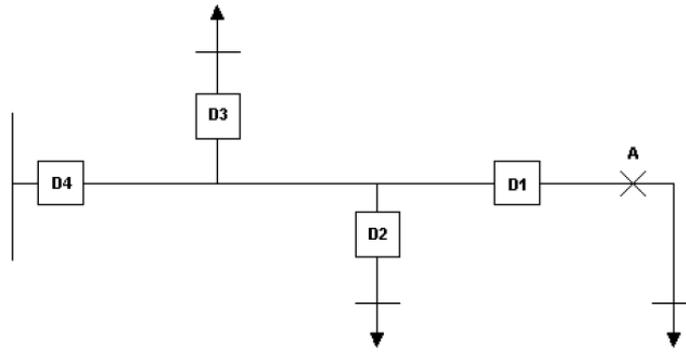


Figura 2. 6: Definição do conceito de coordenação ou seletividade.

- g) **Pick-up:** É entendido por *pick-up* o valor de corrente/tensão que sensibiliza a proteção, causando o início da operação em relés eletrônicos e digitais, ou causando a partida dos contatos móveis em relés eletromecânicos; o valor de *pick-up* é o valor determinado para o relé operar.
- h) **Trip:** É denominado tripe ou disparo, o momento em que o relé de proteção fecha seus contatos de saída quando da manutenção da corrente de falta por um determinado tempo, definido por uma curva necessária para essa atuação.
- i) **Drop-out:** É chamado *drop-out* o retorno dos contatos a sua posição de repouso após sua atuação. Esse retorno só é possível após cessar a corrente de falta.

2.7 Funções de Proteção

Os relés têm as suas funções de proteção identificadas por números, de acordo com a *American National Standards Institute* (ANSI). A lista vai de 1 a 99, e em alguns casos após o número da proteção existe uma ou duas letras representando uma característica adicional da proteção.

Para diferenciar as diversas funções de relés de proteção as normas IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*)/ANSI (*American National Standards Institute*) de origem Americana e a norma IEC (*International Electrotechnical Commission*) de origem Européia criaram e padronizaram diferentes símbolos para descrever funções em diagramas e esquemas de proteção. Neste trabalho serão utilizados códigos de funções de proteção padrão IEEE/ANSI.

A Tabela 2.2 apresenta as principais funções de proteção dos relés utilizados nos sistemas elétricos das subestações distribuidoras (CAMINHA, 1981).

Tabela 2. 2: Principais funções de proteção aplicadas em SE distribuidora

Função	Descrição
50	Sobrecorrente instantânea de fase;
51	Sobrecorrente temporizada de fase;
50N	Sobrecorrente instantânea de neutro;
51N	Sobrecorrente temporizada de neutro;
50/51NS	Sobrecorrente neutro sensível;
46	Sobrecorrente de seqüência negativa;
67	Sobrecorrente direcional de fase;
67N	Sobrecorrente direcional de neutro;
21	Proteção de distância;
27	Sub-tensão;
59	Sobre-tensão;
79	Religamento;
50BF	Falha do disjuntor;
51G	Sobrecorrente de terra;
87	Diferencial;
61	Desequilíbrio de corrente;
63	Relé de gás do transformador de potência;
63A	Válvula de alívio de pressão do transformador de potência;
80	Relé sobre-pressão do comutador de derivação sob carga;
49	Temperatura do enrolamento do transformador;
26	Relé temperatura do óleo do transformador;
71	Relé de nível de óleo;
43	Transferência da proteção.

86	Relé de bloqueio
----	------------------

2.8 Critérios Gerais de Proteção para Subestações

Os relés de proteção, em geral, funcionam a partir da medição das grandezas do sistema elétrico tensão e corrente. Os sinais analógicos de corrente são medidos pelos relés através dos transformadores de corrente (TC's), e os sinais analógicos de tensão medidos através dos transformadores de potencial (TP's). Os sinais analógicos medidos são analisados e comparados com valores pré-ajustados nos relés. Caso os sinais medidos alcancem os valores pré-definidos nos relés e o tempo previsto para atuação, o relé envia um sinal de abertura (*trip*) para o disjuntor associado e este isola a área afetada pela falta. Quando ocorre uma falha no sistema de proteção, tal como falha do disjuntor ou falha no relé ou na coordenação da proteção do sistema, o relé de retaguarda deve atuar eliminando a falta.

Nos vãos protegidos através de disjuntores principal e de transferência, a atuação da proteção ocorre através de uma função de transferência da proteção (função 43). A função de transferência da proteção pode assumir um dos seguintes estados: Normal (N), em transferência (ET) e transferida (T). Se o comando de abertura enviado pelo relé encontra a função 43 no estado N, o relé atua diretamente sobre o disjuntor principal. Caso a função 43 esteja na posição ET, o sinal de abertura é enviado para o disjuntor principal e para o disjuntor de transferência, e quando a função 43 está na posição T, o sinal enviado comanda a abertura somente do disjuntor de transferência.

2.8.1 Filosofia de Proteção das Entradas de Linha das SE's

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).

2.8.2 Filosofia de Proteção das Saídas de Linha das SE's

O sistema de proteção adotado nas saídas de linhas de 72,5kV, das SEs de pequeno e grande porte deve contemplar um conjunto de 3 TCs instalados fora da zona de *by-pass*, um

conjunto de 3 TPs instalados na barra de 72,5kV, 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), 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 sobrecorrente de seqüência negativa I2/I1 (46A), função de religamento (79), função de falha do disjuntor (50BF). Outras funções podem ser habilitadas neste relé, caso a área de estudo da proteção e operação do sistema considere conveniente.

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.

2.8.3 Filosofia de Proteção do Vão de Transformação

Os transformadores de potência das SEs de pequeno e grande porte são protegidos através das proteções intrínsecas (funções 26 – relé de temperatura do óleo, 49 – relé de temperatura do enrolamento, 63 – relé de gás, 63A - válvula de alívio de pressão, 71- relé de nível do óleo e 80- relé de sobrepressão do CDC (Comutador de Derivação sob Carga) que fazem parte do projeto do transformador e através de relés diferenciais e sobrecorrente multifunção baseados em microprocessadores.

2.8.4 Filosofia de Proteção da Barra de 15kV

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.

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, função de sobrecorrente instantânea (50N) e temporizada (51N) de neutro e a função de falha do disjuntor (50BF).

A função de sobrecorrente instantânea de fase (50) ou de neutro (50N) deste relé deve ser inibida através de um esquema de seletividade lógica (SL), sempre que houver atuação da

função de sobrecorrente instantânea de fase (50) ou de neutro (50N) dos relés de alimentadores ou banco de capacitores.

A função falha de disjuntor (50BF) do relé multifunção deve enviar sinal de *trip* para o disjuntor principal e/ou transferência da alta tensão através das funções de transferência da proteção existente no lado de alta tensão do transformador.

2.8.5 Filosofia de Proteção de Alimentador das SE's

O relé de saída de alimentadores deve conter, no mínimo, as seguintes funções de proteção: sobrecorrente instantânea (50) e temporizada (51) de fase, função de sobrecorrente instantânea (50N) e temporizada (51N) de neutro, funções de neutro sensível (50/51NS), função de sobrecorrente de seqüência negativa I2 com direcionalidade (46) e função de sobrecorrente de seqüência negativa I2/I1 (46A), função de subtensão (27), função de religamento (79) e a função de falha do disjuntor (50BF).

A Tabela 2.3 mostra um resumo dos vãos de uma subestação típica e as funções de proteção mínimas associadas a cada vão.

Tabela 2. 3: 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

Neste capítulo foram apresentados os conceitos básicos sobre sistemas de proteção de sistemas elétricos de potência, os critérios e filosofias de proteção de cada vão de uma subestação segundo padrão Coelce que serviram de base para a modelagem do simulador de treinamento STOP.

3.1 Introdução

Neste capítulo são apresentados os critérios de ajustes das funções de proteção utilizados no simulador para treinamento de proteção e operação.

Os relés de proteção são equipamentos responsáveis pelo gerenciamento e monitoramento das grandezas elétricas em um determinado circuito. A sua função principal é enviar um sinal de disparo, através de um contato seco, para uma bobina de abertura ou de mínima tensão dos disjuntores associados. A Figura 3.1 mostra a associação entre um relé de proteção e um disjuntor.

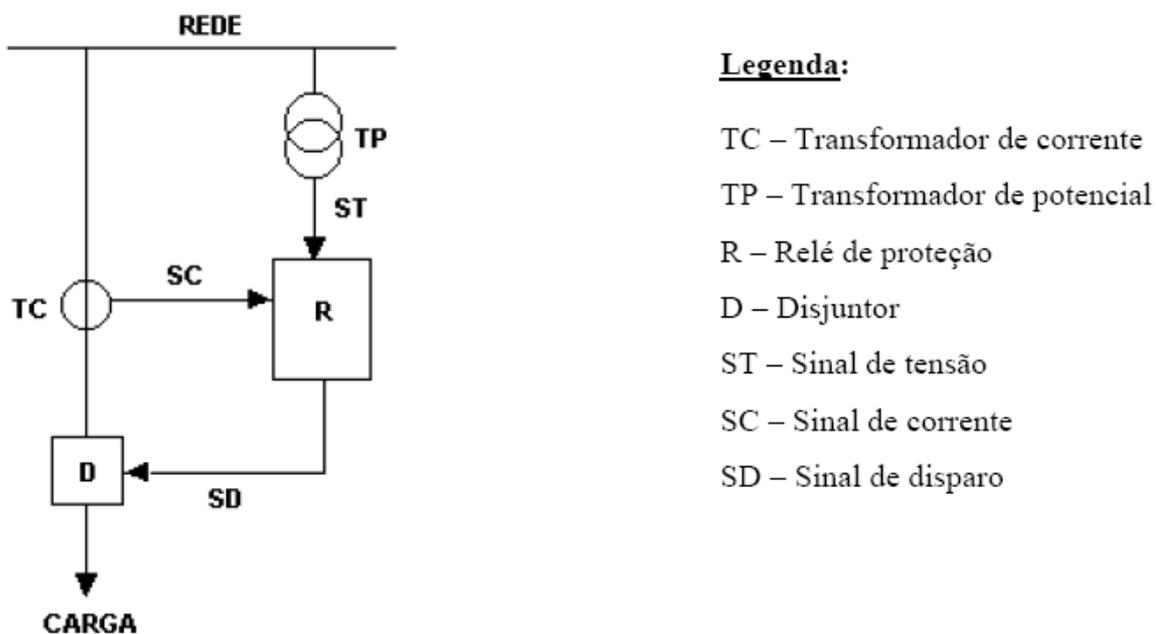


Figura 3. 1: Associação entre relé e disjuntor.

Esta associação a qual se refere à Figura 3.1 foi um dos principais focos utilizados no simulador de proteção no diversos diagramas unifilares existentes no programa. Os detalhes das funções de proteção serão abordados nos itens seguintes.

3.2 Sobrecorrente Instantânea e Temporizada de Fase (50/51)

A função de sobrecorrente de fase consiste em avaliar se a corrente passante pelo circuito no qual o relé está instalado ultrapassa um valor de referência, dentro de uma característica de tempo específica. Caso esta condição ocorra, o relé enviará através de um contato seco uma ordem de abertura para os disjuntores correspondentes.

Na Figura 3.2 tem-se um exemplo do esquema de proteção das funções 50/51 de fase e de neutro da saída de um alimentador radial. Os relés enviam sinal para o disjuntor 52.

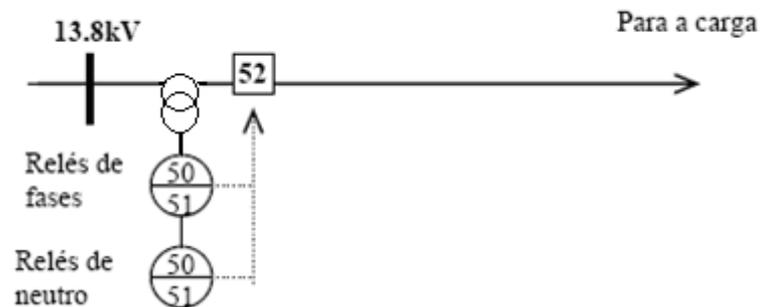


Figura 3. 2: Diagrama unifilar do esquema de proteção da saída de um alimentador radial.

Os ajustes da proteção de sobrecorrente são subdivididos em elementos, onde em cada um deles são ajustados: a corrente de atuação, o tipo de curva característica e o dial de tempo. As curvas características são padronizadas de acordo com a *International Electrotechnical Commission 255-3* (IEC 255-3, 1992), em normal inversa, muito inversa, extremamente inversa, tempo longo inverso e moderadamente inversa. As mais utilizadas são as curvas IEC normal inversa, muito inversa e extremamente inversa.

A equação padrão para as curvas normal inversa, muito inversa, extremamente inversa, de acordo com IEC 255-3 é dada pela Equação (3.1).

$$T = k \frac{\beta}{M^{\alpha - 1}}, \quad (3.1)$$

em que:

T = Tempo de disparo ou tempo de operação do relé em função da corrente passante (s)

k = Multiplicador (Índice de tempo ou dial) – Normalmente varia de 0.05 a 1

M = Múltiplo = $I_{cc} / I_{pick-up}$

- I_{cc} = Corrente de curto circuito passante em (A)
- α e β Constantes e variam de acordo com o tipo de curva, conforme IEC 255-3 e determinam a inclinação da característica do relé

Exemplos das constantes α e β são apresentados na Tabela 3.1 para as curvas inversas.

Tabela 3. 1: Constantes α e β para as curvas inversas, conforme IEC 255-3.

Tipo de curva	α	β
Normal inversa (NI)	0.02	0.14
Extremamente inversa (EI)	2.00	80.0
Muito Inversa (MI)	1.00	13.5

A relação entre os parâmetros α e β define o multiplicador ou dial de tempo da curva de atuação ajustada.

Para as unidades de tempo definido (TD), o ajuste do dial corresponde ao tempo de operação quando a corrente passante pelo circuito primário atingir o seu respectivo valor de atuação. Assim sendo, a Equação (3.1) é válida somente para as curvas inversas.

As curvas características dos ajustes efetuados nos 4 elementos de sobrecorrente, NI, EI, MI e TD são apresentadas na Figura 3.3.

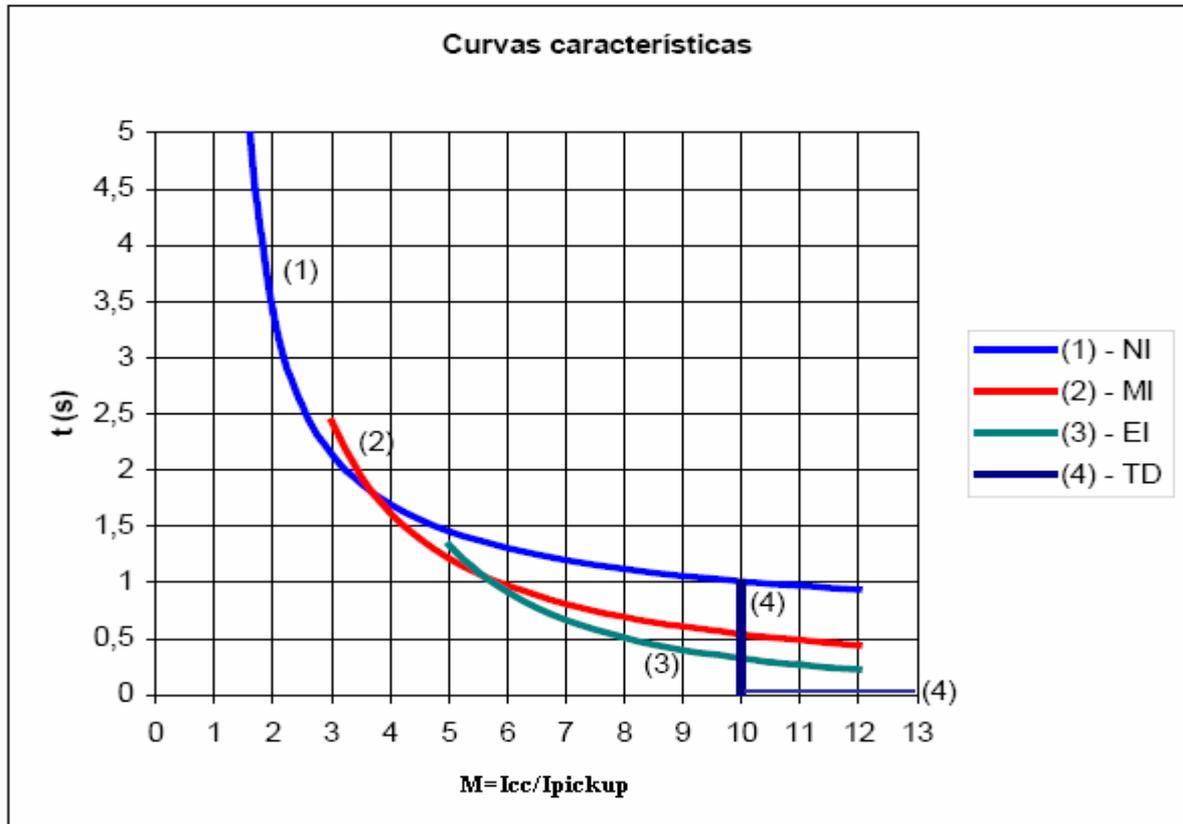


Figura 3. 3:Exemplo de aplicação dos elementos de sobrecorrente.

Legenda:

NI - Curva normal inversa

MI - Curva muito inversa

EI - Curva extremamente inversa

TD - Tempo definido

Pelas curvas acima, desenhadas em um mesmo gráfico, observa-se que no intervalo entre $1,5 \leq M < 3,7$ a proteção será atuada pelo elemento 1. Já no intervalo de $3,7 \leq M < 5,5$ a atuação da proteção ocorrerá pelo elemento 2. Para relações de M entre 5,5 e 10, a atuação ocorrerá pelo elemento 3 e, finalmente, para correntes maiores do que 10 vezes a corrente de atuação, a unidade instantânea será a responsável pela operação.

3.3 Sobrecorrente Instantânea e Temporizada de Neutro (terra) 50/51N

A função de sobrecorrente de neutro (terra) segue o mesmo princípio da proteção de fase. Quando o valor da corrente de neutro ultrapassar o valor de atuação, dentro de uma

determinada característica de tempo em função da corrente, o relé será disparado, abrindo o disjuntor. Os parâmetros ajustados e os tipos de curvas disponíveis são iguais aos apresentados para a proteção de fase.

A ligação da unidade de neutro é feita de tal forma que os pontos comuns dos três transformadores de corrente, e o ponto comum na entrada do relé resultem em uma conexão residual.

3.4 Religamento Automático (79)

Religador é um dispositivo interruptor automático, que abre e fecha seus contatos, repetidas vezes na eventualidade de uma falha do circuito por ele protegido.

O religador é um equipamento de proteção a sobrecorrentes utilizado em circuitos aéreos de distribuição que opera quando detecta correntes de curto circuito, desligando e religando automaticamente os circuitos um número predeterminado de vezes. Quando o religador sente uma sobrecorrente, os contatos são abertos durante um determinado tempo, chamado tempo de religamento ou tempo morto, após o qual se fecham automaticamente para reenergização da linha. Se a sobrecorrente persistir, a seqüência de abertura e fechamento dos contatos é repetida até três vezes consecutivas, e após a quarta abertura, os contatos ficam abertos e travados.

As operações de um religador podem ser combinadas nas seguintes seqüências, em caso de ajustado para quatro operações:

- uma rápida e três retardadas;
- duas rápidas e duas retardadas;
- três rápidas e uma retardada;
- todas rápidas;
- todas retardadas.

Para ilustrar o funcionamento do religamento serão usados exemplos e aplicações extraídas de um relé de proteção digital microprocessado.

A unidade de religamento é acionada quando ocorre o disparo das unidades de proteção de sobrecorrente de fase e de terra. É possível ser ajustado no relé de proteção qual função

será a responsável pela ativação dos ciclos de religamento. Ou seja, é possível definir, por exemplo, que o primeiro ciclo de religamento será ativado pela unidade de sobrecorrente instantânea de fase e que os demais ciclos serão ativados pela unidade de sobrecorrente temporizada de fase. Analogamente o mesmo comentário pode ser estendido às unidades de neutro, ou de terra de alta sensibilidade.

Além do ajuste definindo qual unidade de proteção ativar um determinado ciclo de religamento, ajusta-se também o número de ciclos ou de tentativas de religamento, sendo o mínimo de 1 e o máximo de 4 ciclos. O tempo morto também é ajustado, sendo que o intervalo típico de ajuste está entre 0,1 e 300 s (SCHNEIDER, 2003).

Existe também o ajuste do tempo de recuperação, que corresponde ao intervalo de tempo no qual a unidade de proteção, após o fechamento do disjuntor via função de religamento, verifica se a falta ainda está presente ou não. Se a falta não aparecer mais neste intervalo, ela é considerada sanada, mas se ela persistir, o próximo ciclo de religamento é ativado ou ocorrerá a abertura definitiva do alimentador no caso de ser este o último ciclo de religamento.

A título ilustrativo é mostrada na Tabela 3.2 os ajustes de proteção efetuados no relé de proteção modelo Sepam 1000 plus S41 de fabricação Merlin Gerin / Schneider Electric, onde é possível identificar o comportamento da função de religamento (SCHNEIDER, 2003).

Tabela 3. 2:Ajustes de proteção efetuados para o relé de religamento.

Parâmetros	Ajustes
Corrente de atuação da sobrecorrente de fase	800 A
Curva Característica	Tempo definido
Tempo de atuação	Instantâneo – 0
Número de ciclos de religamento	4
Ativação do religamento	Sobrecorrente instantânea de fase
Tempo morto do 1º ciclo de religamento	1,0 s
Tempo morto do 2º ciclo de religamento	2,0 s
Tempo morto do 3º ciclo de religamento	2,0 s
Tempo morto do 4º ciclo de religamento	2,0 s

Tempo de recuperação	0
----------------------	---

Para melhor entendimento, considere-se o religador da Figura. 3.4, ajustado para operar de acordo com as curvas INST. 1 e RET. 2 (Figura. 3.6) e com a seqüência de 2 disparos rápidos (instantâneos) seguidos por 1 lento (temporizado), conforme a Figura. 3.5, onde: t_{R1} e t_{R2} , são os intervalos de religamentos previamente ajustados (tempos de religamentos) e t_{I1} e t_{2T} , são os tempos de disparos (tempos de desligamentos). Os tempos t_{I1} e t_{2T} são obtidos das curvas INST. 1 e RET. 2 (Figura. 3.6), para a corrente de curto-circuito (I_{FALTA}).

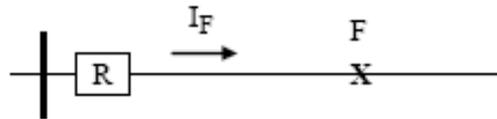


Figura 3. 4:Religador instalado na saída do alimentador na S/E.

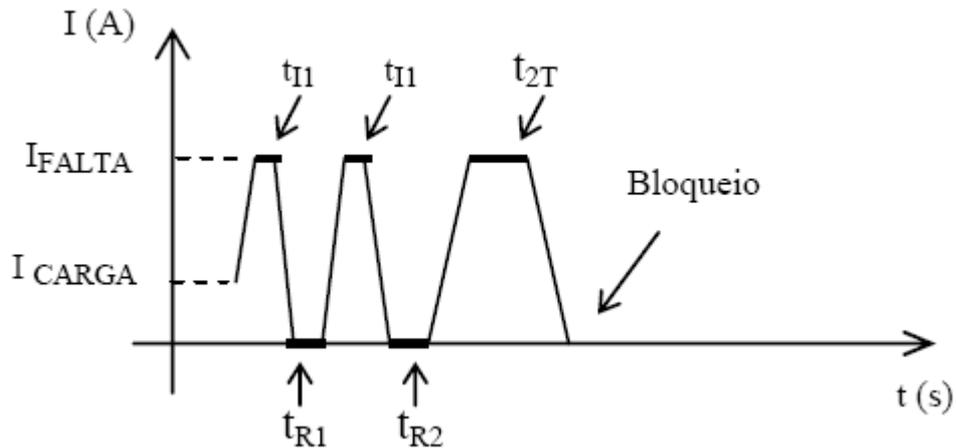


Figura 3. 5:Seqüência de operação: 2 rápidas + 1 retardada.

Se a falta for permanente, o religador desenvolverá a seqüência completa, isto é, realizará 3 religamentos e 4 disparos. Após o quarto disparo, permanecerá aberto até receber o comando de fechamento, local ou remotamente. Se a falta desaparecer antes do último desligamento, o religador não bloqueará o circuito e, dentro de certo intervalo de tempo

(tempo de rearme ou de ressete ou de restabelecimento), da ordem de segundos, rearmará ou restabelecerá, ficando preparado para realizar novamente a seqüência que está ajustada. Na maioria dos religadores este tempo é ajustado previamente.

A implementação dessa função no STOP poderá ser observada no capítulo 4, onde o usuário poderá treinar a configuração básica de um religador e verificar a atuação no mesmo com os efeitos visuais que o simulador oferece para um melhor entendimento do assunto.

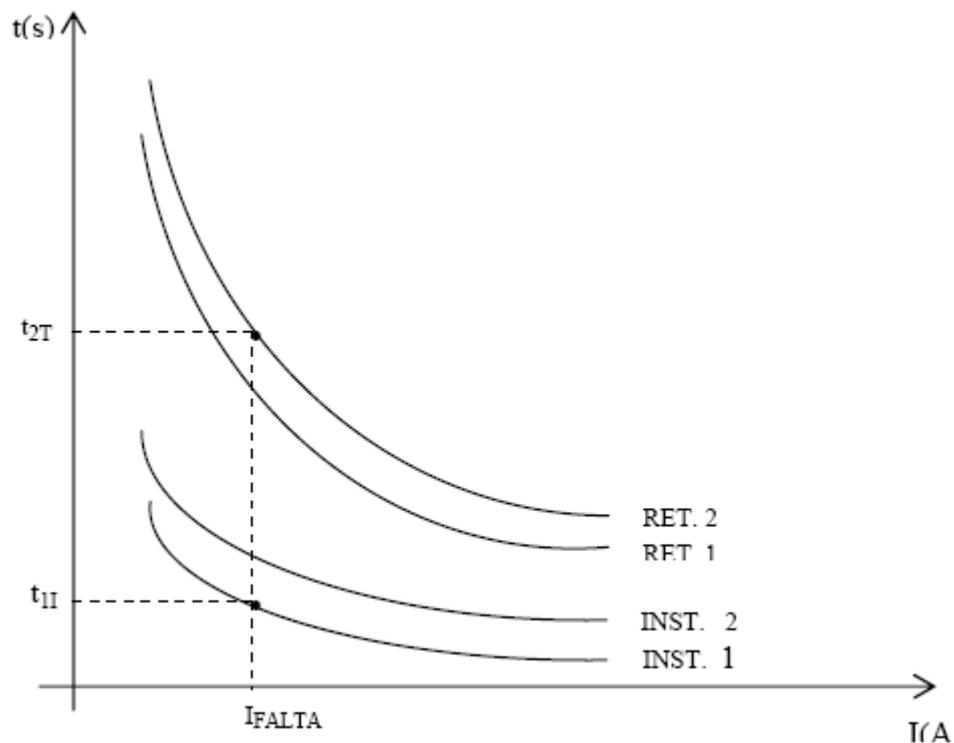


Figura 3. 6:Curvas características de religador: tempos dependentes.

3.5 Seccionalizadores

Os seccionalizadores são dispositivos projetados para operarem em conjunto com um religador, ou com um disjuntor comandado por relés de sobrecorrente dotados da função de religamento (função 79). Portanto, devem ser ligados a jusante destes equipamentos, conforme pode ser observado na Fig. 3.7.

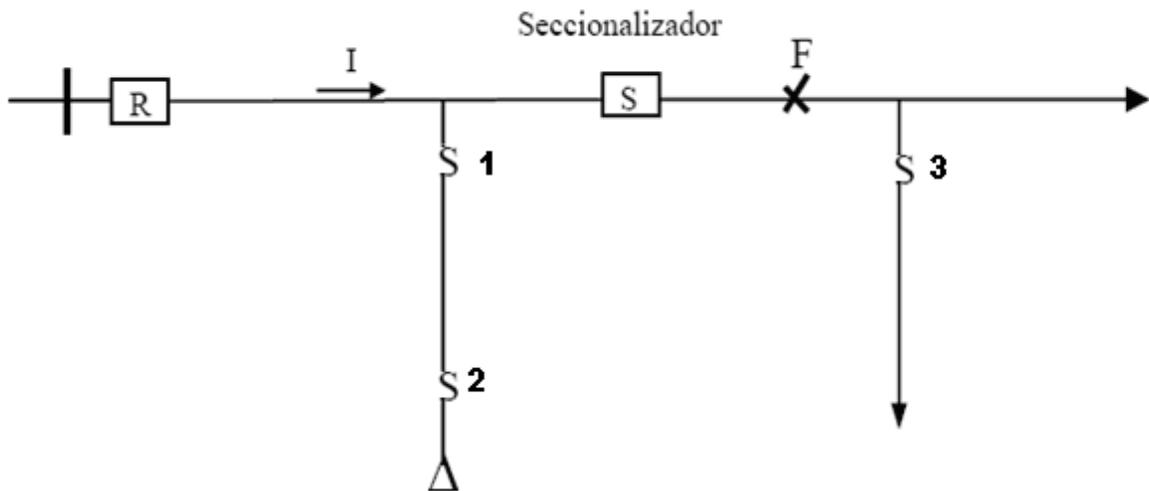


Figura 3. 7:Seccionizador ligado a jusante do religador.

Para melhor esclarecimento, considerem-se as seguintes condições para o circuito representado na Figura 3.7: uma falta permanente F , na zona de proteção do religador e do seccionizador, o religador está ajustado para quatro disparos, e o seccionizador está ajustado para três contagens. Portanto, o seccionizador deverá isolar a área defeituosa (toda a área a jusante), logo após o religador efetuar o terceiro desligamento conforme Figura 3.8.

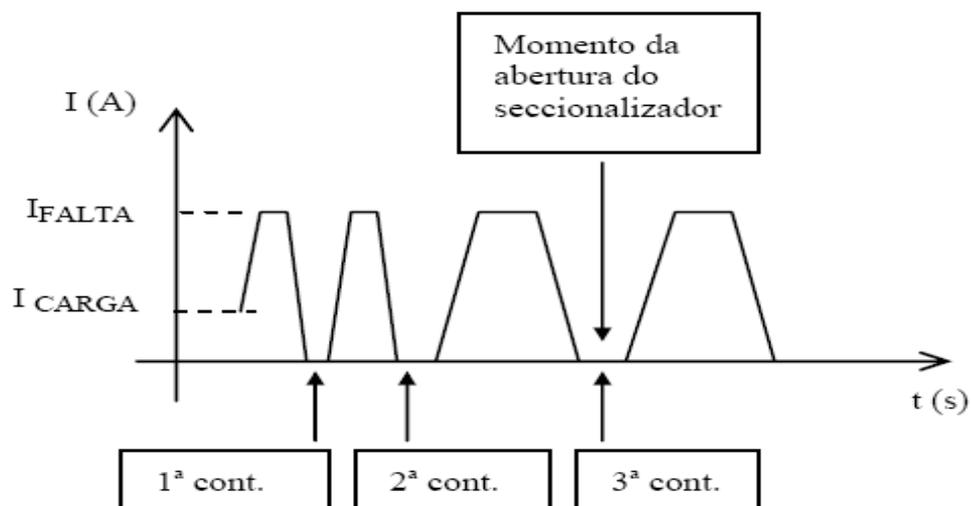


Figura 3. 8:Princípio de coordenação religador x seccionizador.

É importante observar, conforme foi dito anteriormente, que no momento da abertura do seccionizador (após a terceira contagem), o circuito está desenergizado pelo religador. Portanto, o mesmo irá limpar a área defeituosa sem a necessidade de interromper a corrente de curto-circuito. Isto é um artifício bastante inteligente, pois, não é necessário dotar o seccionizador de alta capacidade de interrupção de curto-circuito, o que o torna mais barato do que um religador ou disjuntor.

3.6 Proteção contra falha de disjuntor (50BF)

No caso da ocorrência de um defeito em uma rede primária, os relés de sobrecorrente irão ser sensibilizados, enviando um sinal de disparo no disjuntor a ele associado.

Porém, caso exista uma falha de operação do referido disjuntor e o mesmo não execute o comando de abertura, a função de falha de disjuntor entra em ação, enviando um sinal de disparo para os disjuntores adjacentes situados a montante. Com isto, no caso de uma falha do disjuntor situado mais próximo do ponto de defeito, o sinal de disparo enviado aos disjuntores de retaguarda provocará a abertura dos mesmos, eliminando assim o defeito no alimentador.

No exemplo da Figura 3.9, há a ocorrência de um defeito no ponto F sendo sensibilizada a função de sobrecorrente que manda o sinal de disparo SD3 para o disjuntor D3, que falha e não abre o circuito. A unidade de falha de disjuntor do relé R é sensibilizada e envia os sinais de disparo SD1, SD2 para os disjuntores D1 e D2, respectivamente, situados a montante. Se, por exemplo, forem ajustados o tempo da proteção da sobrecorrente de fase do disjuntor D3 em 0,3 s, o tempo da função falha de disjuntor em 0,2 s e o tempo dos disjuntores D1 e D2 igual a 0,6 s, no caso de falha do disjuntor D3, os disjuntores D1 e D2 abrirão em 0,5 s (0,3 s do D3 mais 0,2 s da função falha de disjuntor). Isto representa um ganho no tempo de abertura dos disjuntores D1 e D2, na condição de falha do disjuntor D3. Ou seja, sem a função falha de disjuntor, os disjuntores D1 e D2 abririam após 0,6 s da ocorrência da falta, mas com a implementação desta função, este tempo sofre uma redução de 0,1 s, que em termos de proteção é muito bom.

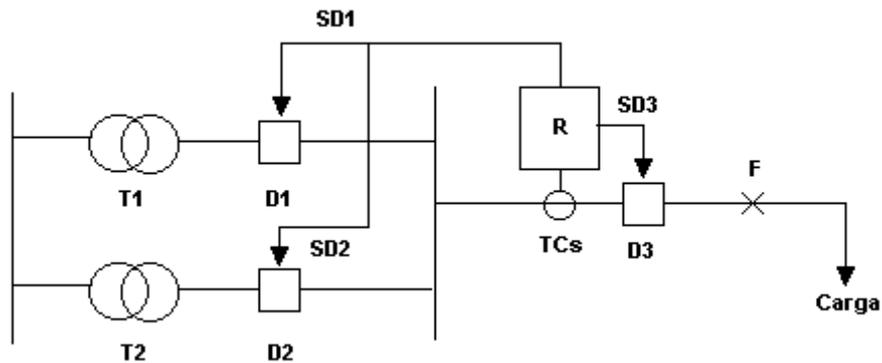


Figura 3. 9:Aplicação da função falha de disjuntor.

Legenda:

- T1 – Transformador 1
- T2 – Transformador 2
- D1 – Disjuntor instalado no secundário do transformador T1
- D2 – Disjuntor instalado no secundário do transformador T2
- D3 – Disjuntor para a proteção do alimentador
- F – Ponto de defeito
- R – Relé de Proteção
- TCs – Transformadores de corrente
- SD1 – Sinal de disparo enviado ao disjuntor D1
- SD2 – Sinal de disparo enviado ao disjuntor D2
- SD3 – Sinal de disparo enviado ao disjuntor D3

3.7 Critérios de Ajustes e Coordenação

As seguintes equações retiradas dos critérios de projetos utilizados pela Coelce foram utilizadas no simulador de treinamento como modelagem dos parâmetros dos diversos equipamentos que compõem uma subestação de energia típica e que foram implementados no simulador.

Todos os valores constantes nas equações dos critérios de ajuste das funções de proteção são baseados nos valores usados pela experiência dos profissionais da Coelce. Lembrando que esses valores podem ser alterados no simulador a qualquer momento pelo usuário.

3.7.1 Margem de Ajuste

Margem de coordenação é o tempo necessário para que o sistema primário de proteção possa atuar normalmente, antes que a proteção de retaguarda atue.

A margem utilizada como valor padrão no simulador foi 0,3s, mas que pode ser alterada a qualquer momento pelo usuário.

3.7.2 Relé de Sobrecorrente dos Alimentadores

Os critérios de ajustes da proteção dos itens seguintes foram utilizados para os alimentadores de 13,8kV representados no diagrama unifilar de proteção que poderá ser observado no capítulo 4.

a) Critérios para o cálculo do ajuste da função 51

- $TAP = (1,5 \times I_{\text{carga máxima do alimentador}})/RTC$
- $I_{\text{pick-up}} = TAP \times RTC$
- $\text{Múltiplo} = (I_{\text{cc trifásico na barra 13,8 kV}}) / I_{\text{pick-up}}$
- Tempo de operação = 0,18s

Este tempo de operação não inclui o tempo referente a margem de coordenação, sendo apenas o tempo de operação do relé.

b) Critérios para o cálculo do ajuste da Função 50

- $TAP = (5 \times I_{\text{pick-up da função 51}})/RTC$.
- $TAP = (50\% I_{\text{cc } 3\phi \text{ max. na barra 13,8 kV}})/RTC$
- Escolher o menor TAP.
- $I_{\text{pick-up}} = TAP \times RTC$
- Tempo de operação = 0 s seletividade lógica ativada.

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

- Pela corrente de carga:
- $TAP \geq (0,3 \times I_{\text{carga máxima}})/RTC$
- Pela menor sensibilidade - Define $I_{\text{pick-up}} = 30 \text{ A}$:
- $TAP = 30/RTC$
- $\text{Múltiplo} = (I_{\text{cc monofásico na barra 13,8 kV}}) / I_{\text{pick-up}}$
- Tempo de operação = 0,18 s

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

- $TAP = (5 \times I_{\text{pick-up da função 51N}})/RTC$.
- $\text{Múltiplo} = (I_{\text{cc monofásico na barra 13,8 kV}}) / I_{\text{pick-up}}$

- Tempo de operação = 0 s seletividade lógica ativada.

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

- Pela menor sensibilidade - Defina $I_{pick-up} = 15$ A: (valor baseado na experiência dos colaboradores da Coelce)
- $TAP = 15/RTC$.
- Tempo definido = 60 s.

f) Critérios para ajuste da função de religamento (79)

Ajustar para:

- um religamento instantâneo $t=0s$ e bloqueio da função instantânea após religamento.
- um religamento temporizado $t=2s$

Todos esses parâmetros foram utilizados como campos de entrada nas telas do simulador e que são processados internamente e de onde são tomadas as decisões para que o sistema tome as devidas medidas e possa informar e interagir com o usuário.

3.7.3 Relé do Lado de BT do Transformador – Sobrecorrente

Este item trata dos critérios de ajuste de proteção utilizados no relé do lado de Baixa Tensão BT (13,8kV) do transformador representado no diagrama unifilar do simulador de proteção.

a) Critérios para o cálculo do ajuste da função 51

- $TAP = (1,5 \times I_{m\acute{a}xima \text{ no secund\acute{a}rio do transformador})/RTC$
- Corrente de Pick-up $I_{pick-up} = TAP \times RTC$
- Múltiplo = I_{cc} trifásico no secundário do transformador / $I_{pick-up}$
- Tempo de operação = margem de coordenação + tempo de operação do relé a jusante.

b) Critérios para o cálculo do ajuste da Função 50

- $TAP = (5 \times I_{pick-up} \text{ da função 51})/RTC$.
- $TAP = (50\% I_{cc} \text{ 3}\phi \text{ max. Local})/RTC$.
- Escolher o menor TAP.

- $I_{pick-up} = TAP \times RTC$
- Tempo de operação = 0,2s seletividade lógica ativada.

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

- Pela corrente de carga:
 - TAP = escolher o menor TAP do relé.
 - Múltiplo = $(I_{cc} \text{ monofásico no secundário do trafo}) / I_{pick-up}$
 - Tempo de operação = margem de coordenação + tempo de operação do relé a jusante.

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

- Pela corrente de carga:
 - TAP = $(5 \times I_{pick-up} \text{ da função 51N}) / RTC$.
 - Múltiplo = $(I_{cc} \text{ monofásico no secundário do trafo}) / I_{pick-up}$
 - Tempo de operação = 0,2s seletividade lógica ativada.

3.7.4 Relé de Sobrecorrente do Neutro do Transformador 51G

Este item trata dos critérios de ajuste de proteção utilizados no relé ligado do lado estrela aterrado do transformador representado no diagrama unifilar do simulador de proteção.

- TAP = $(I_{pick-up} \text{ da função 51N do relé do secundário do trafo}) / RTC$
- Múltiplo = $(I_{cc} \text{ monofásico no secundário do trafo}) / I_{pick-up}$
- Tempo de operação = margem de coordenação + tempo de operação do relé a jusante

3.7.5 Relé do Lado de AT do Transformador - Sobrecorrente

Este item trata dos critérios de ajuste de proteção utilizados no relé do lado de Alta Tensão AT (69kV) do transformador representado no diagrama unifilar do simulador de proteção.

a) Critérios para o cálculo do ajuste da função 51

- TAP = $[(I_{cc} \text{ trifásico no lado de 13,8 kV do trafo visto em 69 kV}) / RTT] / RTC$.
RTT=69/13,8=5

- $I_{pick-up} = TAP \times RTC$
- Múltiplo = $[(I_{cc} \text{ trifásico no lado de } 13,8 \text{ kV do trafo visto em } 69 \text{ kV}) / RTT] / I_{pick-up}$
- Tempo de operação = margem de coordenação + tempo de operação do relé a jusante.

b) Critérios para o cálculo do ajuste da Função 50

- $TAP = (5 \times I_{pick-up} \text{ da função } 51) / RTC$.

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

- $TAP = [(I_{cc} \text{ trifásico no lado de } 13,8 \text{ kV do trafo visto em } 69 \text{ kV}) / RTT] / RTC$.
 $RTT = 69 / 13,8 = 5$
- Corrente de Pick-up $I_{pick-up} = TAP \times RTC$
- Múltiplo = $[(I_{cc} \text{ monofásico no lado de } 13,8 \text{ kV do trafo visto em } 69 \text{ kV}) / RTT] / I_{pick-up}$
- $I_{cc} 1\phi$ (visto em 69kV) = $[(I_{cc} \text{ monofásico no lado de } 13,8 \text{ kV do trafo} / RTT) \times 0,58] / RTC$.

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

- $TAP = (I_{cc} \text{ monofásico na barra de } 69 \text{ kV}) / RTC$.

3.8 Seletividade Lógica

No item 2.5 do capítulo 2 foi dada uma definição de seletividade como sendo a capacidade de manter o fornecimento de energia o mais disponível possível, protegendo o sistema e isolando o defeito. A seletividade pode ser também definida como a aptidão de um sistema de proteção de detectar uma falta numa zona determinada de um sistema elétrico e provocar a abertura dos disjuntores apropriados para eliminar esta falta, com um mínimo de perturbação para a parte não-afetada do sistema (NBR 5460, 1996).

O termo seletividade lógica demonstra que o seu propósito é de que todos os relés em cascata possam ter suas unidades de proteção de sobrecorrente instantâneas habilitadas, sem que isso signifique perda de seletividade na atuação e eliminação da falta em um determinado circuito. O resultado é a diminuição do tempo de coordenação entre os relés e do tempo de eliminação da falta. Isso se tornou possível com a geração dos relés digitais microprocessados que possuem um tempo de resposta muito pequeno se comparado com relés das gerações anteriores como os eletromecânicos.

Na Figura 3.10 é dado um exemplo da atuação da seletividade lógica em um sistema elétrico. Considere os relés digitais R1, R2 e R3 associados aos seus respectivos disjuntores Disj. A, Disj B e Disj C, monitorando o sistema.

No caso de falta no alimentador protegido pelo disjuntor A, todos os relés são sensibilizados pela falta, mas se a seletividade lógica do relé R1 estiver ativa, ele envia um sinal de bloqueio para os relés R2 e R3 e o sinal de trip para o disjuntor A, isolando assim somente o ponto de falta, deixando o restante do sistema alimentado.

Este sistema de seletividade requer disjuntores equipados com unidades de disparo eletrônico, projetados para essa aplicação, junto com fios pilotos de interligação para troca de dados entre os disjuntores.

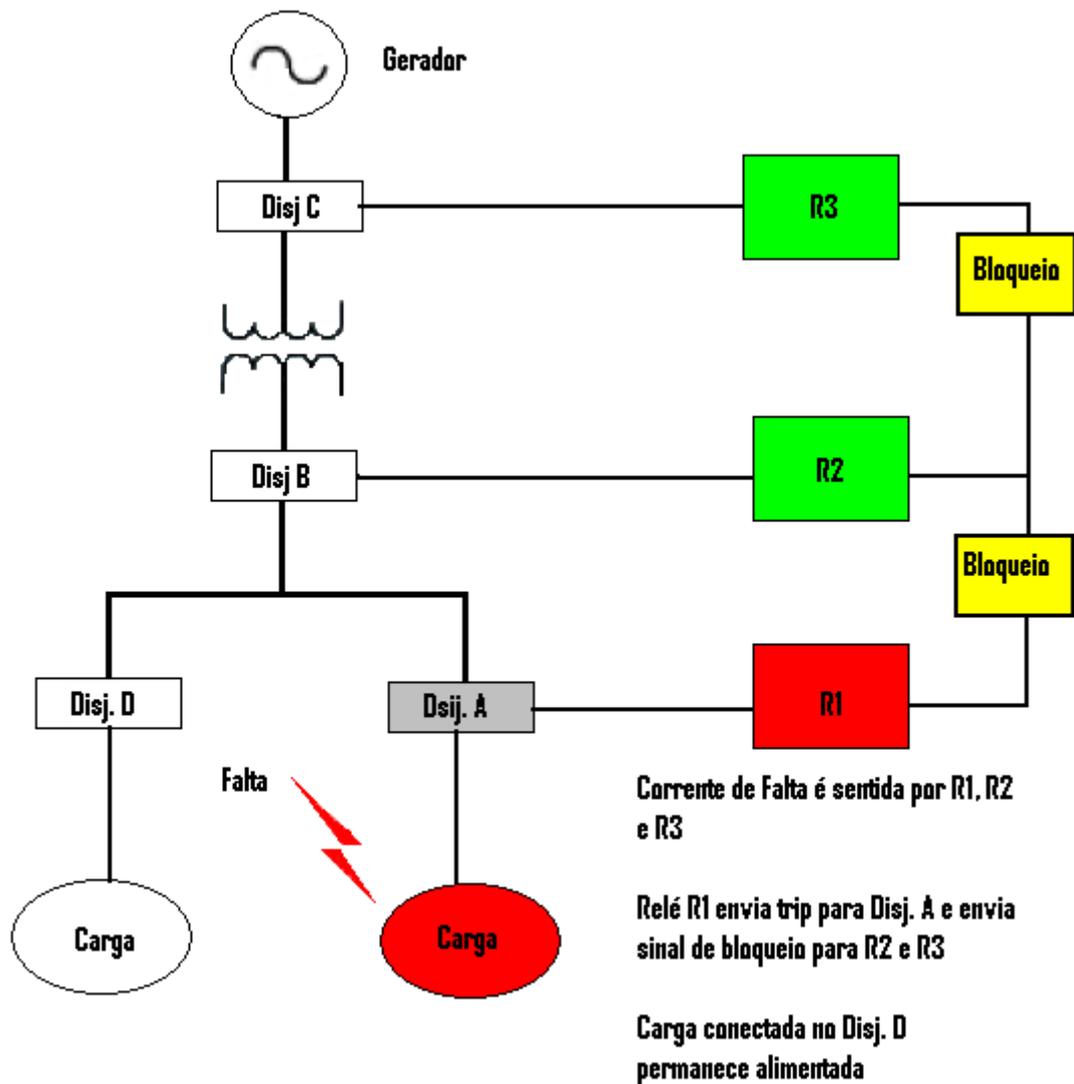


Figura 3. 10:Exemplo de aplicação da Seletividade lógica.

3.9 Sistema Digital de Automação (SDA)

Um importante conceito implementado no simulador de treinamento foi o conceito do Sistema Digital de Automação (SDA).

A arquitetura e organização funcional de um SDA devem ser baseadas e seguir uma orientação modular, aberta, flexível e robusta e de fácil expansão.

Na Figura 3.11 é apresentado um diagrama de bloco simplificado de um Sistema Digital para Automação de uma Subestação com os respectivos níveis funcionais.

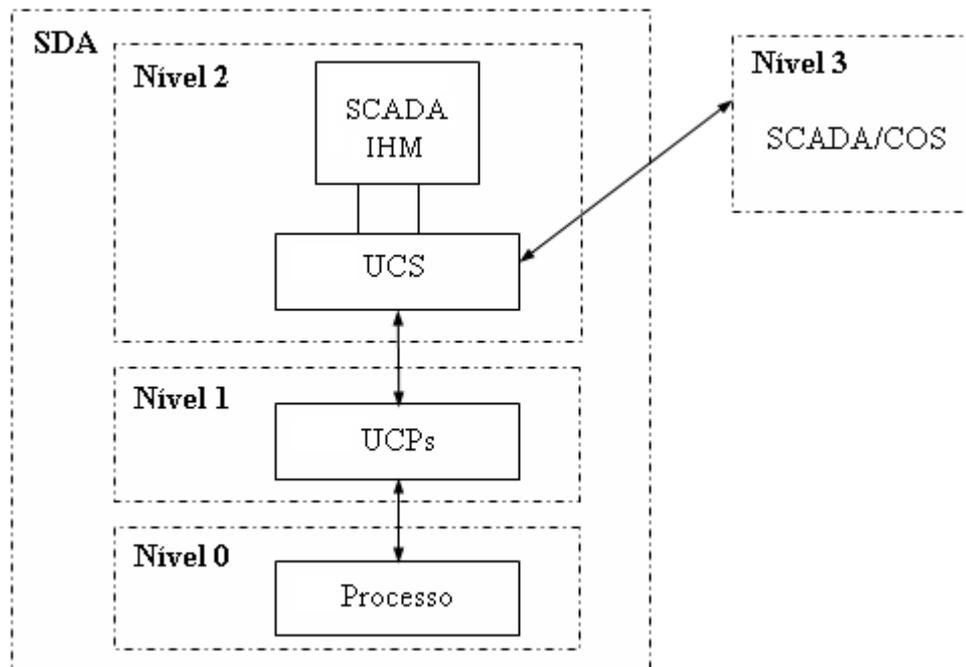


Figura 3. 11: Diagrama de Bloco da Hierarquia Funcional de um SDA para SE.

Os SDAs, conforme apresentado na Figura 3.11, são compostos de três níveis funcionais:

Nível 0 (processo - subestação). Composto pelos vãos, disjuntores e seccionadores.

Nível 1 (nível de unidade de controle de posição - UCP). Deve ser composto de um conjunto de UCPs, multifunção, tecnologia baseada em microprocessador, distribuídas e dedicadas a cada vão da SE, realizando aquisição dos dados provenientes do nível 0 e desempenhando as funções de proteção, comando, controle, automatismo, supervisão e comunicação com o nível 2.

Nível 2 (nível de UCS/IHM). Unidade de Controle da Subestação/Interface Homem Máquina. Este nível deve cumprir as funções de controlar e monitorar todos os componentes da subestação e realizar a comunicação local com o nível 1 e remota com o nível 3.

Nível 3: Sistema SCADA/EMS no Centro de Operação do Sistema – COS.

3.10 Cálculo de curto circuito pelo Método do MVA

Segundo (YUEN, 1975) e (CHEN, 1994), o método do MVA é simples e dispensa memorizar fórmula para resolver problemas de corrente de curto circuito em sistemas elétricos de potência.

O método consiste em considerar cada componente do sistema como sendo seu próprio barramento infinito, dividindo a potência em MVA do elemento pela sua impedância em pu. Ele é aplicado para analisar e especificar equipamentos de manobras e dispositivos de proteção da subestação considerando as demais partes do sistema.

Um sistema elétrico pode ser representado por impedâncias de seus respectivos componentes, tais como linhas, transformadores, geradores, capacitores, reatores e etc. Estes componentes pela configuração do sistema podem ficar em série ou em paralelo.

Nas seções 3.10.1 e 3.10.2 são apresentadas às equações para o cálculo da potência de curto circuito em MVA utilizando o Método do MVA.

3.10.1 Elementos em Série

A potência equivalente dos elementos em série representados por sua potência em MVA (Figura 3.12) é dada pela equação 3.2 análoga ao equivalente paralelo de impedâncias.

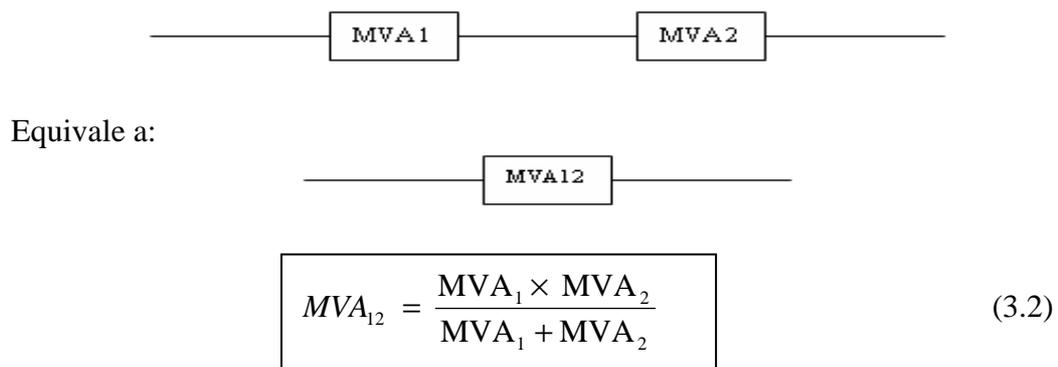


Figura 3. 12:Elementos em Série – Método MVA.

3.10.2 Elementos em Paralelo

A potência equivalente dos elementos em paralelo representados por sua potência em MVA (Figura 3.13) é dada pela equação 3.3, análoga ao equivalente o série de impedâncias.

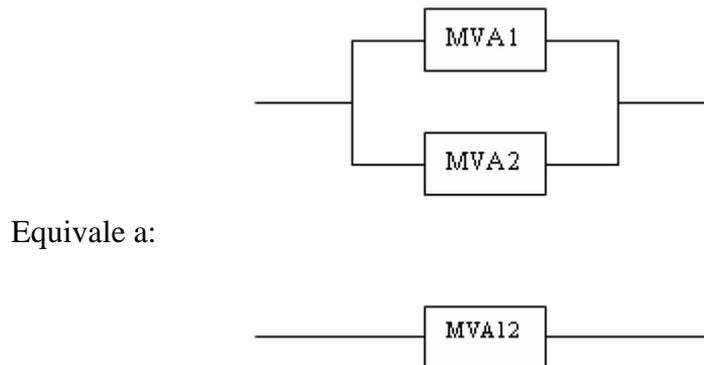


Figura 3. 13:Elementos em Paralelo – Método MVA.

$$MVA_{12} = MVA_1 + MVA_2$$

(3.3)

3.11 Diagramas Unifilares de Coordenação da Proteção

No STOP foram desenvolvidos diagramas unifilares de coordenação da proteção com o objetivo de treinar os usuários em coordenação entre relés, entre religador e seccionizador, entre relé e fusível, entre fusível e relé e entre fusíveis.

A coordenação é feita com a participação do usuário de forma visual, com a seleção dos equipamentos envolvidos na coordenação, onde o usuário tem opções de alterações nos tempos de atuação dos relés, dos religadores e de fusão dos fusíveis.

3.11.1 Relé x Relé

De uma forma geral para coordenação entre relés é necessário que o tempo de atuação do relé protegido seja maior do que o tempo de atuação do relé protetor mais o tempo ou margem de coordenação.

$$T_{\text{relé protegido}} \geq T_{\text{relé protetor}} + \text{Margem de Coordenação}$$

3.11.2 Religador x Seccionalizador

Os seccionalizadores não possuem curva característica de atuação do tipo tempo x corrente, portanto não há necessidade de se preocupar com o estudo de coordenação de curvas. A coordenação com o religador fica assegurada desde que as condições a seguir sejam satisfeitas:

- O número de contagens do seccionalizador deve ser ajustado para uma unidade a menos do que o número de disparos do religador.

$$\text{N}^\circ \text{ de Contagem. do Seccionalizador.} = \text{N}^\circ \text{ de disparos do Religador} - 1$$

- O tempo de ressete do seccionalizador deverá ser maior do que o intervalo de tempo de operação do religador, compreendido entre a primeira e a última contagem do seccionalizador.

3.11.3 Relé x Fusível

Para coordenação entre relés do lado da fonte e fusíveis do lado da carga é necessário que o tempo de atuação do relé seja maior ou igual ao tempo máximo de fusão do fusível mais o tempo de coordenação.

$$T_{\text{relé}} \geq T_{\text{max fusível}} + \text{Margem de Coordenação}$$

3.11.4 Fusível x Relé

Para coordenação entre fusíveis do lado da fonte e relés do lado da carga é necessário que o tempo mínimo de fusão do fusível seja maior ou igual ao tempo de atuação do relé mais o tempo de coordenação.

$$T_{\text{mínimo.Fusível}} \geq T_{\text{relé}} + \text{Margem de Coordenação}$$

3.11.5 Fusível x Fusível

A seletividade entre os elos fusíveis é satisfatória quando o tempo total de interrupção do elo-fusível protetor não exceder a 75% do tempo mínimo de fusão do elo protegido.

$$T_{\text{máx.fus.Protetor}} \leq 0,75 \times T_{\text{mín.fus.protegido}}$$

CAPÍTULO 4**SIMULADOR PARA TREINAMENTO DE
OPERAÇÃO DA PROTEÇÃO DE SISTEMAS
ELÉTRICOS**

Este capítulo tem por objetivo apresentar o sistema desenvolvido para treinamento presencial e a distância de profissionais da área de operação e proteção de sistemas elétricos de potência. A ferramenta proposta foi desenvolvida no ambiente Teleduc e oferece módulos com conteúdo de formação teórica no domínio específico e um simulador (STOP) capaz de representar situações realísticas, projetado para o treinamento de engenheiros e técnicos do setor elétrico e estudantes de engenharia.

A plataforma de EAD é basicamente composta de um Sistema Gestor o qual proporciona um ambiente virtual de aprendizagem, um conteúdo de cursos descritos abaixo que provêm embasamento teórico disponível em meio digital e um simulador de treinamento para a simulação de proteção de sistemas elétricos de potência.

Para embasamento teórico a plataforma EAD oferece dois cursos com exercícios associados, com cada curso subdividido em 4 módulos, como seguem:

- Curso 1 – Fundamentos sobre Sistemas Elétricos
 - Módulo 1 – Introdução a Sistemas Elétricos de potência
 - Módulo 2 – Subestação de Energia Elétrica
 - Módulo 3 – Equipamentos Elétricos
 - Módulo 4 – Fenômenos Elétricos

- Curso 2 – Proteção de Sistemas Elétricos
 - Módulo 1 – Fundamentos de Proteção
 - Módulo 2 – Relés de Proteção
 - Módulo 3 – Evolução dos Relés de Proteção
 - Módulo 4 – Automação de Subestação.

Para um melhor aproveitamento do uso do simulador de treinamento é importante que o treinando participe dos cursos citados acima antes de fazer uso do simulador. Caso se faça necessário, poderão ser introduzidos novos módulos no conteúdo teórico do STOP.

A Figura 4.1 mostra um exemplo do ambiente e o conteúdo programático do curso sobre Fundamentos em Sistemas Elétricos de Potência: Módulo 1 – Introdução a Sistemas Elétricos.

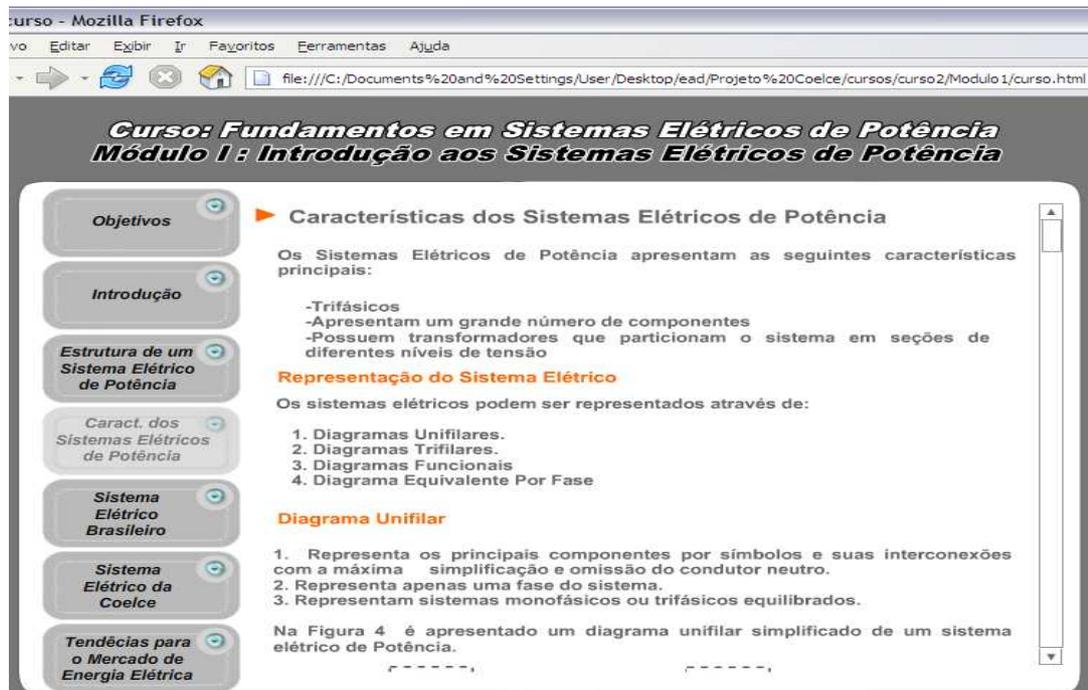


Figura 4. 1:Exemplo do ambiente do curso 1-Módulo 1.

4.1. Descrição do STOP

No simulador de treinamento proposto foi utilizado o ambiente de desenvolvimento Borland Delphi 2005, adotando a linguagem Object Pascal. O uso do ambiente Delphi 2005 permitiu desenvolver o software de forma bem estruturada e com uma interface bastante eficiente e amigável para plataforma *Windows*.

O Simulador para Treinamento de Operação da Proteção de Sistemas Elétricos (STOP) tem como objetivo atuar como ferramenta de suporte para a capacitação e treinamento de profissionais na área de proteção de sistemas de distribuição de energia elétrica. O STOP é um software composto de um diagrama unifilar sistêmico contendo os componentes de proteção, tais como disjuntores, religadores, transformadores e relés. Através do diagrama unifilar é possível realizar simulações sobre vários aspectos de uma rede elétrica e de uma subestação.

O sistema permite especificar correntes nominais e de curto circuito dos elementos do sistema, especificar equipamentos, calcular ajustes das funções de proteção, configurar seletividade lógica, selecionar grupos de ajustes e falha de equipamentos, simular faltas e falhas de equipamento e verificar a coordenação entre as proteções.

Na Figura 4.2 é mostrado o fluxograma de funcionamento do STOP.

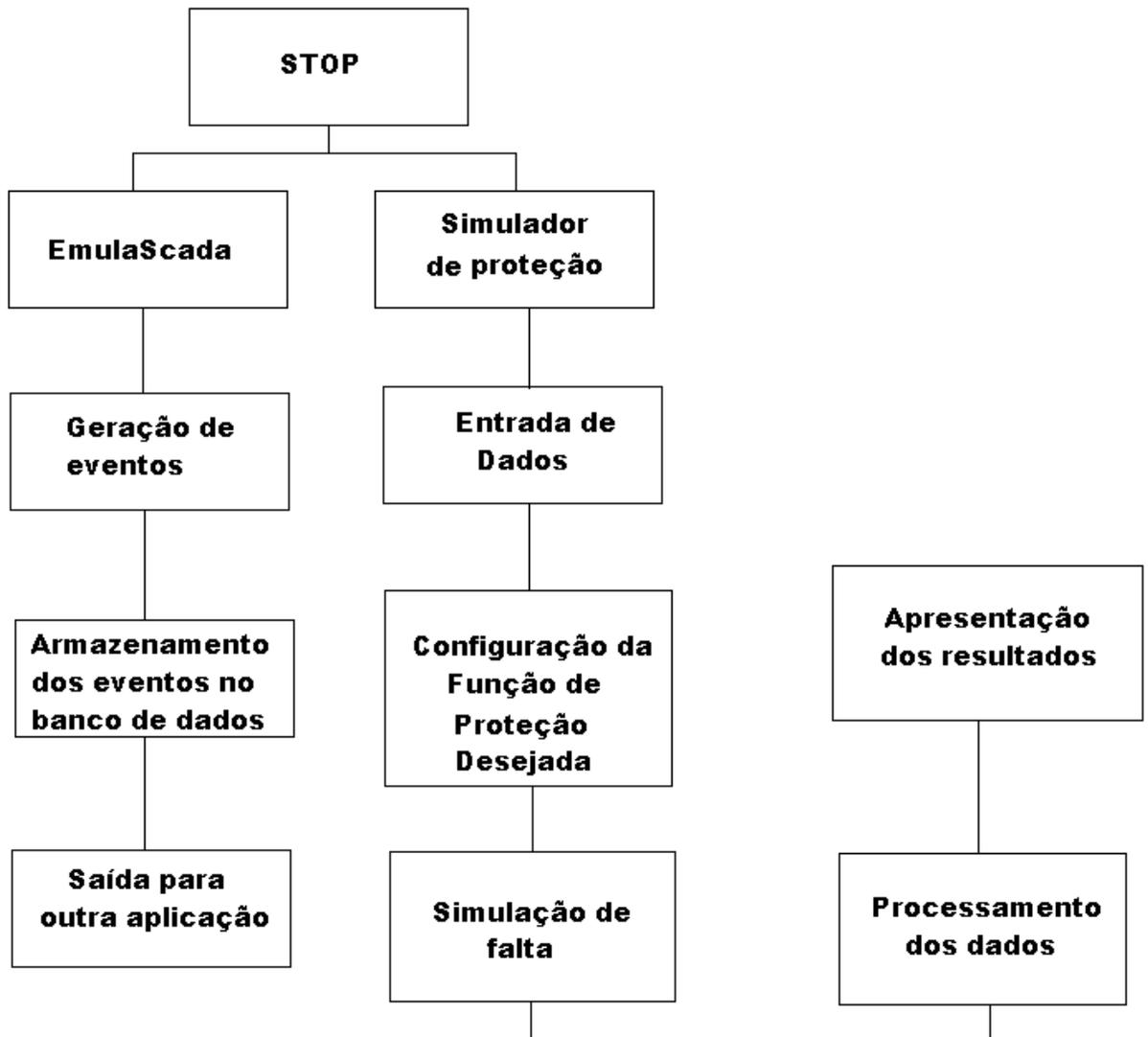


Figura 4. 2:Fluxograma de Funcionamento do STOP.

4.2. Ambiente de Gerenciamento do Ensino a Distância

Projetar novos Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVAs) que atendam a especificidades de um determinado domínio representa, na maior parte das vezes, um grande esforço de reconstrução de ferramentas que já foram desenvolvidas e consolidadas. Por outro lado, a adaptação destes ambientes às necessidades particulares de novos contextos pode

significar um grande reaproveitamento de código, freqüentemente testado à exaustão. Neste sentido, a adição de algumas ferramentas ou a modificação de outras pode atender de maneira satisfatória a novas necessidades oriundas da utilização do ambiente virtual em domínios particulares. Todavia, a viabilidade de realização destas modificações depende da abertura do código fornecido pelos desenvolvedores e, adicionalmente, do nível de complexidade para efetuá-las, medida em esforço de programação e em expertise necessária aos membros da equipe. Em alguns casos, modificar uma parte de um código pode representar um esforço maior do que desenvolvê-lo do princípio. Não sendo possível decidir a melhor solução a priori, esta reflexão caberá à equipe de desenvolvimento encarregada de realizar as devidas modificações.

Essa experiência foi vivida durante a execução deste projeto, cujo objetivo é a implantação de uma solução para treinamento a distância em proteção e operação de sistemas elétricos em uma empresa concessionária de distribuição de energia elétrica cearense (Coelce). Inicialmente, imaginou-se o desenvolvimento de uma solução completa, onde seriam construídos além de um conteúdo teórico com base em textos e imagens, também simuladores necessários ao tipo de treinamento e o conjunto de ferramentas de apoio à comunicação encontrado freqüentemente nos AVAs. Na ocasião, decidiu-se pelo reaproveitamento da estrutura fundamental e das ferramentas já existentes nos AVAs e pela concentração de esforços na construção dos módulos neles inexistentes. Alguns AVAs foram analisados, sendo o Teleduc e o Moodle as plataformas escolhidas por serem amplamente utilizadas e aceitas, inclusive nas instituições participantes do projeto em que o presente trabalho é contextualizado. Além disso, optou-se por uma arquitetura que minimizasse a dependência de uma única plataforma, onde os simuladores, representando as ferramentas de domínio específico, pudessem ser agregados ao ambiente através de conectores ou *plugins*.

Neste item do trabalho, é exemplificada a extensão do Teleduc com uma ferramenta de domínio específico. A escolha desse ambiente levou em conta a simplicidade de sua interface, sua ampla utilização em diversas organizações e ao fato de ser uma plataforma de código aberto desenvolvida no Brasil. Contudo, a integração de ferramentas com a técnica aqui apresentada não depende de uma plataforma específica, podendo ser igualmente realizada no Moodle usando suas próprias ferramentas disponibilizadas para tal finalidade.

As ferramentas disponíveis para tutores e alunos no Teleduc são aquelas apresentadas em destaque no frame esquerdo ilustrado na Figura 4.3.



Figura 4. 3:Indicação do grupo de ferramentas acessíveis pelo Teleduc.

Para incluir uma nova ferramenta no menu do Teleduc, nenhuma linha do código precisa ser modificada, sendo necessária apenas a inserção de algumas tuplas¹ em algumas tabelas do banco de dados da plataforma, cujo gerenciador é o MySQL. Para cada curso inserido no ambiente, um novo banco de dados é criado. Entretanto, os dados comuns são armazenados em um banco de dados chamado “Teleduc”. É este banco que precisa ser atualizado para a inclusão de novos recursos no ambiente. As tabelas envolvidas são a tabela Menu, que contém o código das ferramentas apresentadas Menu do Teleduc, a tabela Ferramentas, que contém o código, o nome e a descrição da ferramenta, além de sua localização, e a tabela Lingua_Texto, que contém os textos relativos a cada ferramenta apresentados nas janelas de navegação do Teleduc.

Além da inclusão dos registros relativos à nova ferramenta, é necessária a criação do diretório em que ela é armazenada. Esse diretório deve possuir o nome da ferramenta e conter um arquivo com este mesmo nome e com a extensão .php. Dentro desse arquivo pode ser inserido o código específico à nova ferramenta. Caso seja necessário o acesso ao banco de dados, o desenvolvedor deve estudar as tabelas do Teleduc e as relações entre as mesmas. Todo este procedimento pode ser efetuado de maneira automática.

¹Tupla: conjunto de objetos que compartilham as mesmas características ou possuem a mesma propriedade. <http://www.async.com.br/projects/python/pnp/node16.html>

Foi então desenvolvido um aplicativo em Java que opera, via JDBC (Java Database Connectivity), as devidas modificações na base de dados, além de instalar os demais recursos necessários à inclusão da nova ferramenta.

4.2.1 Incompatibilidade de Tecnologias na Integração de Ferramentas aos AVAs

Um problema adicional que pode se apresentar para desenvolvedores que precisam agregar aos AVAs ferramentas previamente existentes é a incompatibilidade das tecnologias do próprio AVA e da ferramenta a ser integrada. Alguns simuladores são desenvolvidos em C, Delphi ou outras linguagens, enquanto que os AVAs são, em sua grande maioria, baseados em tecnologia Web, usualmente construídos com PHP ou Java. Neste projeto, foi necessário decidir entre desenvolver desde o início um simulador escrito em Java, ou adaptar o simulador já existente escrito em Delphi ou adaptar o sistema existente. Para tomar uma decisão desta natureza, é necessário considerar o volume de re-codificação necessário, o tempo existente para o projeto e a expertise dos desenvolvedores envolvidos.

Optou-se pela adaptação do simulador escrito em Delphi, assim, foi projetada uma solução 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 a partir 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 apresentado nas próximas subseções.

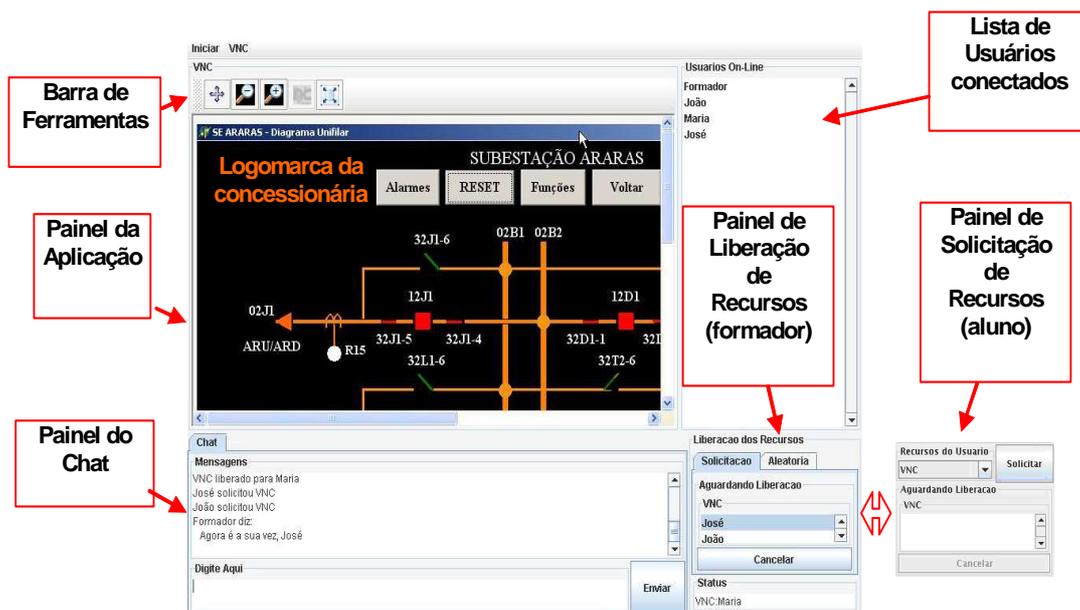


Figura 4. 4:Interface da ferramenta de acesso remoto.

4.2.2 Interface da Ferramenta de Acesso Remoto

A interface da ferramenta para o tutor é apresentada na Figura 4.4. A interface do aluno difere apenas do Painel de Liberação de Recursos, passando a se chamar Painel de Solicitação de Recurso, apresentado à direita na Figura 4.4.

Os elementos da Interface são descritos a seguir:

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.

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

Painel do Chat – Área onde podem ser trocadas mensagens entre usuários e tutores durante a colaboração. Quando o Painel da Aplicação é apresentado em tela cheia, o *chat* é transportado para uma janela suspensa.

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

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 4.4.

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. Além de aplicações remotas, é possível trabalho colaborativo usando janelas de vídeo ou imagens digitais. Em qualquer situação, o usuário escolhe qual aplicação que deve ser colocada em evidência no Painel da Aplicação.

4.2.3 Distribuição dos Componentes do Sistema

Os componentes da arquitetura utilizada são distribuídos como ilustrado na Figura 4.5. Os clientes, que são os tutores e alunos, usando um navegador, acessam o Servidor *Web* em que é instalado o Teleduc. Neste servidor, além do próprio Servidor *Web*, encontram-se em execução um Servidor de Mensagens de Controle, responsável pela comunicação por texto e

controle de acesso à aplicação compartilhada, e um Refletor VNC, que faz a intermediação da comunicação com a aplicação compartilhada (proxy).

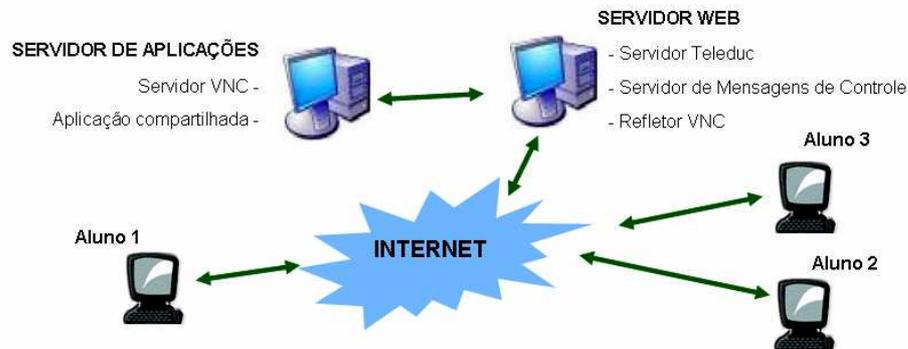


Figura 4. 5: Distribuição dos componentes da arquitetura.

O Servidor de Mensagens de Controle é um servlet que pode ser acionado remotamente e permite a configuração dos IPs e das portas usadas pelo ambiente. A interface para esta configuração é construída em JSP (Java Server Pages).

No Servidor de Aplicações, encontra-se em execução um Servidor VNC e a Aplicação a ser Compartilhada a partir da interface do AVA. Na arquitetura proposta, o Servidor de Aplicações pode estar situado na mesma rede local que o Servidor Web e configurado com um IP falso.

Toda a dinâmica de uma sessão síncrona entre tutores e alunos pode ser gravada na máquina do Servidor Web. Para isso, utiliza-se programa `vnc2swf`², que foi desenvolvido a partir do código do TightVNC³. Esse programa executa em ambiente Linux e funciona como um cliente VNC adaptado, capturando e codificando as imagens do *desktop* remoto em forma de vídeo. Paralelamente, toda a comunicação estabelecida entre os clientes remotos pode ser igualmente registrada pelo Servidor de Mensagens de Controle. Em conjunto com o vídeo gerado pelo `vnc2swf`, é possível reconstituir a qualquer tempo as sessões que foram registradas anteriormente.

Sendo um exemplo de aplicativo de domínio específico, o STOP não é uma ferramenta disponibilizada no Teleduc ou em qualquer outro AVA conhecido. Assim, sua integração ao Teleduc foi realizada através da Ferramenta de Acesso Remoto, apresentada na Seção 4.2.2, expandindo sua interface para o uso remoto e para o compartilhamento entre usuários fisicamente dispersos.

O STOP foi desenvolvido em Delphi e sua interface foi concebida para o uso individual,

podendo ser usada pelo professor para simples apresentação ou pelos próprios alunos para desenvolvimento de atividades individuais, o que requer uma instalação do simulador em uma máquina diferente para cada aluno. Devido a essas características, para integrar o STOP ao Teleduc, seria necessário passar por uma reengenharia, visando não só a sua adaptação ao acesso remoto, como também mudanças estruturais para o uso colaborativo por usuários fisicamente distantes entre si.

O STOP e a Ferramenta de Acesso Remoto combinados representam uma poderosa ferramenta didática. Nesta nova perspectiva, o professor pode interagir com os alunos simulando situações e proporcionando a estes a consolidação dos conhecimentos relacionados à subestação, proteção, equipamentos e controle e automação de sistemas elétricos.

Em uma situação real o tutor pode simular uma falta no sistema, apresentando a atuação de relés e a abertura de disjuntores. Em seguida, o direito de acesso pode ser transferido para um aluno a fim de que o mesmo possa re-configurar o sistema de forma correta. Neste caso, todos os alunos podem interagir pelos recursos de comunicação disponíveis, tal como o *chat*, dando sugestões e/ou corrigindo os possíveis erros.

É importante frisar que a simples oferta de ferramentas de comunicação a distância não garante o aumento da colaboração se não existe uma cultura de compartilhamento do conhecimento nas organizações (ROSEMBERG, 2006).

O acesso a simuladores e aplicações de maneira síncrona e coordenada por um tutor pode representar um importante passo para a implantação dessa cultura, viabilizando a realização a distância de algumas atividades como demonstrações, proposições de tarefas e avaliações.

²Informações e o programa vnc2swf podem ser obtidos em <http://www.unixuser.org/~euske/vnc2swf/>

³Informações sobre o TightVNC, programa derivado do VNC, em <<http://www.tightvnc.com>>

4.3. Composição do STOP

A seguir são apresentados alguns recursos e funções que o STOP dispõe para a simulação da operação e proteção de sistemas elétricos, necessárias à consolidação e validação dos conhecimentos relacionados à subestação, equipamentos, proteção e controle e automação de sistemas elétricos.

As etapas para o desenvolvimento do projeto de um Simulador para Treinamento de Proteção e Operação de Sistemas Elétricos compreendem o desenvolvimento de um Emulador de sistema SCADA denominado (EmulaScada) e o programa do Simulador para Treinamento de Operação da Proteção de Sistemas Elétricos (STOP) com suas funções.

4.3.1 Interface do Simulador STOP

A tela inicial do STOP é mostrada na Figura 4.6. Nesta tela é possível verificar através dos menus os recursos disponíveis no simulador. No menu Diagramas têm-se o diagrama de subestação, o diagrama operacional, o diagrama de codificação operacional e o Emulador de do Sistema SCADA (EmulaScada). No menu Sistema de Distribuição tem-se os diagramas de coordenação entres relés, entre relé e fusível, entre fusível e relé, entre fusível e fusível, entre religador e seccionizador, além do cálculo de curto circuito pelo método do MVA.

No menu Visão Geral tem-se os diagramas simplificados do sistema digital de automação e do sistema elétrico de potência.



Figura 4. 6:Tela inicial do STOP.

4.3.2 EmulaScada

O gerenciamento da energia elétrica é realizado em centros de controle por sistemas computadorizados chamados *Energy Management Systems* (EMS). A aquisição de dados e controle remoto é realizada por sistemas SCADA. Um EMS geralmente inclui uma interface para o sistema SCADA através da qual é possível estabelecer comunicação com usinas de geração, subestações e outros dispositivos remotos (WOLLENBERG, 1998).

O Emulador do sistema SCADA (EmulaSCADA) é uma ferramenta computacional desenvolvida em Delphi 5 para Sistema Operacional Windows. O EmulaSCADA exige pouca memória RAM para sua utilização, é uma aplicação 32 bits e necessita do Borland Data Engine (BDE) instalado para acessar o banco de dados.

O EmulaSCADA foi desenvolvido com o objetivo de gerar os alarmes que ocorrem em um sistema SCADA real de uma concessionária de energia elétrica.

Estes alarmes deverão ser analisados pela Ferramenta SDF (Sistema de Diagnóstico de Falhas) desenvolvida por (BEZERRA, 2004), desta forma, criando as condições equivalentes a uma utilização on-line do sistema elétrico.

A Figura 4.7 mostra a tela inicial do EmulaScada desenvolvido apresentando os recursos

religaram ou não, conforme mostra a Figura 4.9.

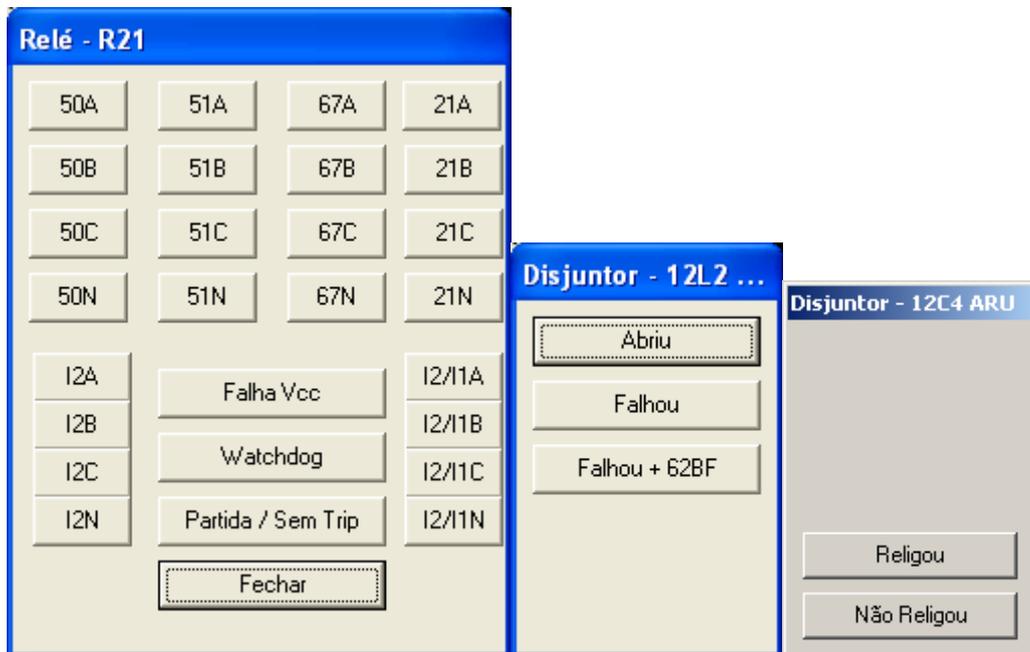


Figura 4. 9:Telas com funções de proteção.

A base de dados com os alarmes gerados pode ser visualizada clicando no botão Alarmes. A tela com a base de dados de alarmes gerados pelo emulador é mostrada na figura 4.10.

The screenshot shows a window titled 'ESCADA - Banco de Dados - Alarmes'. It contains a table with the following data:

Index	VarID	Descrição	H1	H2	Data origem (local)	ms	TimeStamp
2136	CRE12C254	DISJUNTOR : ABERTO (Comando Manual)	12C2	12C2	24/5/2006 17:47:06	709	1148492826
2137	CRE12C255	DISJUNTOR : FECHADO (Comando Manual)	12C2	12C2	24/5/2006 17:47:10	996	1148492830
2138	CAT12C154	DISJUNTOR : ABERTO (Comando Manual)	12C1	12C1	26/5/2006 11:17:17	53	1148642237
2139	CAT12C155	DISJUNTOR : FECHADO (Comando Manual)	12C1	12C1	26/5/2006 11:17:20	768	1148642240
2140	CRE12C143TAN	POSICÃO CHAVE 43 AT : NORMAL	12C1	12C1	26/5/2006 11:42:57	879	1148643777
2141	ARU12T1PF	PROTECAD FASES : PARTIDA	12T1	12T1	26/5/2006 11:49:26	457	1148644166
2142	ARU12T151N	PROT. 51 - NEUTRO : ATUADA	12T1	12T1	26/5/2006 11:49:26	457	1148644166
2143	ARU12T152	DISJUNTOR : ABERTO	12T1	12T1	26/5/2006 11:49:32	286	1148644172
2144	ARU12D152	DISJUNTOR : ABERTO	12D1	12D1	26/5/2006 11:49:32	286	1148644172
2145	ARU12T153	DISJUNTOR : FECHADO	12T1	12T1	26/5/2006 11:49:34	619	1148644174
2146	ARU12D153	DISJUNTOR : FECHADO	12D1	12D1	26/5/2006 11:49:34	619	1148644174

Figura 4. 10:Tabela de dados de alarmes gerados.

O evento gerado é composto de uma *string* (VarID) que mostra o código subestação, o código do equipamento que atuou e a função de proteção que partiram e atuaram.

Os outros parâmetros são a descrição do evento associado a cada código, o tempo de duração do evento baseado no tempo do sistema Scada real e a data e hora de ocorrência.

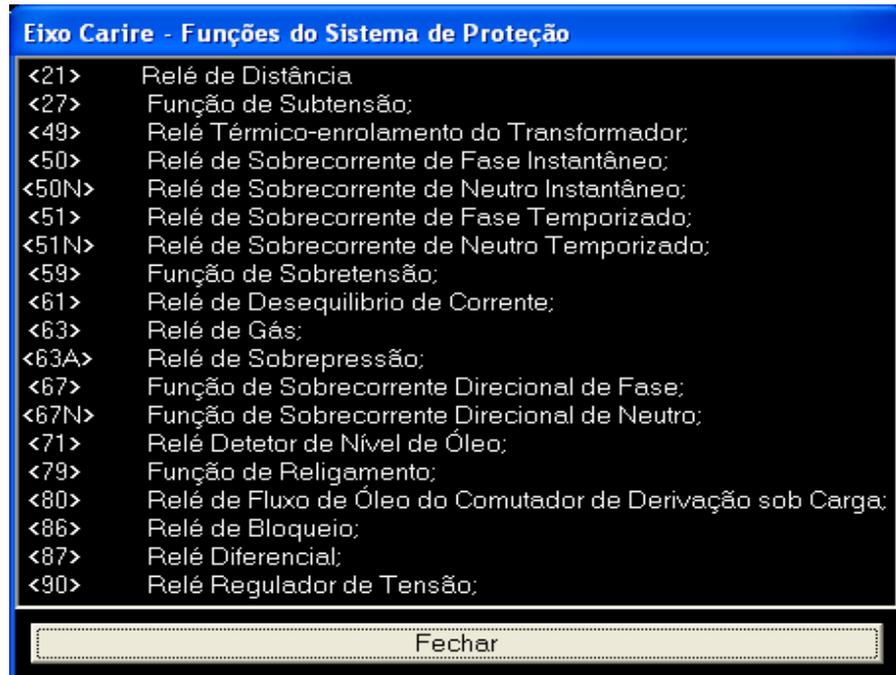


Figura 4. 12:Tela com funções de proteção.

Como mais um item de auxílio para utilização do emulador tem-se uma legenda com as cores que representam os estados dos equipamentos como mostrada na Figura 4.13.



Figura 4. 13:Tela com Legenda dos estados dos equipamentos.

Nas Figuras 4.14 e 4.15 é mostrado um exemplo de geração de falta e atuação do disjuntor associado ao relé de proteção que está “vendo” a falta. Na Figura 4.14 foi selecionado o relé R21 e selecionado a função 51A (sobrecorrente na fase A) note a mudança de cor no relé R21.

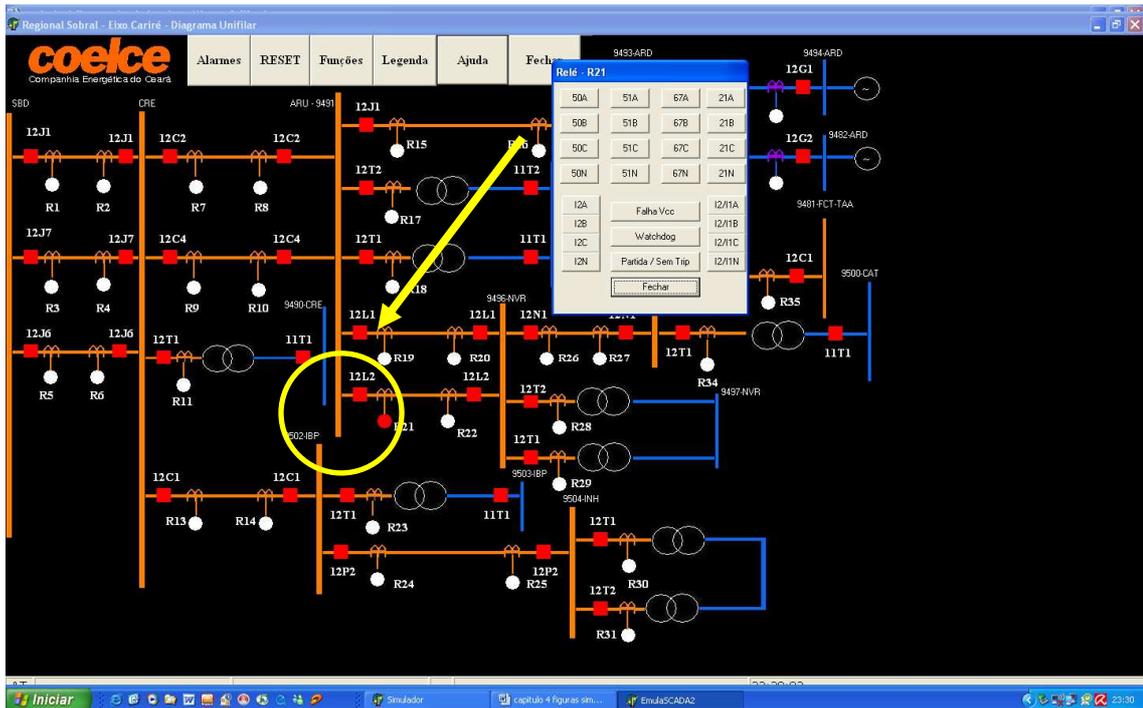


Figura 4. 14:Exemplo de geração de falta.

Na Figura 4.15 pode-se escolher se o disjuntor 12L2 associado ao relé R21 abriu, falhou ou falhou e enviou o sinal de falta de disjuntor 62BF. Note a mudança de cor no disjuntor 12L2.

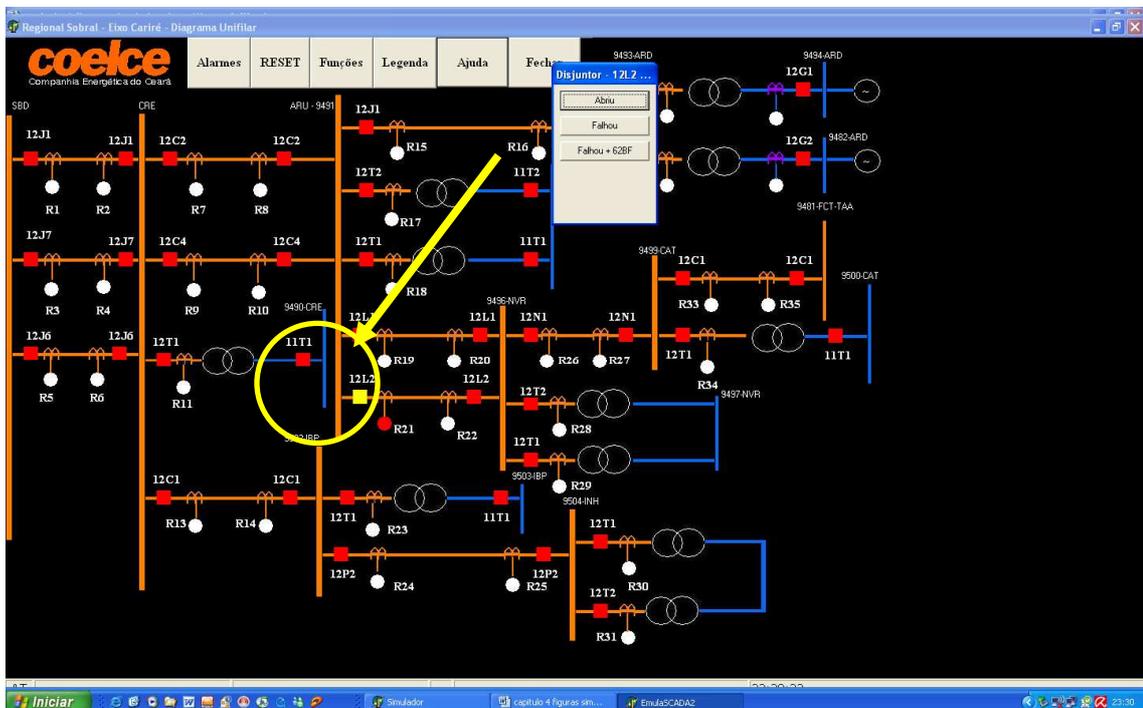


Figura 4. 15:Exemplo de geração de falta.

4.3.3 Descrição e Recursos do STOP

No simulador é apresentado um diagrama unifilar de proteção de uma subestação padrão Coelce de 69-13,8kV. A Figura 4.16 mostra o diagrama unifilar da subestação com seus respectivos equipamentos de proteção e operação que podem ser configurados com valores reais e testados através de simulações. O modelo de subestação escolhido é Padrão de subestações de pequeno porte da Coelce⁴. Essa subestação possui o arranjo de barra principal e de transferência tanto na parte de 69kV como na parte de 13,8kV. Foi representado também apenas um vão de transformador, devido à falta de espaço no componente do Delphi que representa o diagrama unifilar. Na parte de 69kV, foram escolhidas apenas duas entrada de linha e uma saída de linha devido a falta de espaço para colocar os objetos e também para não carregar visualmente o diagrama.

Na parte de 13,8kV foram representados apenas dois alimentadores e um vão de banco de capacitores.

No entanto, estas representações dos componentes da subestação são suficientes para realizar diversas simulações com o intuito de que os usuários do simulador possam ser treinados sobre os diversos componentes de uma subestação e suas funções de proteção associadas.

Neste diagrama têm-se botões para navegação entre as funções do simulador; o diagrama operacional, o diagrama de coordenação de curvas de relés o coordenograma, os botões com as funções de proteção e a legenda. No lado direito do diagrama tem-se o botão de *reset* de falta, que deve ser usado toda vez em que uma falta for gerada.

⁴Coelce, Critérios de projeto Padrão. CP-011/2003 Subestação de distribuição aérea e semi-abrigada 72,5-15 kV.

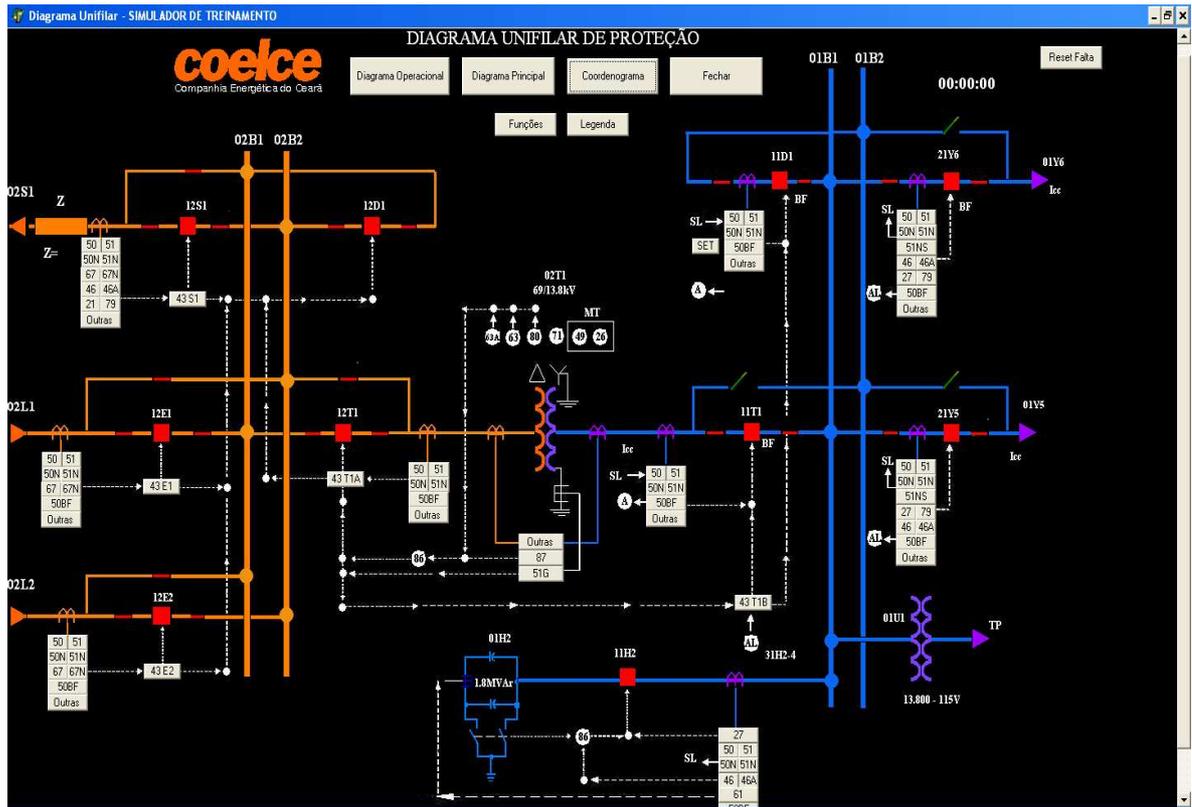


Figura 4. 16:Diagrama Unifilar de proteção.

A seguir são apresentadas algumas funções que o STOP dispõe para simulações no sistema elétrico, necessárias à consolidação e validação dos conhecimentos do aluno:

4.3.3.1 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 normalmente utilizadas para cálculo dos ajustes das proteções pelas concessionárias de energia elétrica.

O tipo de falta pode ser selecionado através da janela mostrada na Figura 4.17 clicando no nome Icc (ver seta amarela acima) do diagrama unifilar da subestação. Somente as faltas monofásica e trifásica foram consideradas por serem as faltas mais comuns e de maior impacto em sistemas elétricos aéreos.



Figura 4. 17: Janela de seleção de curto no alimentador.

Exemplo da simulação da atuação das funções de proteção, com a abertura dos disjuntores associados de acordo com o local e o tipo de falta simulada pode ser observado na Figura 4.18.

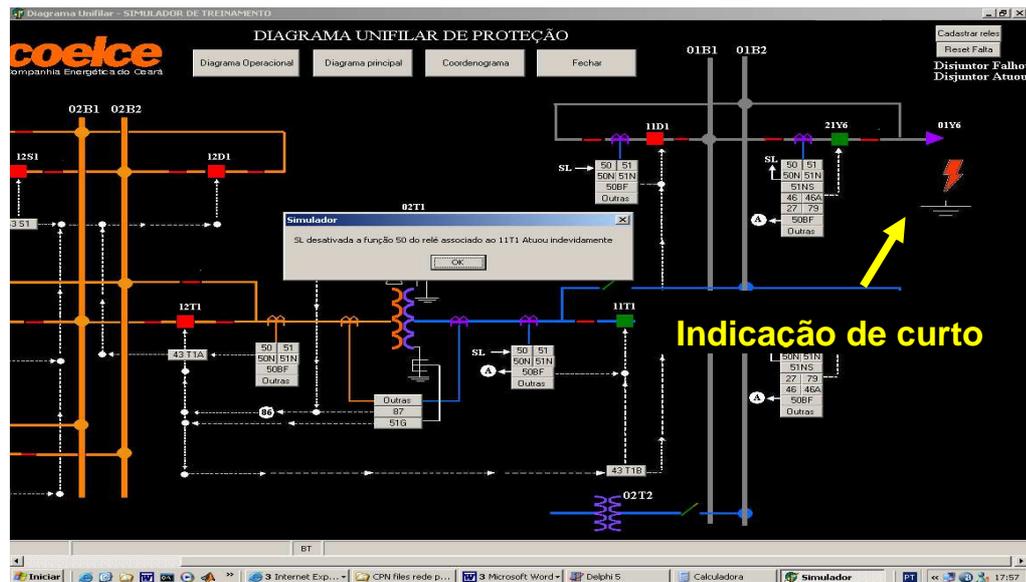


Figura 4. 18:Tela com operação dos dispositivos de proteção.

4.3.3.2 Seleção da RTC de TC e Validação do Dimensionamento

No processo ativo de aprendizado, o usuário deve selecionar, dentre um conjunto previamente armazenado, a relação de transformação para o transformador de corrente - RTC. Por meio de uma tela, ilustrada na Figura 4.19, o usuário pode escolher a RTC e em seguida clicar no botão “Dimensionamento do TC” para obter o retorno do STOP, verificando se a RTC definida está especificada corretamente ou não.

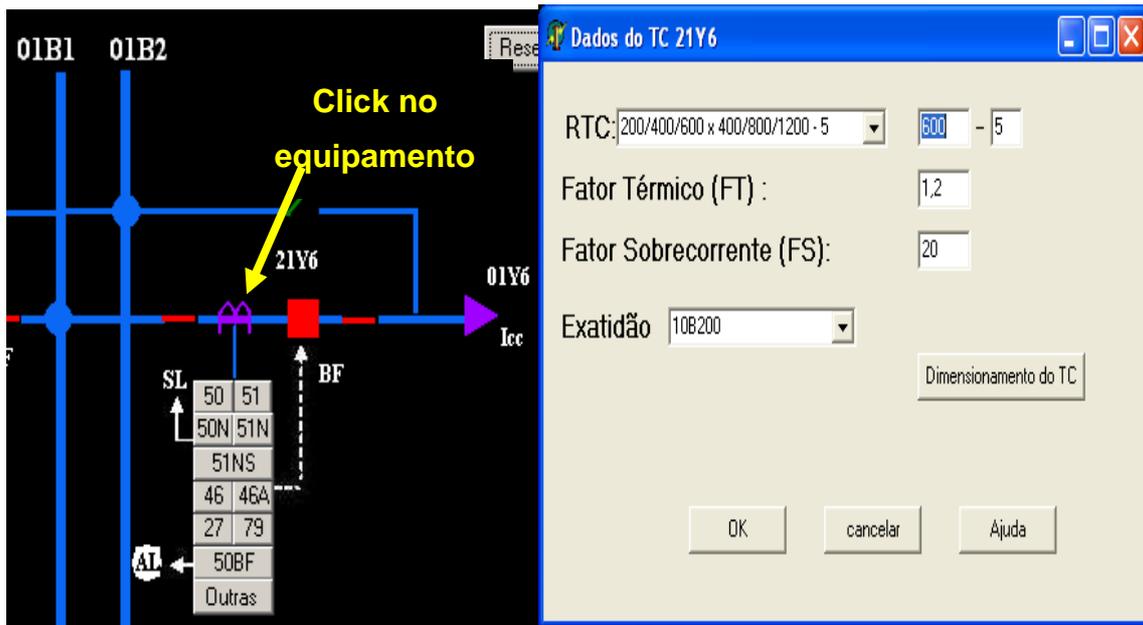


Figura 4. 19:Configuração do transformador de corrente.

4.3.3.3 Funções de Proteção e Relé de cada Vão

Visualização da especificação dos relés multifunção de cada vão da subestação, com suas respectivas funções de proteção, baseado no padrão de subestação da Coelce é mostrado na figura 4.20.

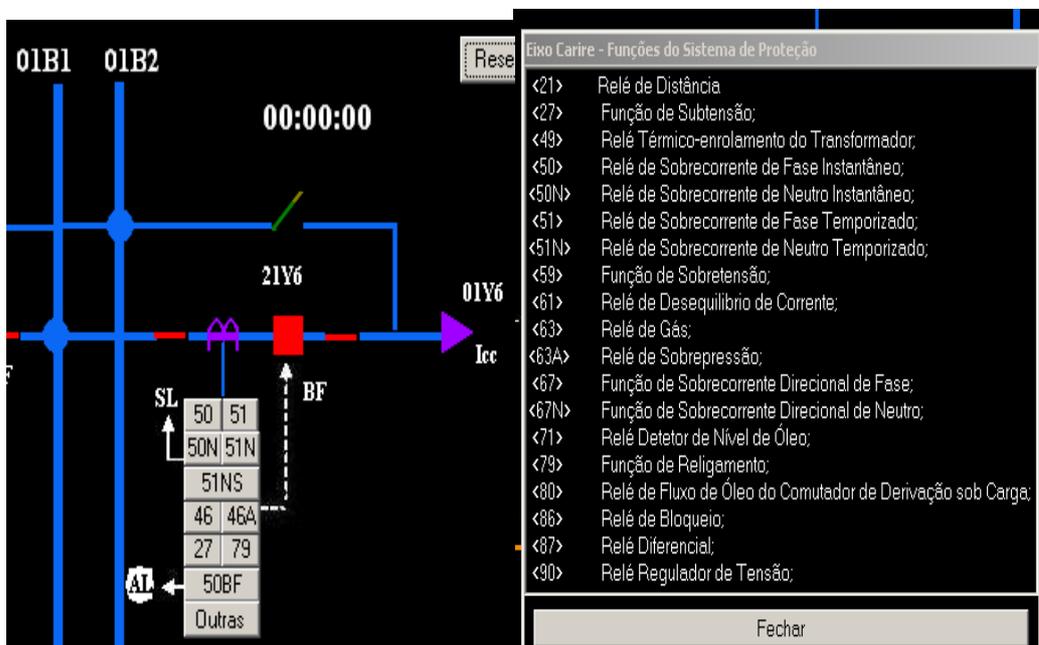


Figura 4. 20:Configuração do transformador de corrente.

4.3.3.4 Correntes de Curto-Circuito na Barra de 13,8kV

A entrada de correntes de curto circuito trifásica e monofásica é feita clicando na barra de 13,8kV e a tela da Figura 4.21 aparecerá, onde são solicitados os valores que serão usados nos cálculos e ajustes das funções de proteção.

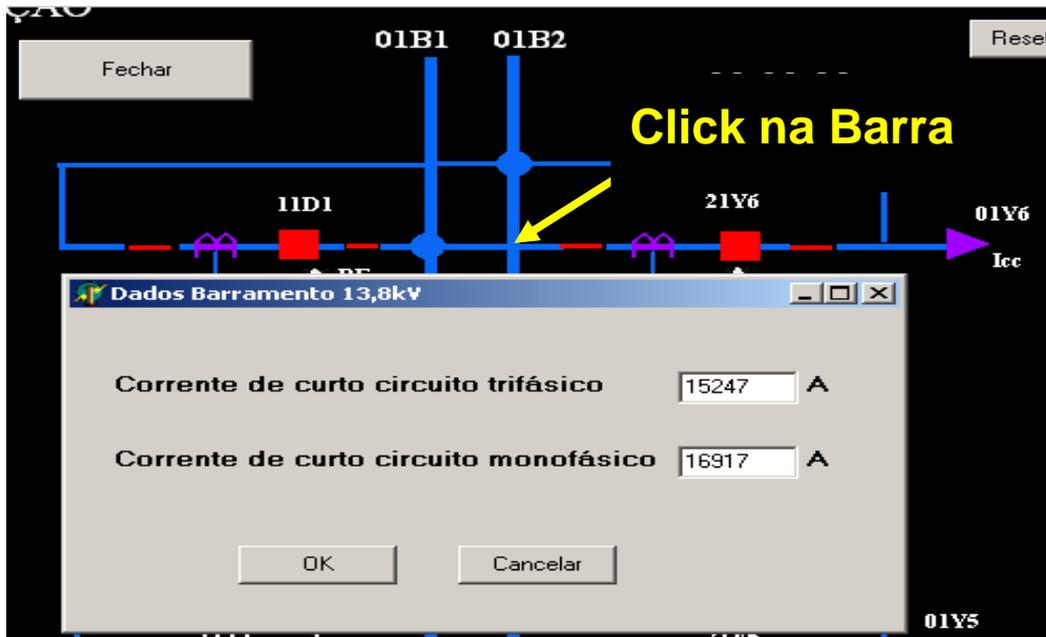


Figura 4. 21:Configuração de dados barramento 13,8kV.

4.3.3.5 Corrente Máxima de Carga no Alimentador de 13,8kV

A corrente de carga máxima pode ser inserida no sistema, clicando na saída do alimentador de 13,8kV, onde aparecerá a tela da Figura 4.22. Esse valor é usado para verificação do dimensionamento correto dos equipamentos e proteções do sistema.

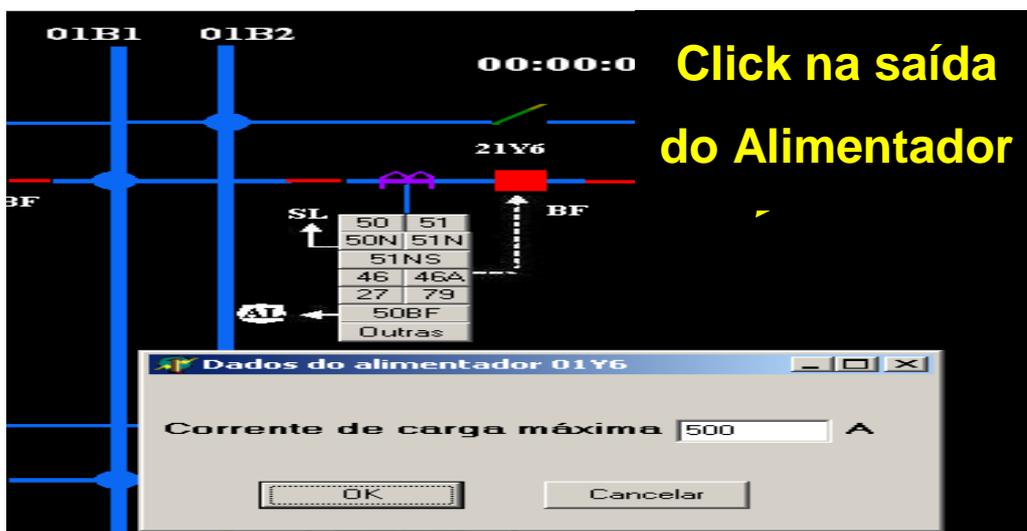


Figura 4. 22: Configuração da corrente de carga do alimentador.

4.3.3.6 Proteção de Entrada e Saída de Linha de Transmissão

Na parte de 69kV são apresentadas às proteções usuais em entradas e saídas de linhas de transmissão. Na Figura 4.23 é representada a chave de transferência 43 com seus respectivos estados (normal/ em transferência/transferido).

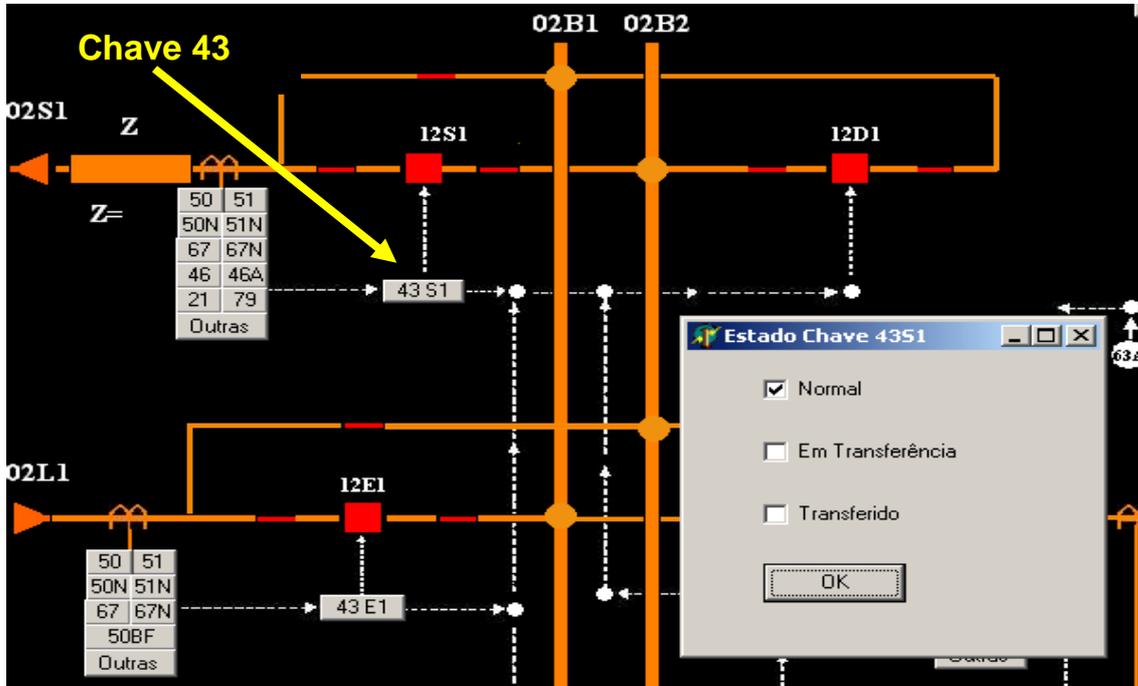


Figura 4. 23:Configuração da Entrada e saída de linha 69kV.

4.3.3.7 Proteção do Vão de Transformação

No vão de transformação são representados as principais funções de proteção de um transformador, tais como a função diferencial 87 e as funções intrínsecas como pode ser visto na Figura 4.24.

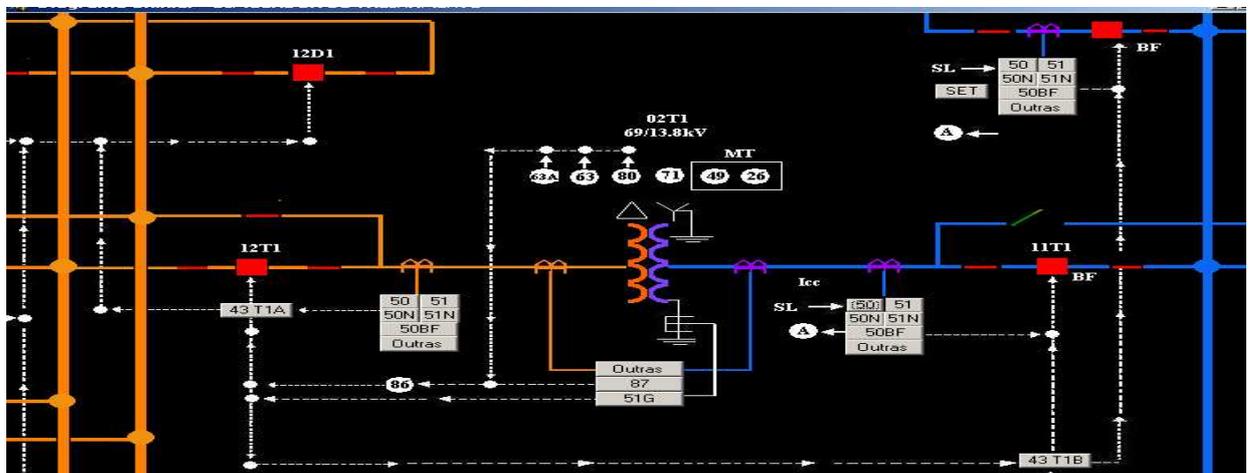


Figura 4. 24:Configuração do vão transformador de potência.

4.3.3.8 Proteções da Média Tensão

Na Figura 4.25 são representados o relé geral de barra, o relé do disjuntor de transferência (11D1) e os relés dos alimentadores com seus respectivos disjuntores e funções de proteção.

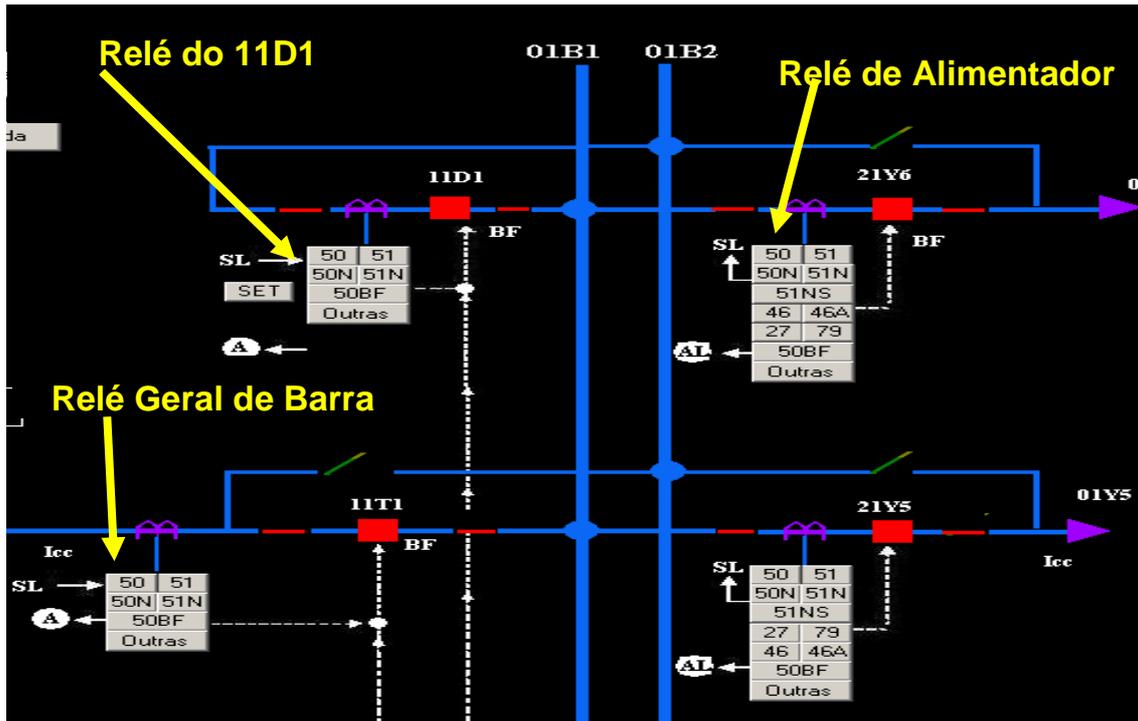


Figura 4. 25:Proteções da média tensão.

4.3.3.9 Atuação da Proteção e Mudança de Estado do Equipamento

Na Figura 4.26 é apresentada a mudança de estado do disjuntor de vermelho (estado fechado) para verde (disjuntor aberto) depois da atuação de alguma proteção para eliminação de um curto circuito.

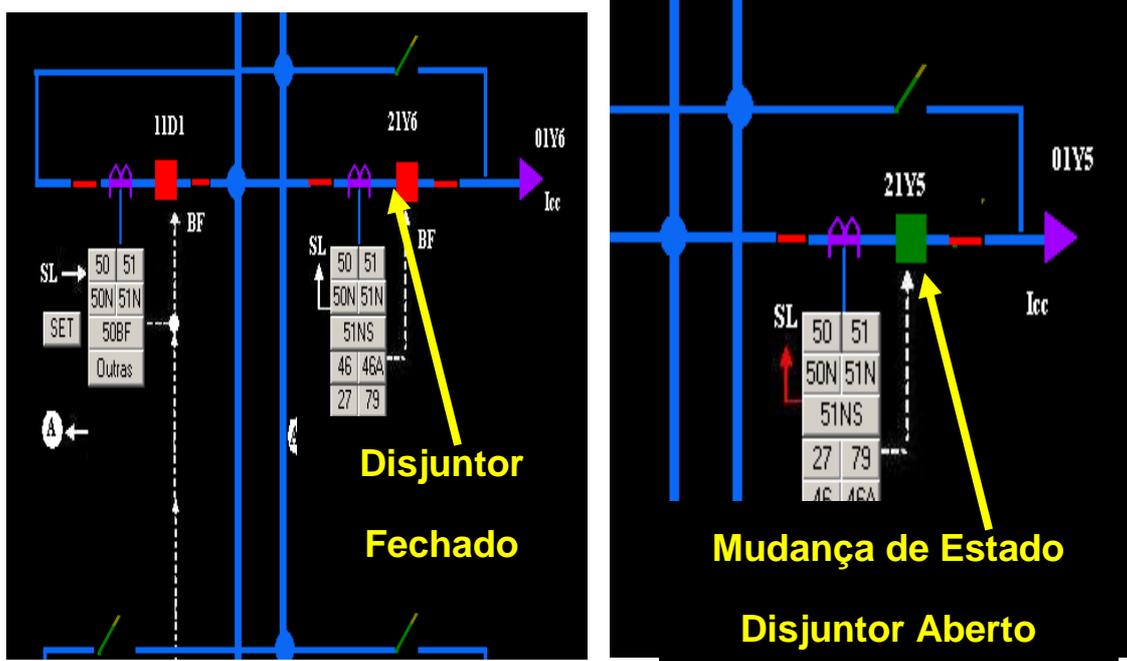


Figura 4. 26:Mudança de estado do disjuntor.

4.3.3.10 Simulação da Função de Sobrecorrente Temporizada 51

Na Figura 4.27 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.

OBS: TAP – É o termo usado nos relés eletromecânicos para determinar a corrente de pickup. O ajuste é feito, modificando-se o número de espiras da bobina de corrente.

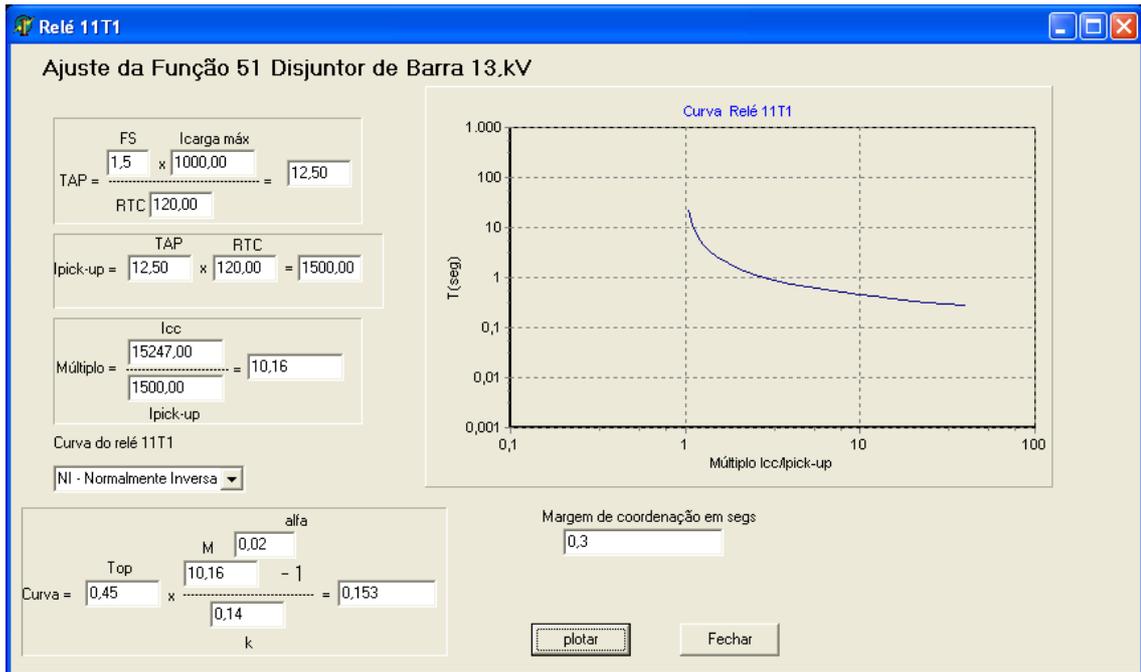


Figura 4. 27:Configuração do ajuste da função 51 do relé do disjuntor de barra 13,8kV.

4.3.3.11 Simulação da Função de Sobrecorrente Instantânea 50

Na Figura 4.28 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.

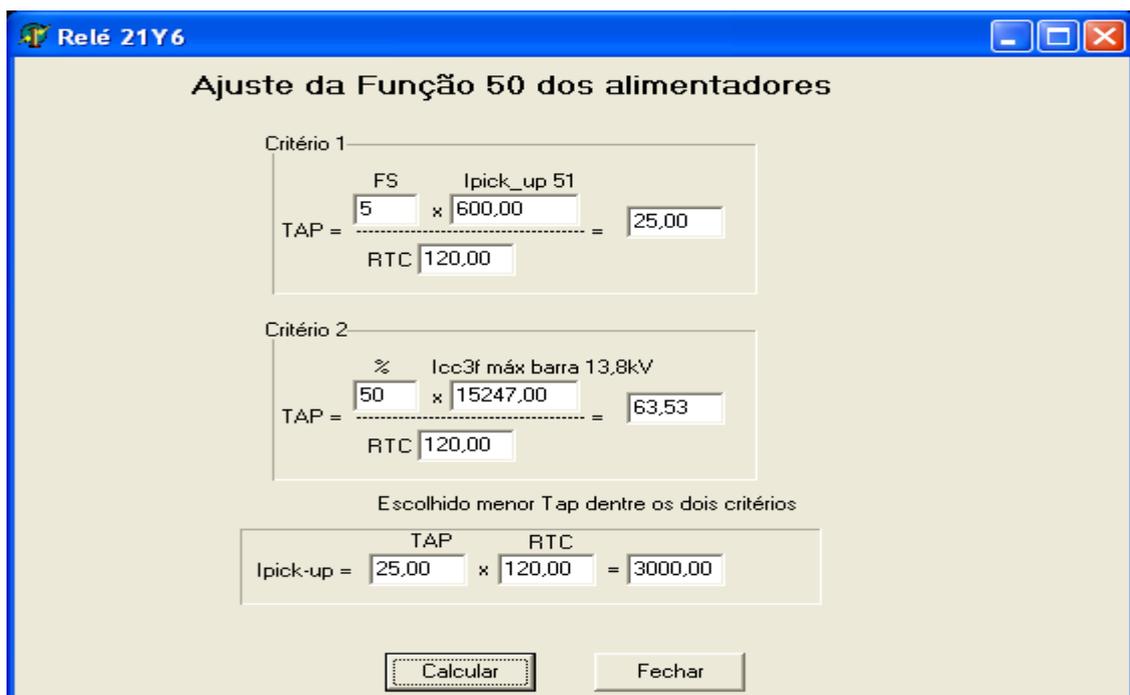


Figura 4. 28:Configuração do ajuste da função 50 do relé do alimentador 13,8kV.

4.3.3.12 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. Esta função surgiu nos relés com o advento dos relés microprocessados. Na Figura 4.29 são mostrados os dois grupos de ajustes onde o grupo 1 substitui o relé do alimentador e o grupo 2 substitui o relé do disjuntor de barra de 13,8kV.

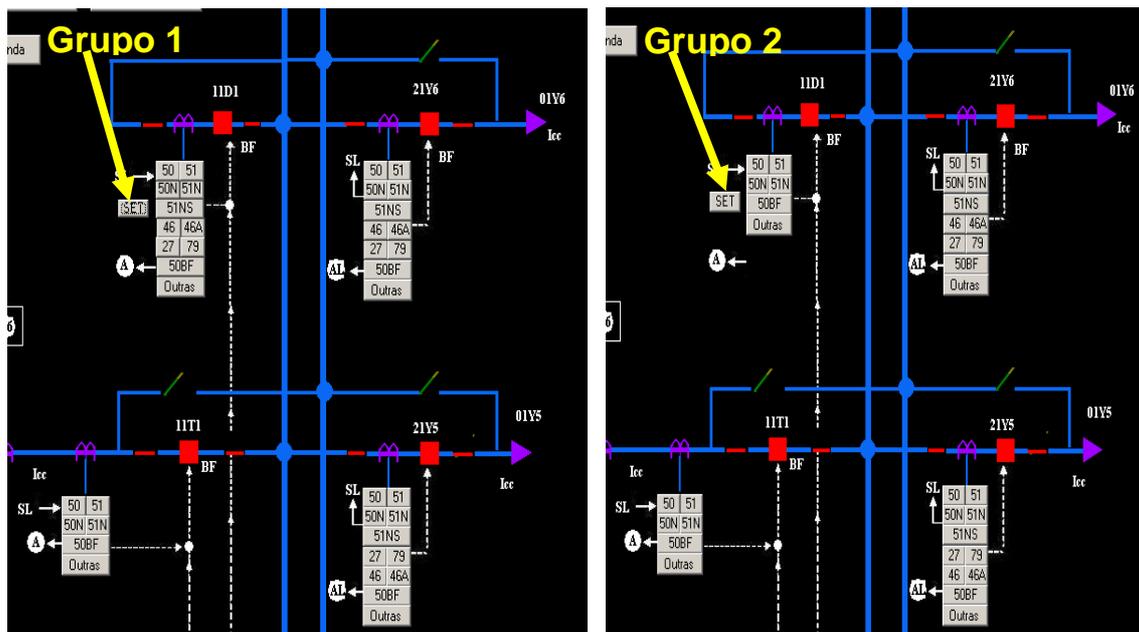


Figura 4. 29:Configuração do SET do grupo de ajuste do relé de transferência.

4.3.3.13 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. A Figura 4.30 mostra um exemplo da simulação da função de seletividade lógica.

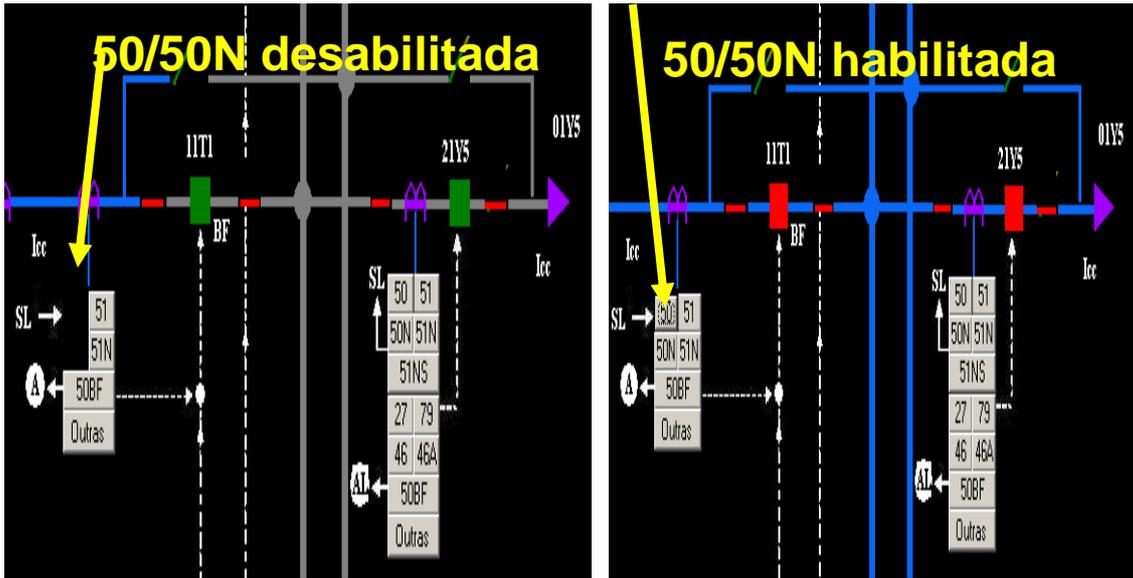


Figura 4. 30:Configuração da seletividade lógica.

4.3.3.14 Geração de Coordenograma das Proteções.

O STOP permite, após a definição das curvas e ajustes dos relés de sobrecorrente, gerar um coordenograma através do qual o usuário pode verificar se as proteções estão coordenadas ou não, conforme é mostrado na Figura 4.31.

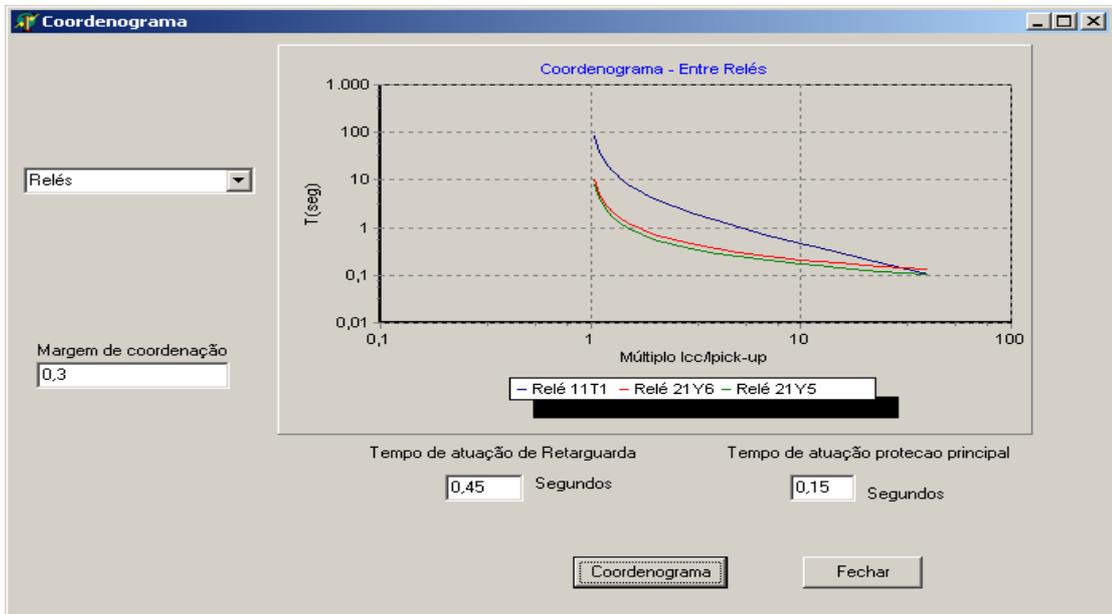


Figura 4. 31:Coordenograma.

A Figura 4.32 mostra o coordenograma entre o relé do alimentador de 13,8kV e o relé geral de barra, demonstrando, pela configuração adotada, que eles estão coordenados, ou seja, para um curto circuito no alimentador o relé do alimentador irá atuar primeiro do que o relé da barra, isolando assim a menor parte do sistema e permitindo a continuidade dos outros alimentadores.

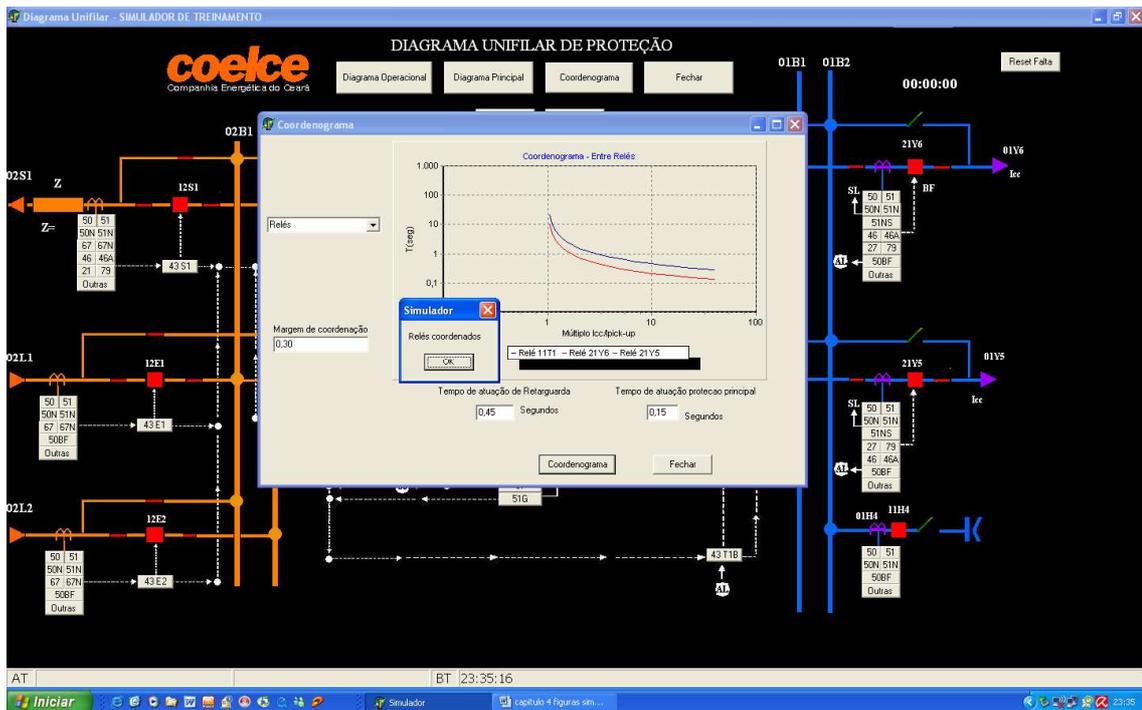


Figura 4. 32:Exemplo de coordenograma entre relés.

4.3.3.15 Simulação da Função Religamento.

Escolhendo-se a função adequada, pode-se selecionar o ciclo de religamento dos religadores e verificar a seqüência de abertura e fechamento do religador através de efeitos visuais de mudança de cores e mensagens. Clicando no botão 79 irá ser aberta a tela com as opções de ciclo de religamento com seus respectivos gráficos de tempo de atuação, conforme Figura 4.33.

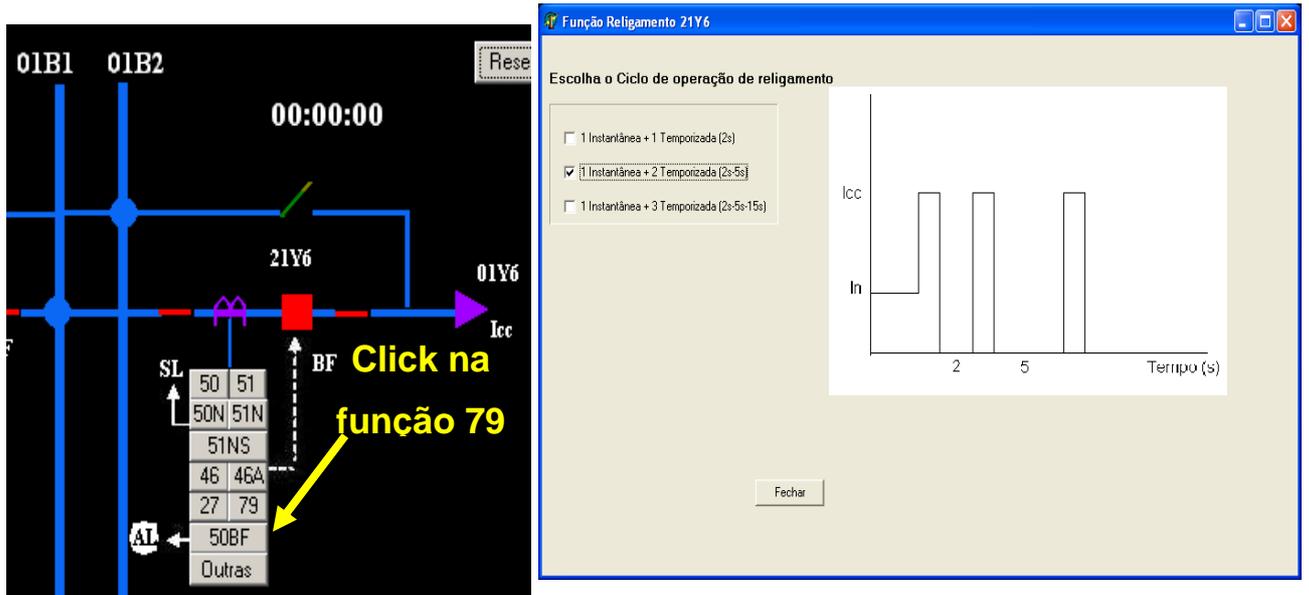


Figura 4. 33:Tela de opções dos ciclos de religamento.

Clicando no religador 21Y6 do alimentador surge a tela da Figura 4.34 onde se pode verificar o dimensionamento correto do religador quanto à capacidade de interrupção (clicando no botão verificar dimensionamento), corrente nominal, além das opções de escolha do religador de acordo com os dados de fabricantes.

Figura 4. 34:Tela de dados do religador.

Pode-se cadastrar o religador clicando no botão cadastrar religador conforme Figura 4.33 onde aparecerá a tela de cadastro da Figura 4.35.

Figura 4. 35:Cadastro de religador.

Para um controle dos relés existentes na subestação, podem-se cadastrar os relés com sua codificação operacional e os dados de fabricante conforme mostra a Figura 4.36. Essa tela surge quando se clica no botão cadastrar relé na Figura 4.34.

CodOperacional	FabricanteRele	ModeloRele	IndicedeTempo(dial)	Temporizado51
R21Y6	Team-Arteche1	PL-300 - Proteccion de Sobreintensidad	0,05 - 1,09 inc 0,01	0,10-200 inc - 0,01
R21Y5	Team-Arteche	PL-300 - Proteccion de Sobreintensidad neutro sensible	0,05 - 1,09 inc 0,01	0,10-200 inc - 0,01
21y6	weg	weg51	0	0
21Y2	Alstom	AL400	0	0
R2512	AREVA	ART25	1	0.1
21Y3	Siemens	S270	0,1 inc 8	0
21Y12	Motorola	MCC500	0,3-2 inc 0,01	0

Figura 4. 36:Cadastro de dados de relé.

4.3.3.16 Simulação do Cálculo da Potência de Curto Circuito pelo Método do MVA

No menu do sistema de distribuição, pode-se escolher o digrama de cálculo de curto circuito pelo método do MVA já mencionado no capítulo 3. No diagrama da Figura 4.37 tem-se 3 representações unifilares.

O primeiro unifilar é composto de dois transformadores 69/13,8kV em paralelo com uma fonte que representa a potência de curto circuito do restante do sistema. No segundo unifilar tem-se dois trafos 69/13,8kV em série com uma fonte que representa a potência de curto circuito do restante do sistema. O terceiro unifilar mostra apenas um trafo 69/13,8kV com uma fonte que representa a potência de curto circuito do restante do sistema. O que o programa calcula é a potência de curto circuito na barra de 13,8kV usando o método do MVA que considera as potências dos trafos, suas reatâncias e a potência equivalente do sistema. Clicando no botão calcular, o programa apresenta na coluna da direita os valores das potências de curto circuito. Com esses valores é possível avaliar a influência de transformadores em paralelo ou em série na potência de curto circuito, cujo valor é importante para dimensionamento dos dispositivos e ajustes de proteção.

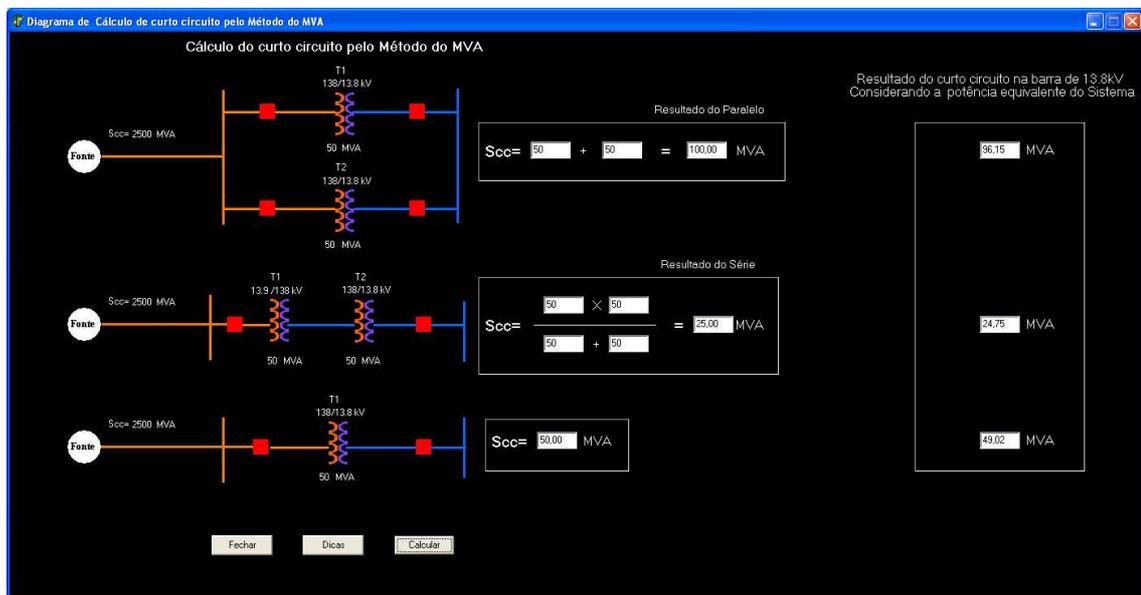


Figura 4. 37: Cálculo de curto circuito pelo método do MVA.

4.3.3.17 Simulação Relé versus Seccionizador

Na Figura 4.38 tem-se o diagrama simplificado com um religador e um seccionizador em um ramal de alimentação em 13,8kV.

Neste diagrama, clicando sobre o religador aparece a tela de dados do religador conforme Figura 4.39, e clicando sobre o seccionizador aparece a tela de dados da Figura 4.40.

Depois de selecionados os números de atuação do religador e do seccionizador pode-se simular e visualizar a atuação desses componentes durante uma falta, bastando para isso clicar no item Icc da Figura 4.38 para simular uma falta. Pode-se acompanhar o número de atuações desses equipamentos pelos contadores localizados abaixo do religador e ao lado do seccionizador.

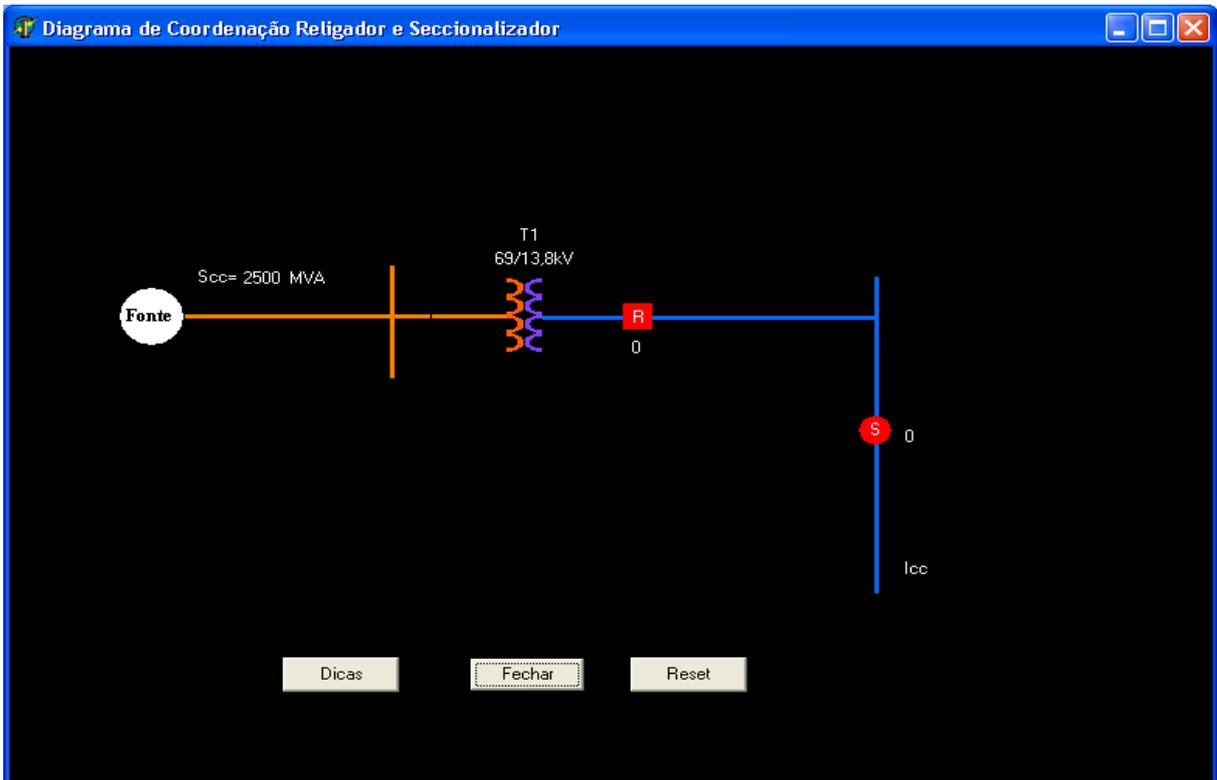
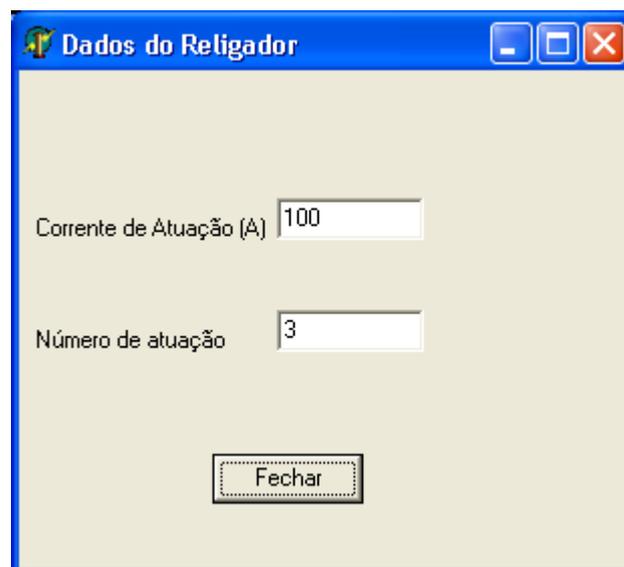


Figura 4. 38:Coordenação entre religador e seccionizador.



O formulário "Dados do Religador" contém os seguintes campos de entrada:

- Corrente de Atuação (A): 100
- Número de atuação: 3

Um botão "Fechar" está localizado na base do formulário.

Figura 4. 39:Dados do religador.

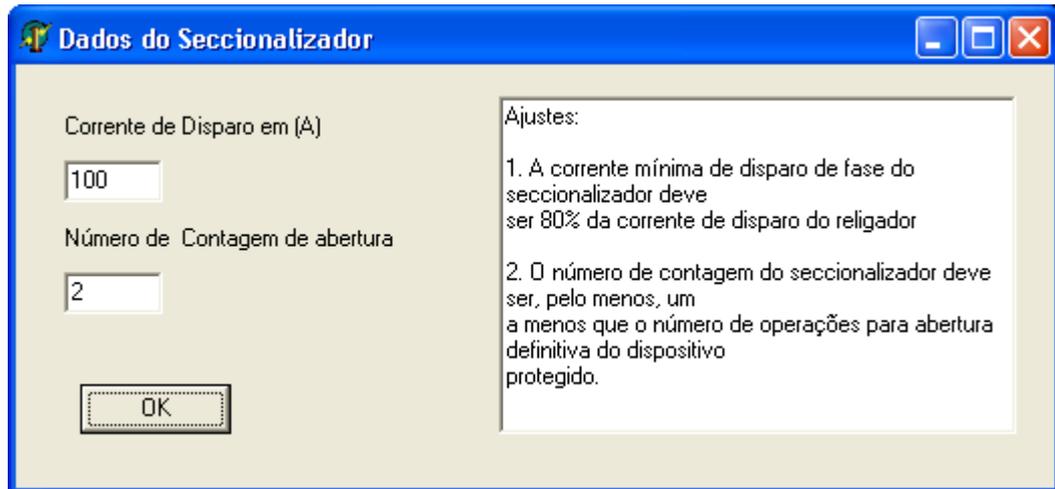


Figura 4. 40:Dados do seccionalizador.

4.3.3.18 Coordenação entre relés

Na Figura 4.41 tem-se o diagrama de coordenação entre relés. Clicando sobre os relés protegido e protetor, são solicitados os tempos de atuação de cada um e a margem de coordenação entre eles. Para simular uma falta, basta clicar no item Icc e verificar se os relés são coordenados ou não.

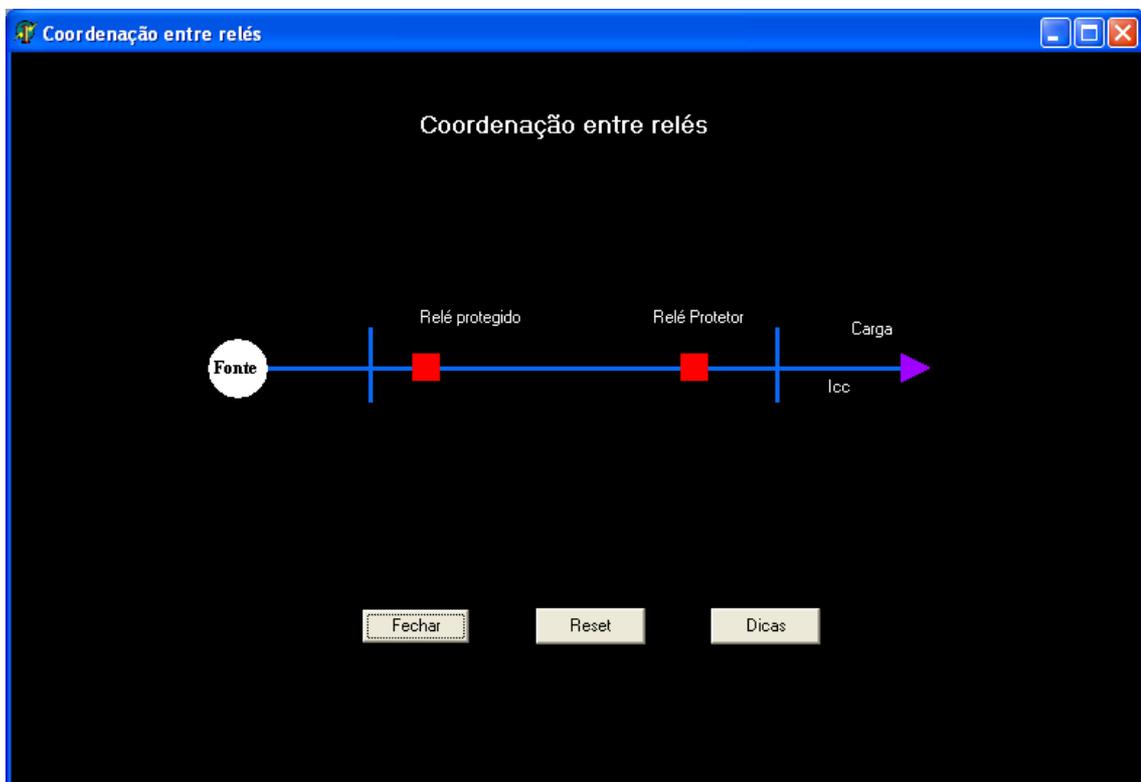


Figura 4. 41:Coordenação entre relés.

4.3.3.19 Coordenação ente Relé e Fusível

Na Figura 4.42 tem-se o diagrama de coordenação entre relé protegido do lado da fonte e o fusível protetor do lado da carga. Clicando sobre o relé protegido irá ser solicitado o tempo de atuação do relé e clicando sobre o fusível protetor é solicitado o tempo de fusão do elo fusível e o intervalo de coordenação. Para simular uma falta, basta clicar no item Icc e verificar se os componentes estão coordenados ou não.

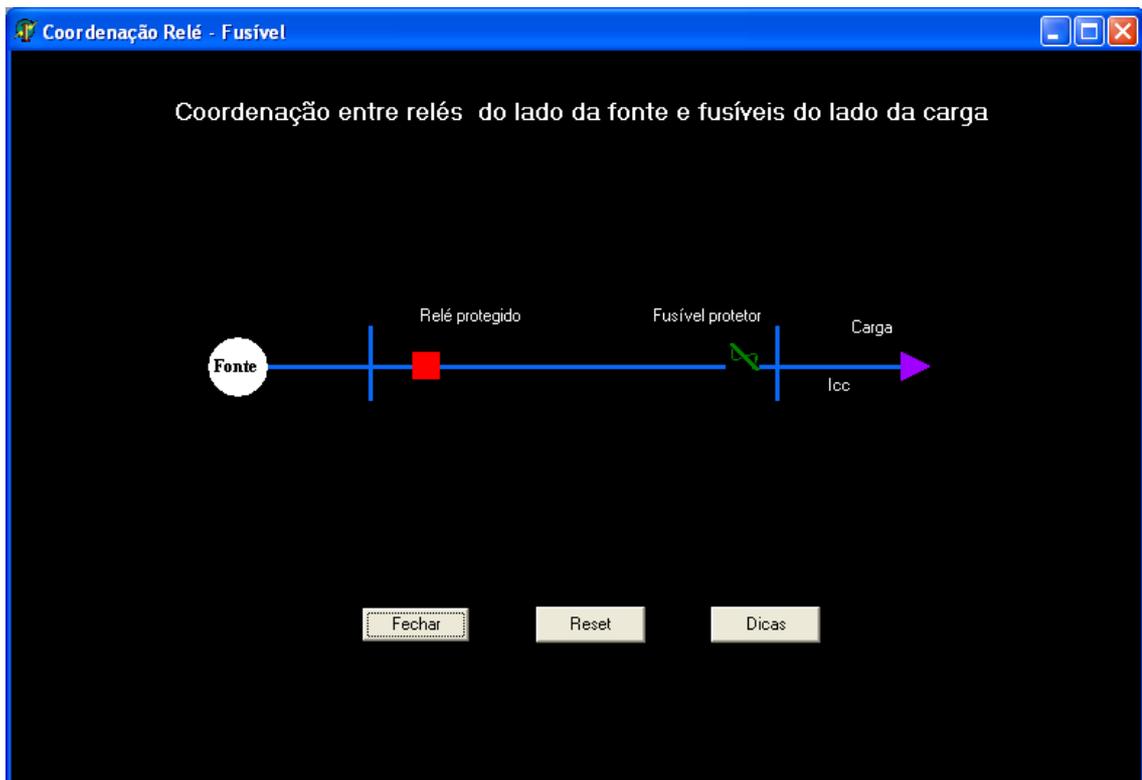


Figura 4. 42:Coordenação relé x fusível.

4.3.3.20 Coordenação Fusível versus Relé

No diagrama da Figura 4.43 tem-se a mudança das posições entre o relé e o fusível. Neste o fusível passa a ser o elemento protegido e o relé é o agente protetor. Assim como no diagrama anterior, clicando sobre os componentes são solicitados os tempos de atuação de cada um e a margem de coordenação.

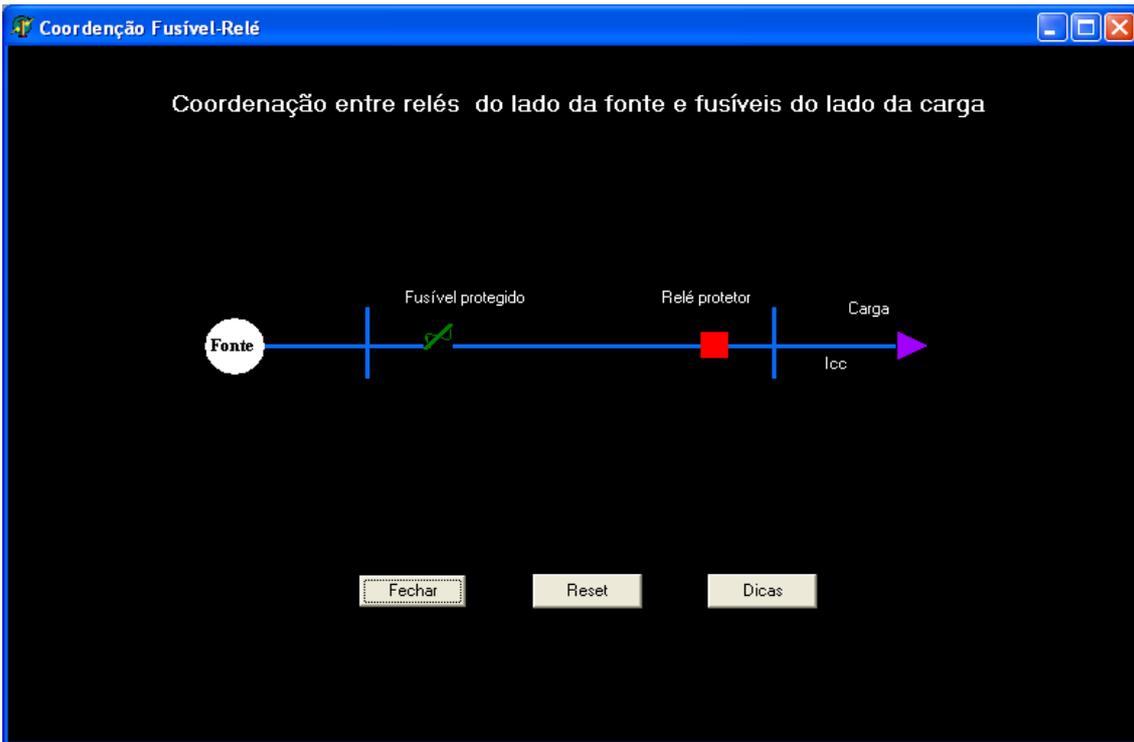


Figura 4. 43:Coordenação fusível x relé.

4.3.3.21 Coordenação entre Fusíveis

No diagrama da Figura 4.44 tem-se um fusível protegido do lado da fonte e o um fusível protetor do lado da carga. Assim como no diagrama anterior, clicando sobre os componentes são solicitados os tempos de atuação de cada um e a margem de coordenação.

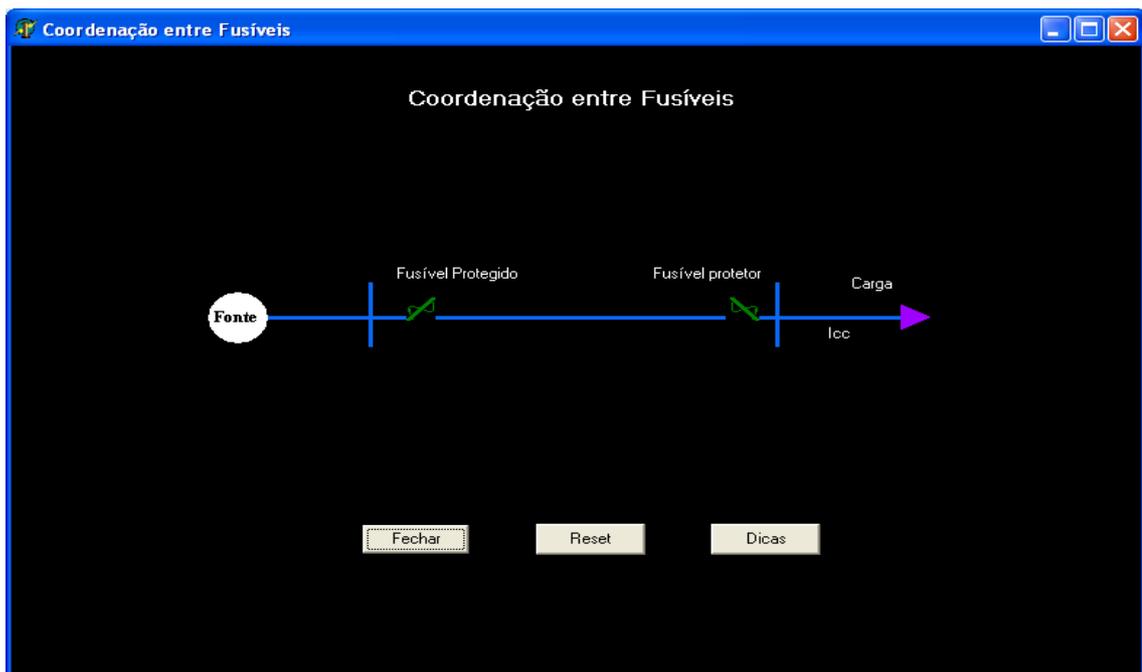


Figura 4. 44:Coordenação entre fusíveis.

4.3.3.22 Visão Geral de um Sistema Elétrico de Potência

O Simulador tem como uma de suas finalidades a demonstração visual dos conceitos de um sistema elétrico de potência, como mostrado na Figura 4.45, a geração, a subestação elevadora, a linha de transmissão, a subestação abaixadora e por fim a distribuição.

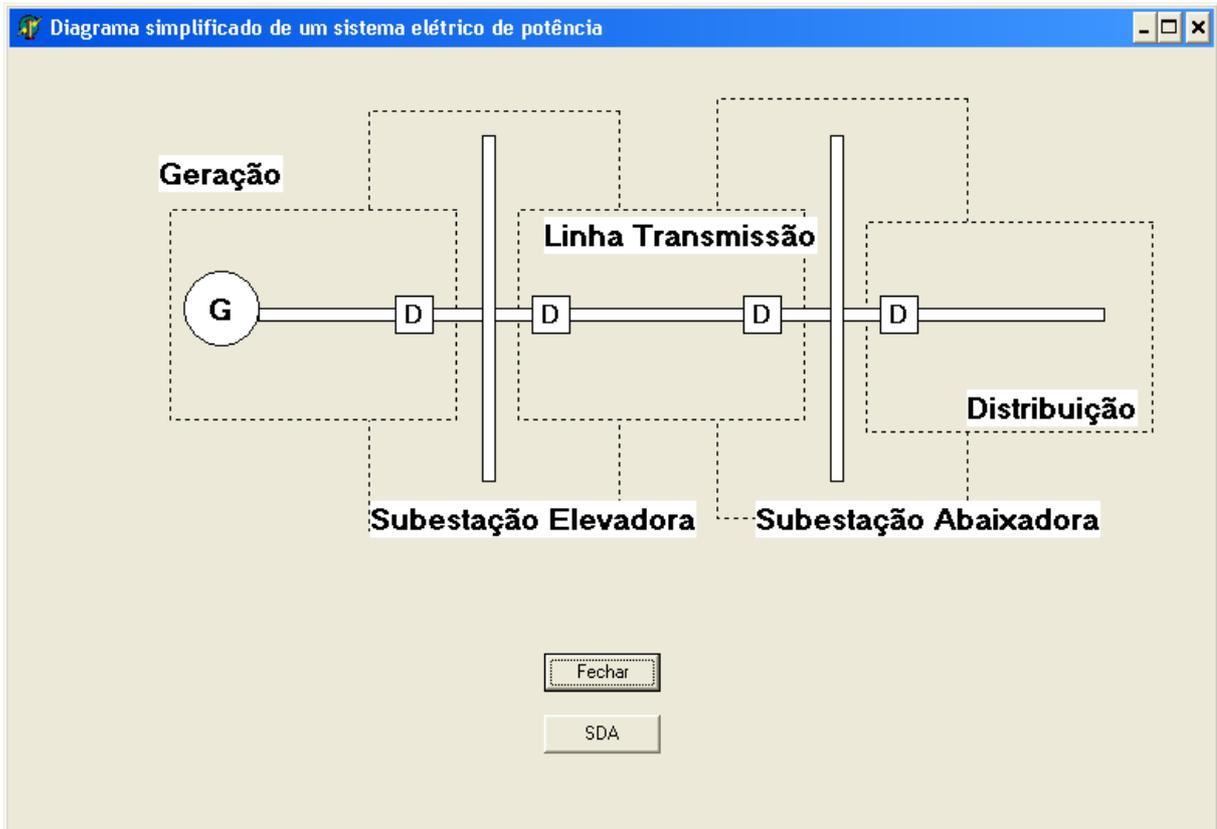


Figura 4. 45: Visão geral de um SEP.

4.3.3.23 Visão Geral de um Sistema Digital de Automação

Um outro conceito muito comum em subestações de energia é o sistema digital de automação (SDA). A Figura 4.46 demonstra os níveis 0, 1, 2 e 3 do SDA com figuras que representam cada nível conforme comentado no item 3.9 do capítulo 3.

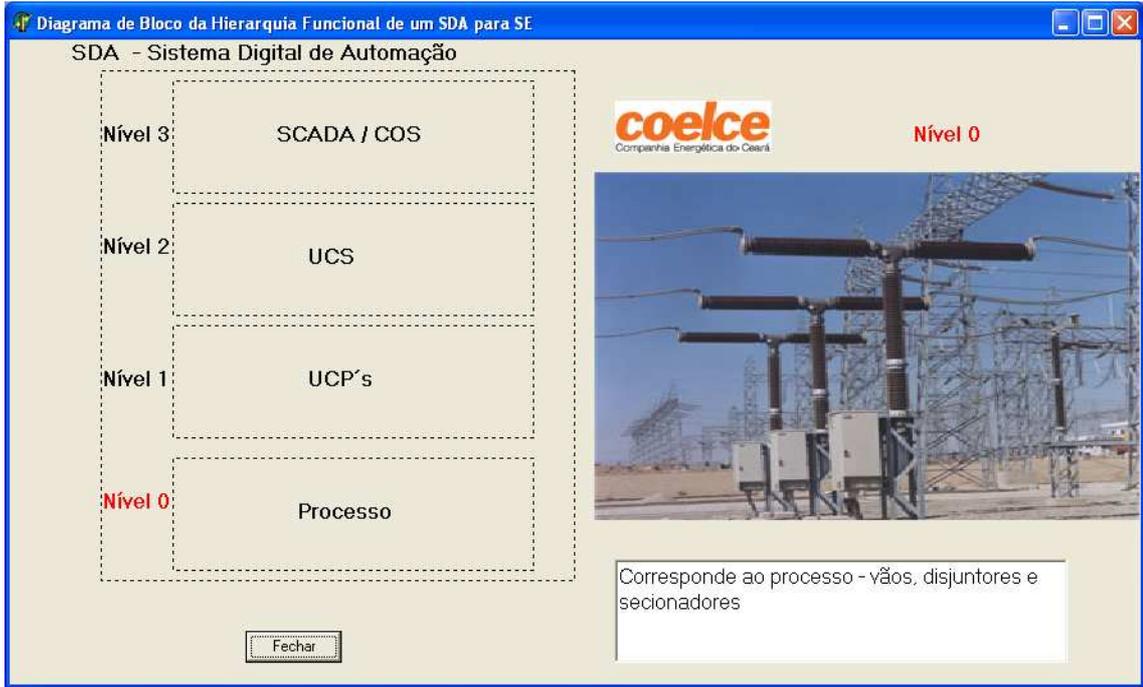


Figura 4. 46: Visão geral de um sistema digital de automação - SDA.

4.3.3.24 Simulação de Codificação Operacional - Diagrama Operacional

No menu diagramas da tela inicial do STOP, têm-se a opção de um exemplo de diagrama operacional de distribuição padrão Coelce conforme mostra a Figura 4.47. Na visualização do simulador através do TelEduc é possível ampliar a uma parte da tela através do botão *zoom*.

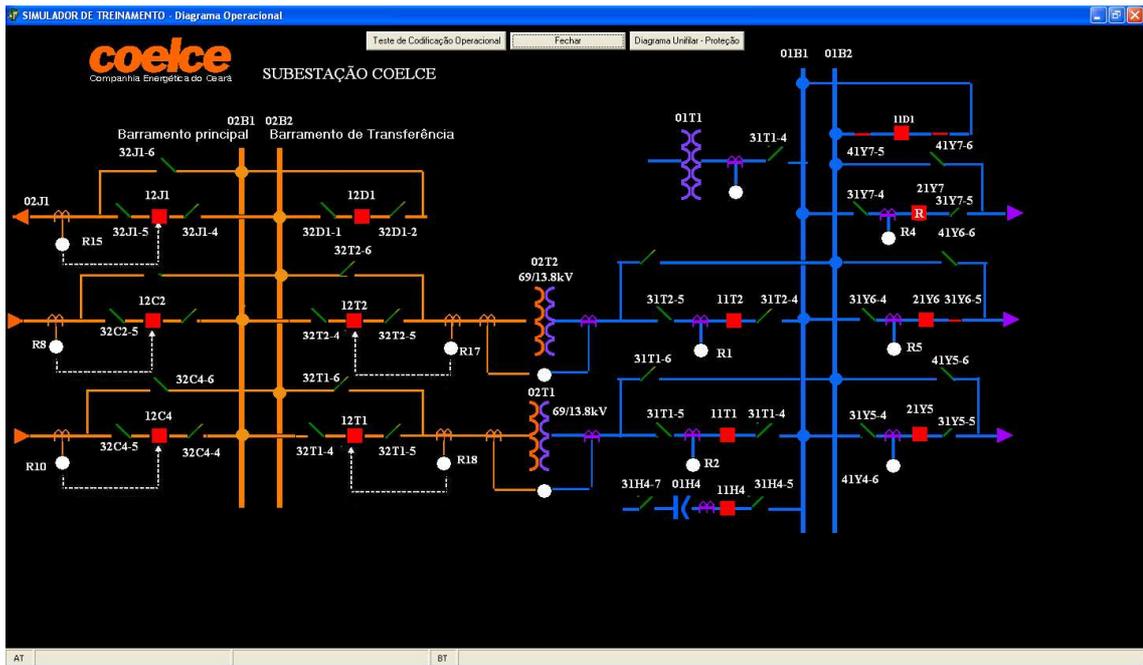


Figura 4. 47: Diagrama operacional de distribuição.

A metodologia adotada para simulação da Codificação Operacional segue o especificado no POP-13 - Procedimento Operacional da Coelce, cujo objetivo é padronizar a codificação para identificar os equipamentos de subestações e linhas de transmissão do sistema elétrico da COELCE.

Cada equipamento é identificado através de um código alfanumérico que o individualiza no sistema. Esse código é formado por 06 (seis) caracteres ou dígitos. O código tem o formato ou seqüência conforme quadro abaixo, tendo cada caractere um significado.

X	x	x	X		
1°	2°	3°	4°	5°	6°

- 1° - Tipo de equipamento;
- 2° - Tensão de operação do equipamento;
- 3° - Função ou nome do equipamento;
- 4° - Função associada ou seqüência do equipamento;
- 5° - Hífen para separação de dígitos;
- 6° - Posição ou função específica.

A importância do conhecimento da codificação operacional é grande, pois nas manobras e solicitação de desligamentos deverão constar os códigos de operação dos equipamentos envolvidos. Nos relatórios operacionais essas identificações deverão ser igualmente referidas e os equipamentos remanejados de uma subestação para outra somente deverão ser energizados depois de conhecidos seus novos códigos de operação.

Visando facilitar o aprendizado dos Operadores foi desenvolvido um módulo do STOP denominado Codificação Operacional baseado no POP-013. Nas figuras a seguir são apresentados o diagrama operacional e as simulações das codificações operacionais. Na Figura 4.48 é apresentada a formação da codificação operacional segundo o padrão Coelce (POP-013) dos diversos equipamentos de uma subestação em que os operadores de subestação trabalham diariamente, tais como disjuntor, seccionadora, pára-raio, transformador de potência, transformador de corrente, transformador de potencial, banco de capacitores, barramento, alimentadores e entradas e saídas de linha.

Esta é a codificação operacional padrão dos diversos equipamentos de uma subestação. A codificação é composta de 6 caracteres, onde cada caracter representa uma característica de identificação do equipamento no sistema.

1º Caractere 2º Caractere 3º Caractere 4º Caractere 5º Caractere 6º Caractere

Tipos de Equipamentos Faixa de tensão -----Código Função ou nome do Equipamento Seqüência nome do equipamento O quinto caractere é um t Definir a seqüência do equipamento

1ª 2ª 3ª 4ª 5ª 6ª

Notas:
 1: As letras (C, F, J, L, M, N, P, S, V e Y) são utilizadas para nomear linhas de transmissão ou de distribuição, guardando, quando possível associação ao nome da instalação.
 2: Quando existem dois equipamentos similares na mesma tensão de operação conecta dos a um terceiro equipamento estes serão identificados através do 6º caractere.

Fechar Teste Abrir POP-013

Figura 4. 48: Codificação operacional.

A metodologia para o treinamento em operação e proteção do sistema elétrico é orientada à leitura dos cursos sobre o conteúdo específico no ambiente virtual de aprendizagem dispendo de exercícios para validar o conhecimento apreendido. No simulador é possível, o (a) treinando (a) testar seus conhecimentos sobre codificação operacional em um diagrama unifilar de uma subestação típica, onde ele (a) terá que preencher a codificação operacional de cada equipamento da subestação conforme a Figura 4.49.

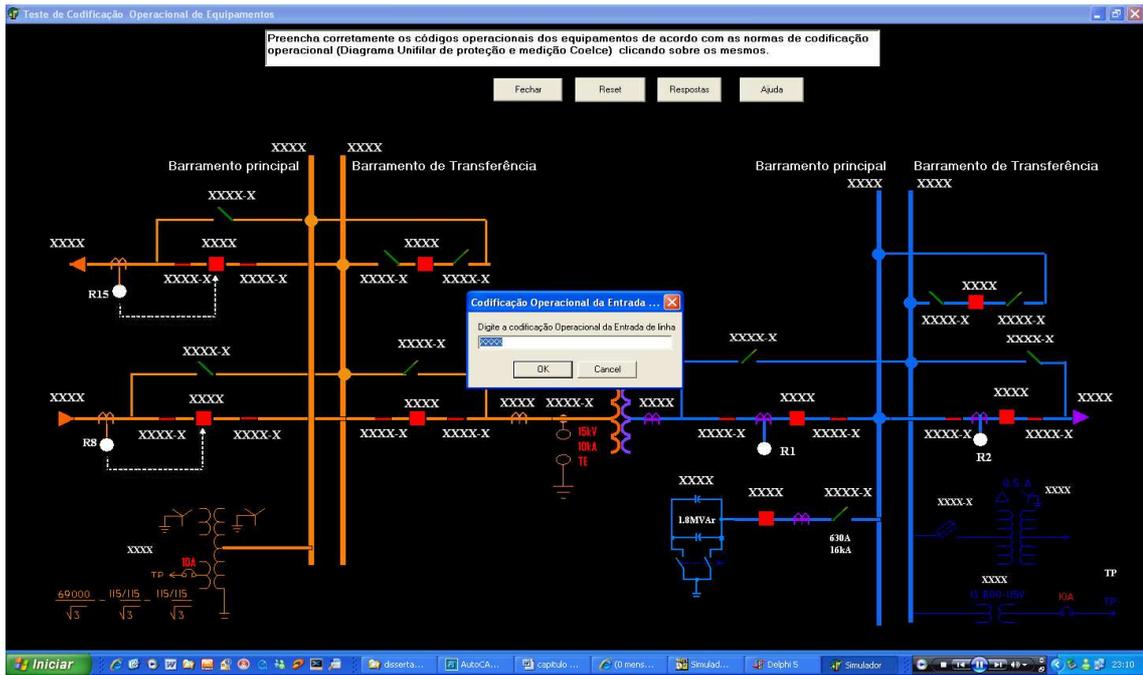


Figura 4. 49:Diagrama de simulação de codificação operacional.

O simulador apresenta certa interatividade com o usuário, apresentando mensagem de erro quando o usuário erra mais de 3 vezes, como mostra a Figura 4.50.



Figura 4. 50:Tela de Mensagem de erro cometido pelo usuário.

Após o *click* no botão ok, é automaticamente aberta a ajuda do simulador com o POP-13, conforme mostra a Figura 4.51.

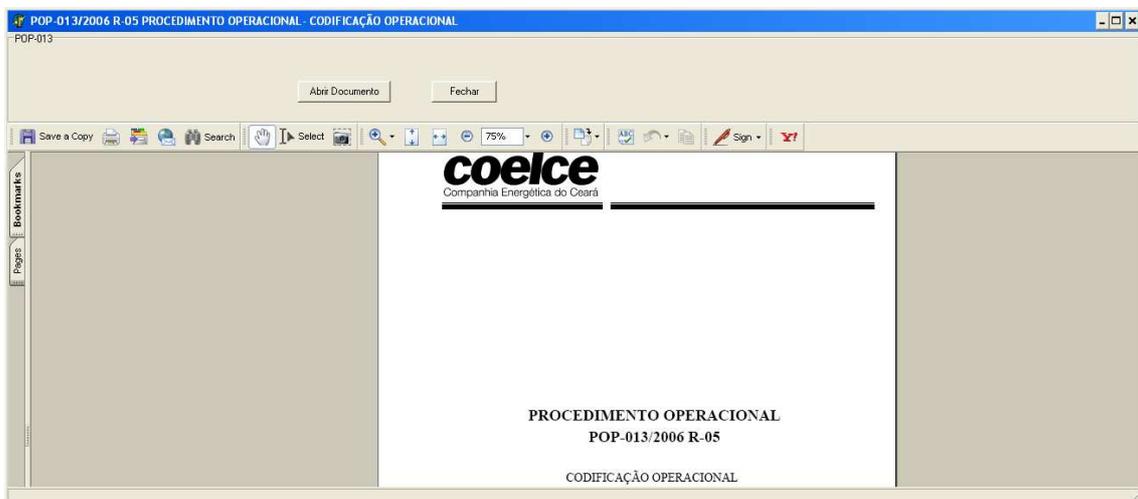


Figura 4. 51:Tela de abertura do POP-13.

Ao final do exercício é possível verificar as respostas da codificação operacional segundo o POP-13, bastando clicar no botão respostas.

A codificação operacional de disjuntor e de chaves seccionadoras de entrada de linha dependem da codificação operacional da entrada de linha, assim o simulador informa que deve ser inserido primeiro a codificação operacional da entrada de linha ao tentar inserir primeiro outra codificação primeiro conforme mostra a Figura 4.52.

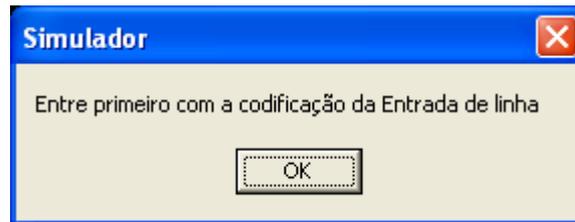


Figura 4. 52:Tela de alerta durante o teste de codificação operacional.

Um exemplo de tela de entrada da codificação operacional de uma entrada de linha é mostrado na Figura 4.53.

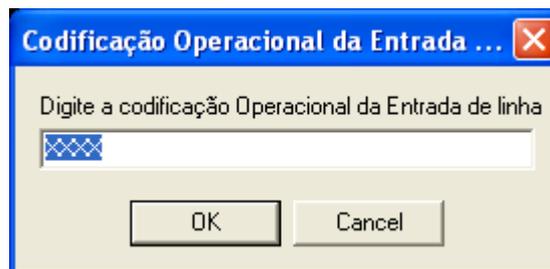


Figura 4. 53:Tela de entrada de codificação para entrada de linha.

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

O objetivo deste exemplo de caso é a simulação um curto circuito trifásico em um alimentador de 13,8kV e verificação da atuação das proteções de sobrecorrente instantânea e temporizada. Será considerada a seletividade lógica ativada para esta simulação.

A corrente de carga máxima no alimentador será de 500A, a corrente de curto circuito trifásico na barra de 13,8kV será de 15247A e o monofásico é de 16917A (dados Coelce). As entradas desses dados podem ser observadas nas Figuras 4.21 e 4.22.

O primeiro teste a ser feito é o de relação do TC do alimentador de 13,8kV pelos critérios da corrente nominal e de curto circuito. Clicando sobre o TC aparece uma janela com os Dados de configuração do TC. Para os valores padrão do TC de 600/5 A o critério de curto

circuito não é atendido como mostra a Figura 4.54, somente o critério da corrente nominal é atendido.

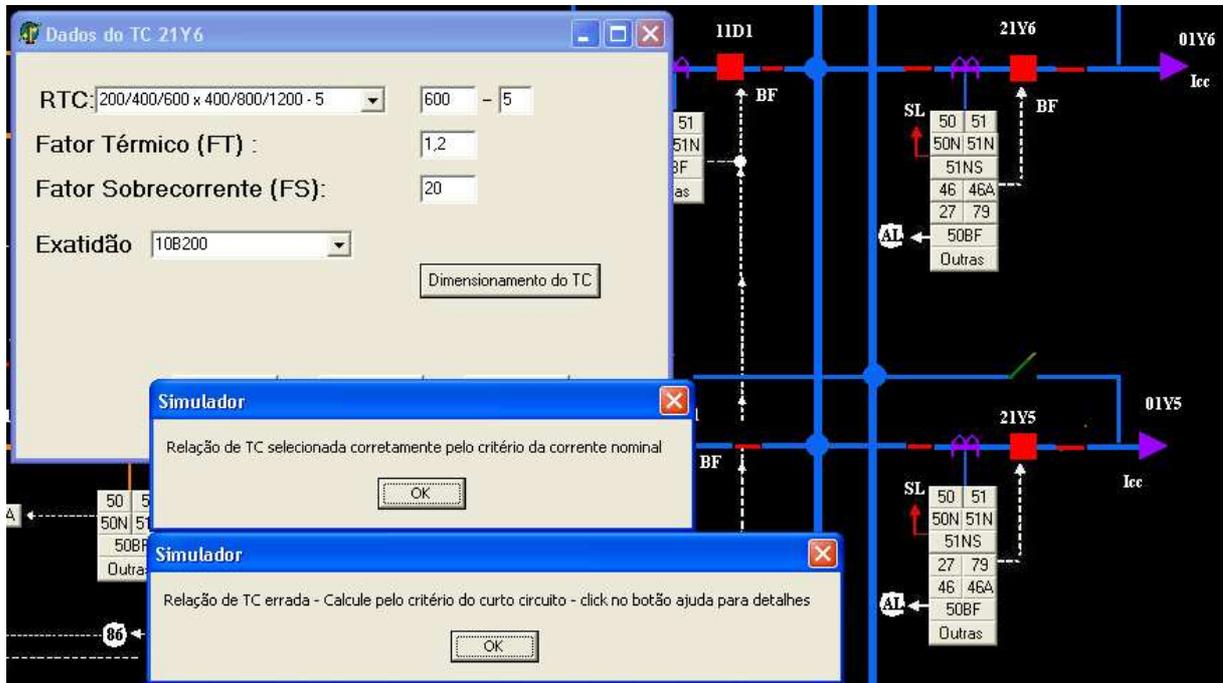


Figura 4. 54: Verificação do dimensionamento do TC

Para atendimento dos dois critérios acima citados é necessário mudar a relação do TC ou o fator de sobrecorrente. O valor de 1200/5A é a relação de transformação que atende os dois critérios de dimensionamento do TC, como pode ser visto na Figura 4.55.

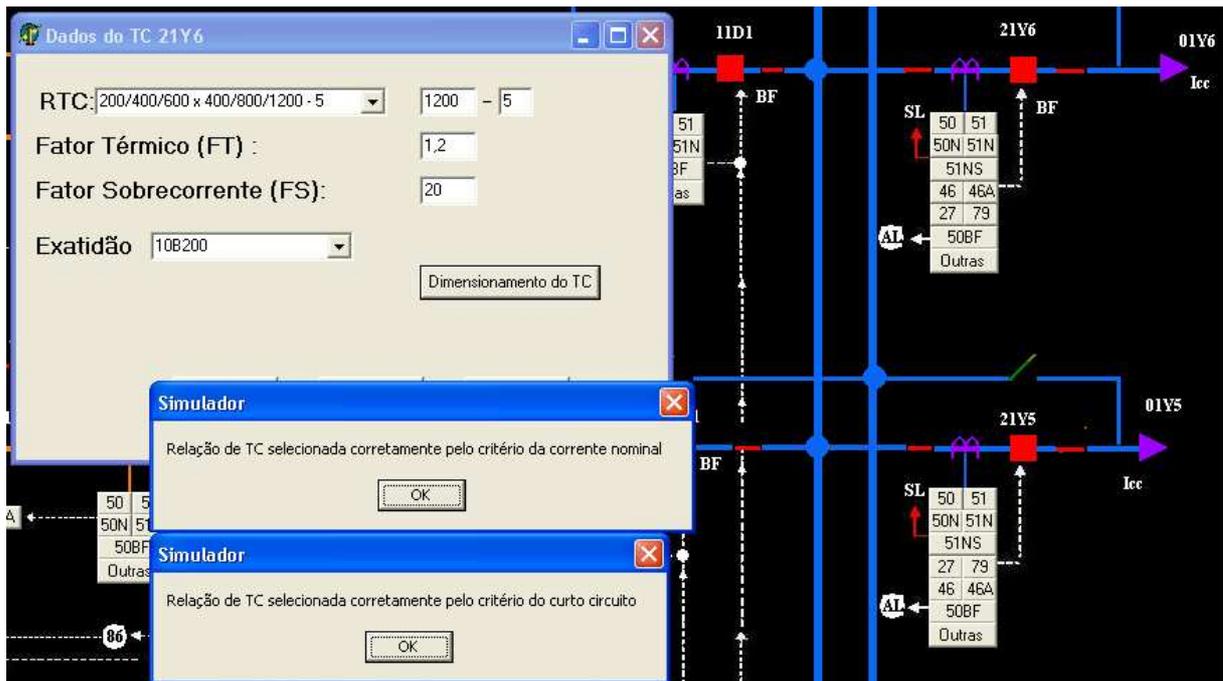


Figura 4. 55: Verificação do Dimensionamento adequado do TC.

Outro teste a ser feito é o de dimensionamento da capacidade de interrupção do religador conforme Figura 4.56.

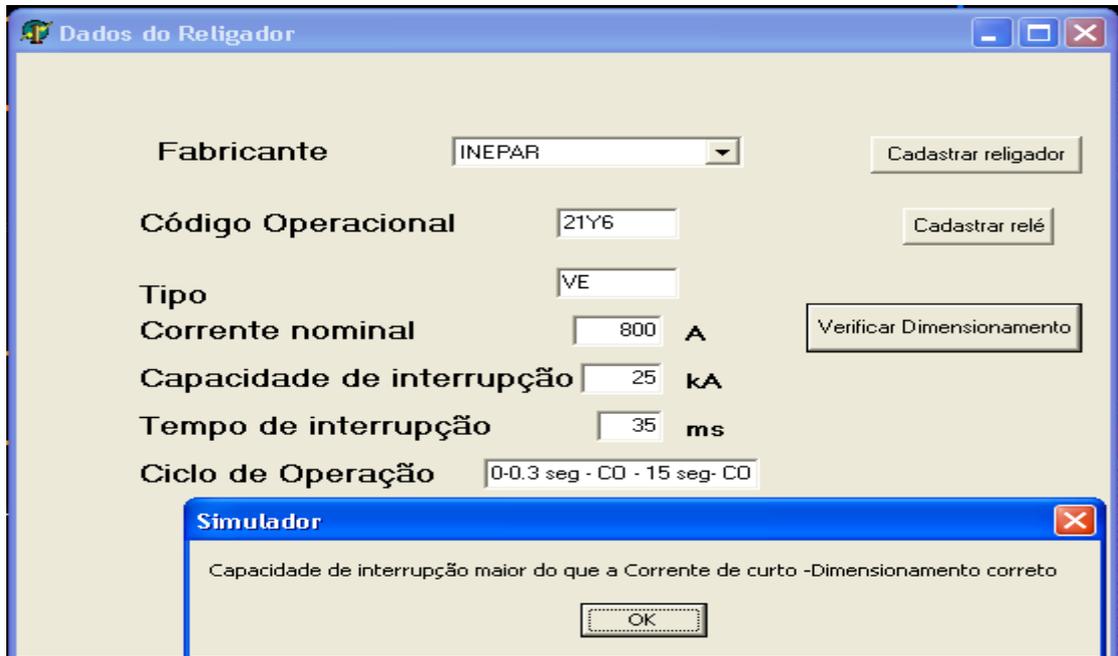


Figura 4. 56:Verificação do dimensionamento do religador.

Outra configuração a ser feita são os ajustes das funções de proteção de sobrecorrente instantânea e temporizada que podem ser realizadas clicando nos respectivos botões 50 e 51 do relé do alimentador 21Y6 do diagrama unifilar conforme Figura 4.55.

A corrente de *pick-up* da função de sobrecorrente temporizada é calculada conforme Figura 4.57 que leva em consideração o valor de relação do TC selecionado na tela da Figura 4.55. O seu valor de ajuste ficou em 600A, valor esse muito próximo do valor da corrente máxima de carga do alimentador de 13,8kV que é de 500A.

A corrente de *pick-up* da função de sobrecorrente instantânea (50) é calculada conforme Figura 4.58 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 3000A.

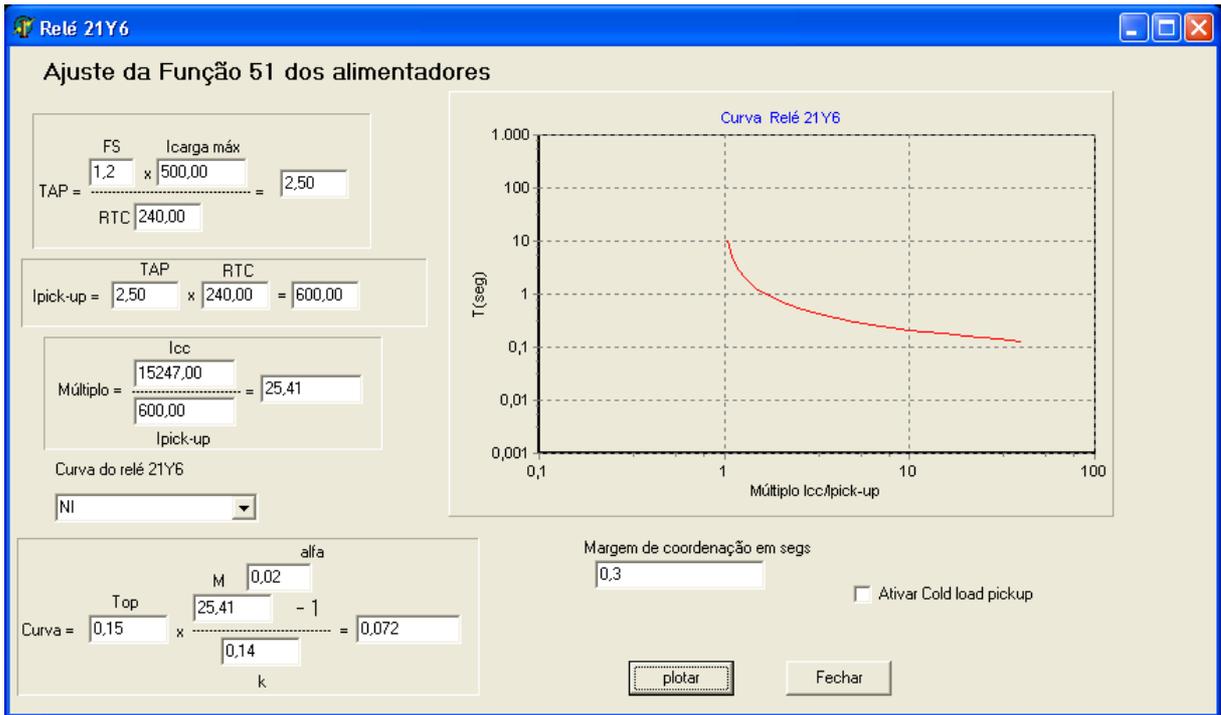


Figura 4. 57:Ajuste da função 51.

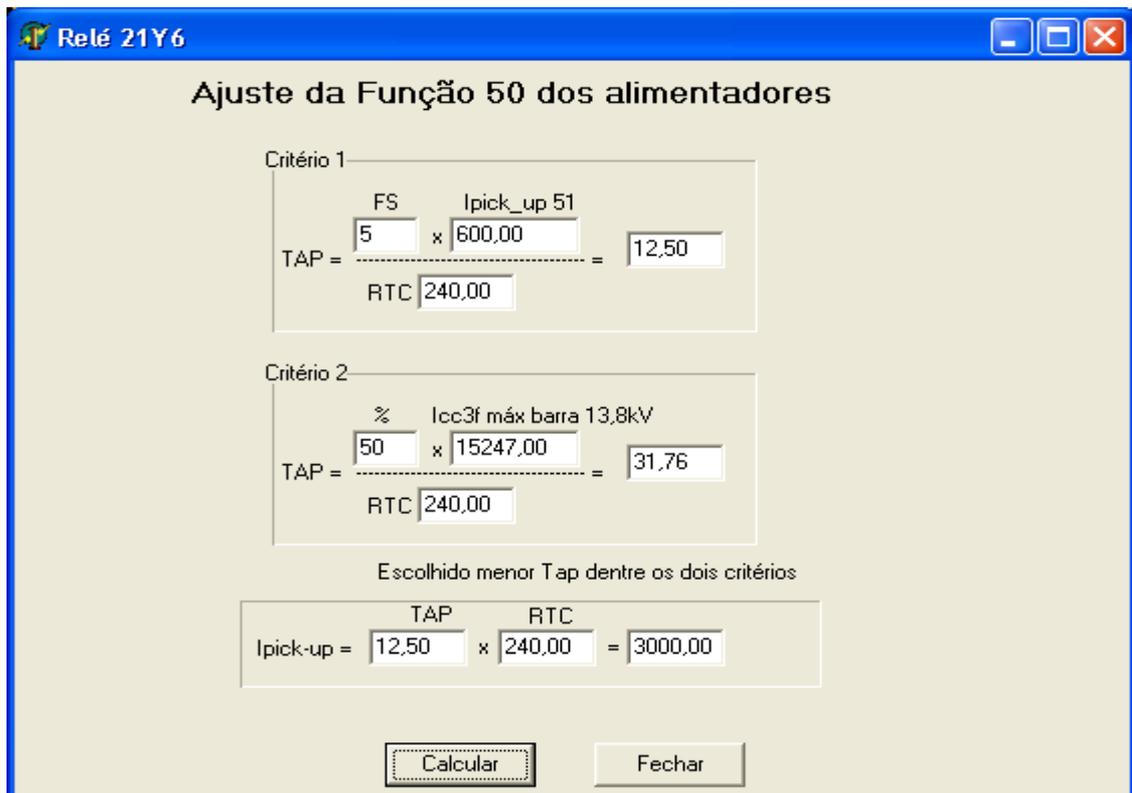


Figura 4. 58:Ajuste da função 50.

Com as funções de proteção ajustadas, podemos aplicar faltas trifásicas de valores diferentes para observarmos quais funções de proteção irão atuar.

Para uma falta trifásica de 500A , o relé não é sensibilizado por ser um valor de corrente abaixo do seu valor de ajuste ou de *pick-up* como pode ser visto na Figura 4.59.

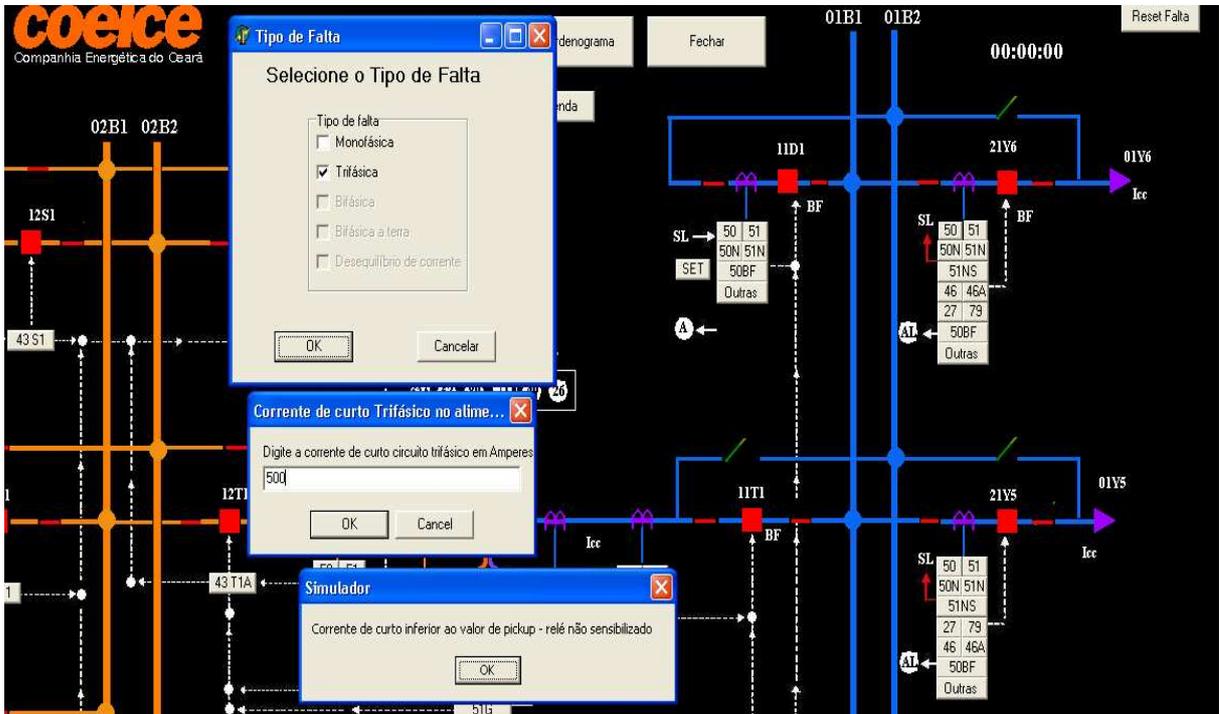


Figura 4. 59: Simulação de falta abaixo do valor de *pick-up*.

Para uma falta trifásica de 700A, o relé é sensibilizado e pela curva escolhida da função de sobrecorrente temporizada (51) o relé atua em 3,25 segundos conforme Figura 4.60.

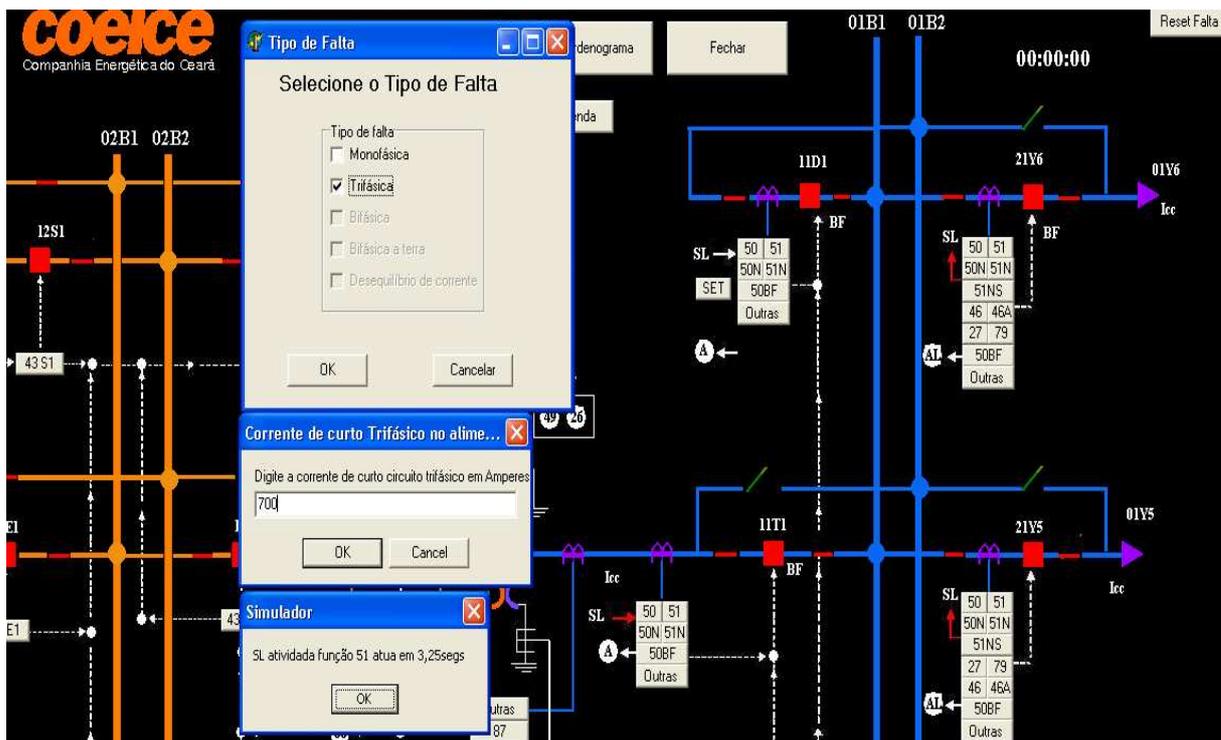


Figura 4. 60: Simulação de falta acima do valor de *pick-up*.

Para uma falta trifásica de 3000A, o relé é sensibilizado e a função de sobrecorrente instantânea (50) atua independente de curva de tempo, levando apenas o tempo de processamento do relé e o tempo de abertura dos contatos do religador para eliminação da falta conforme Figura 4.61.

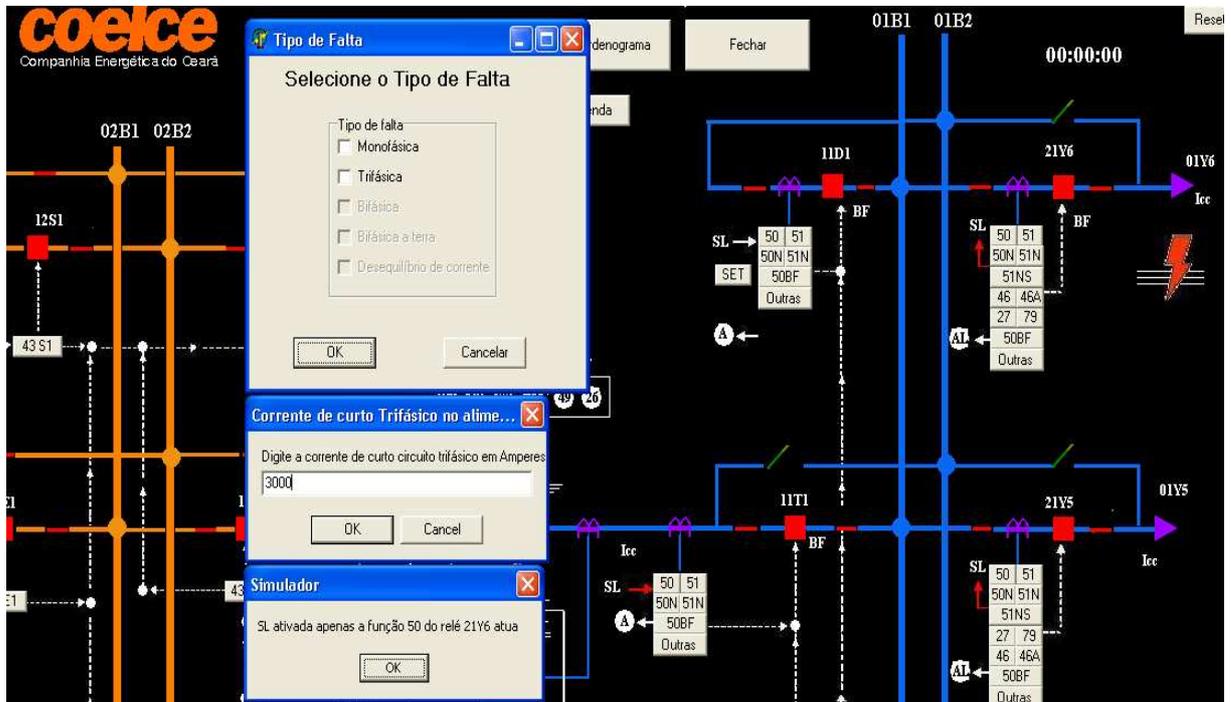


Figura 4. 61:Atuação da função 50 no alimentador de 13,8kV.

Neste capítulo foi apresentada a plataforma de EAD utilizada como recurso para aplicação dos cursos sobre proteção de sistemas elétricos de potência e o uso do simulador de proteção STOP desenvolvido neste trabalho para capacitação de pessoal.

Os recursos e funções que foram desenvolvidas no simulador de treinamento STOP, as telas do programa, simulação das funções de proteção, funcionamento do simulador com o ambiente de gerenciamento de ensino presencial e a distância foram apresentadas de forma didática onde os usuários possam aprender sobre assunto proteção da forma mais fácil e rápida possível, atingindo assim os objetivos deste trabalho.

CAPÍTULO 5 | CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho é resultado de uma seqüência de trabalhos desenvolvidos no Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará por um grupo de pesquisa que se estabelece seguindo a linha de estudos em ferramentas de apoio à operação de sistemas elétricos de potência e a cooperação com a concessionária de energia elétrica do estado do Ceará.

Neste contexto surgiu uma necessidade de um simulador para treinamento de proteção de sistemas elétricos de potência utilizando os recursos da internet para que o raio de alcance da disseminação do conhecimento fosse o maior possível.

Essa nova proposta de ensino e aprendizagem do tema de proteção com o desenvolvimento do STOP, foi apresentada neste trabalho, de forma a contribuir para a inclusão do conhecimento do tema de proteção até então pouco divulgada ou compreendida.

5.1 Conclusões

Apresenta-se, neste trabalho, um programa computacional elaborado em plataforma de desenvolvimento, que simula o funcionamento de um sistema de proteção digital de subestação típica, desde as etapas de tratamento das grandezas potência e corrente, processamento e comparação de grandezas, até as decisões de abertura do disjuntor ou religador e saídas do programa contendo informações sobre a atuação da proteção associada à perturbação.

As ferramentas de simulação fazem, portanto, com que os treinandos adquiram conhecimentos de uma forma participativa e não de forma simplesmente passiva ou observatória, mas para obter-se eficácia na aquisição dos conhecimentos ou desenvolvimento das habilidades práticas esperadas, o emprego de instrumentos didáticos virtuais requer um estudo estratégico/metodológico prévio aprofundado, diferenciado das técnicas e metodologias de ensino presenciais.

Este trabalho descreve um ambiente de aprendizagem a ser empregado em aulas de proteção de sistemas elétricos, onde se utiliza o computador e a Internet como ferramentas de auxílio em aulas presenciais e a distância. O sistema trabalha numa arquitetura cliente-

servidor, onde se integra servidor de aplicações e um servidor *web*, permitindo a concepção de simuladores que oferecem ao aluno um alto grau de interatividade. Neste trabalho, o sistema foi empregado para interação com o usuário sobre ajustes de proteção e simulações de atuação dos diversos dispositivos de proteção, apresentando resultados numéricos na forma de gráficos e animações em diagramas unifilares.

O emprego destes simuladores permite um maior grau de interatividade por parte do aluno, muito além dos livros-texto tradicionais.

A utilização da Internet na EAD tem mostrado que o futuro da educação tanto presencial como a distância tem crescente evolução tecnológica em um mundo globalizado.

Conforme afirma (LEVY,1999), “Torna-se necessária a adaptação dos dispositivos e do espírito do aprendizado aberto e a distância (AAD) no cotidiano e no ordinário da educação. É verdade que o AAD explora certas técnicas do ensino a distância, inclusive a hipermídia, as redes interativas de comunicação e todas as tecnologias intelectuais da cibercultura. O essencial, porém, reside num novo estilo de pedagogia que favoreça, ao mesmo tempo, os aprendizados personalizados e o aprendizado cooperativo em rede”.

Já esta posposta de nova metodologia mostra-se bastante eficiente e com resultados promissores, comprovando que a utilização de Sistemas de ensino a distância principalmente no contexto do ensino tecnológico é tema que deve ser mais explorado, pois há uma grande necessidade de disseminação sobre o assunto proteção.

O desenvolvimento do STOP irá auxiliar muito no treinamento e capacitação de profissionais que trabalham na área de proteção e operação dos Sistemas Elétricos de Potência, uma vez que este possibilita uma integração de conceitos e práticas de simulação sobre um tema indispensável tanto para planejamento como para manutenção e operação do sistema elétrico de potência. Formando pessoal especializado no tema de proteção faz com que se tenha um corpo de profissionais capazes de responder rapidamente as demandas que surgem no dia a dia do sistema elétrico.

5.2 Trabalhos Futuros

A proposta de se associar um simulador de proteção em um ambiente de ensino a distância é bastante promissora, porém no estágio de desenvolvimento ainda é necessário

algumas implementações e aprofundamentos na pesquisa para que o STOP esteja pronto para entrar em operação com a confiabilidade que a tarefa exige.

Alguns trabalhos podem ser propostos no sentido de dar um rumo às novas pesquisas nesta área, dentre eles destacam-se:

- Um estudo sobre as informações de sensibilização dos relés, uma vez que com estas informações pode-se aprimorar o diagnóstico de casos de descoordenação do sistema de proteção;
- Incrementar novas funcionalidades ao STOP tais como Ajuste para proteção diferencial de transformador;
- Cálculo das correntes nominais dos transformadores e dos vãos da subestação a partir das correntes de carga dos alimentadores
- Integrar relés numéricos de diferentes fabricantes, diferentes protocolos de comunicação, diferentes funções de ajuste, e responsáveis pela proteção de diferentes vãos do sistema elétrico ao STOP.
- Parametrizar os relés a partir do STOP.
- Avaliar a interoperabilidade e interconectividade do sistema de proteção.
- Avaliar a coordenação do sistema de proteção a partir do coordenograma do STOP.
- Gerar a planilha de Ordem de Ajuste das Proteções (OAP) e a planilha de dados dos equipamentos a partir dos dados do STOP.
- Desenvolver mecanismo para a geração de eventos de modo a levar à atuação dos relés.
- Capturar os registros dos relés via STOP.
- Desenvolver nova versão do STOP em Java.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, P. M. Power System Protection. IEEE Power Engineering Series. New York: McGraw-Hill/IEEE PRESS. 1998.

ARAÚJO, Antônio Sérgio de. Treinamento de Operadores de sistema Utilizando Simulador amigável no Centro de Regional de Operação de Sistema Leste, 3º Simpósio de Especialistas em Operação de Centrais Hidrelétricas, Foz do Iguaçu, Paraná – Brasil, de 5 a 9/11/2002.

ASSIS, A. J.; RODRIGUES, S.; BATISTA, L. M. F. L. “Utilização de pacotes computacionais como apoio didático ao ensino de graduação em engenharia química”. Anais do XIII Congresso de Engenharia Química. Águas de São Pedro - SP, 2000.

BELLONI, M. L. Educação a distância. Campinas, SP: Autores Associados, 2003.

BEZERRA, J. R., “Metodologia para Desenvolvimento de Sistema de Diagnóstico de Falhas em Subestações do Sistema Elétrico de Potência Baseado em Redes de Petri”. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará – UFC, 2004.

CAMINHA, Amadeu C. Introdução à Proteção dos Sistemas Elétricos. 2ª ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda. 1981.

CERCEAU, A. D. Formação à Distância de Recursos Humanos para a Informática Educativa. Campinas: Instituto de Computação da UNICAMP, (Dissertação de Mestrado em Ciência da Computação), 1998. 118 p.

COELCE, Critérios de projeto Padrão. CP-011- Subestação de distribuição aérea e semi-abrigada 72,5-15 kV, 2003.

COURY, Denis Vinicius. Introdução aos Sistemas Elétricos de Potência São Carlos 2007.

DEDE, Chris. Emerging Influences of Information Technology on School Curriculum. Journal of Curriculum Studies. New York, 2000.

FIALHO, F. A. P. Ciências da Cognição. Florianópolis: Insular, 2001.

FUZETO, Jairo. Treinamento a distância de operadores com infotecnologias e recursos da web na era da cibercultura – A experiência da CESP. SNPTEE, Uberlândia, Minas Gerais, 2003.

GERS, Juan M, Protection of Electricity Distribution Networks, 2nd Edition, Institution of Electrical Engineers, 2004.

IEC 255-3 -Internacional Electrotechnical Commission. IEC 255-3 –Electrical Relays - Part 3 – Single Input Energizing Quantity Measuring Relays with Dependent or Independent time. September, 1992.

JUNIOR PARADELO, Romildo de Campos - Proteção de sobrecorrente em sistemas de distribuição de energia elétrica através de abordagem probabilística – USP dissertação de mestrado, 2006.

KORCZAGIN, Marcos Alberto – Revista EAD 2004; Disponível em: <<http://www.nead.uncnet.br/2004/revistas/ead/5/3.pdf>>.

LAKERVI, Erkki; HOLMES, E J. Electricity Distribution Network Design, (IEE Power Engineering Series), 2nd Edition, Peter Peregrinus, 1995.

LEITE, Carlos Roberto R, OLIVEIRA, João José Rodrigues de, OLIVEIRA, Jaldemir Gomes de. O Uso de Simuladores no Treinamento de Operadores da Chesf como Ferramenta

Para Disseminação de Conhecimentos na Operação do Sistema Elétrico. Projeto de P&D da Chesf em Parceria do CEPEL 2002.

LÉVY, Pierre. As tecnologias da inteligência. O Futuro do pensamento na era da informática. Rio de Janeiro:Ed. 34, 1993.

LIMA, L. J. La sociedad y la reinención de la Universidad. Texto apresentado no Seminário Internacional Universidade XXI. 2003. Disponível em <<http://www.mec.gov.br/univxxi/>> Acesso em: 01 abr.2007.

LIMA, Reinaldo Teixeira. Proteção de Sistemas Elétricos. Ceará: [s.n.], [n.p.]1994.

LUCENA, C. J. P., FUKS, H., MILIDIÚ, R., LAUFER, C., BLOIS, M., CHOREN, R., TORRES, V., DAFLON, L. AulaNet: Helping Teachers to Do Their Homework. Multimedia Computer Techniques in Engineering Education Workshop, Latin American Academic Training n. ALR/B7-3011/94.04-4.0161, Technische Universitat Graz, Graz, Austria, 16-30. 1998.

MAMEDE FILHO, J. Manual de equipamentos Elétricos, Ed. LTC – Livros técnicos e científicos, Rio de Janeiro: vol: 1, 2ª edição, pp 53-74, 173-219,309-521, 1994.

MARTINS, Eduardo Luiz. Elektro Eletricidade e Serviços S.A. Simulador de Treinamento de Operação de Subestações à Distância. 4º Seminário Nacional de Operadores de Sistemas Elétricos. Fortaleza-CE, Maio 2008.

MARTINS, Onilza Borges; POLAK, Ymiraci Nascimento de Souza. Curso de Formação em Educação a Distância – UniRede: módulo 1: fundamentos e políticas de educação e seus reflexos na educação a distância / [Universidade Federal do Paraná]. Curitiba: MEC/Seed, 2000.

MARTINS, Onilza Borges; POLAK, Ymiraci Nascimento de Souza. Módulo 3: educação e comunicação em EAD / [Universidade Federal do Mato Grosso e Universidade Federal do Paraná] Curitiba: NEAD/UFPR, 2001.

MELO, Leonimer Flávio de Melo , MELONI, Luís Geraldo P. Departamento de Comunicações FEEC – Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas , Ensino de Engenharia de Tráfego Através da Internet Colabor@ - Revista Digital da CVA – RICESU ISSN 1519-8529 Colabora, Curitiba, v.1, n.4 – p. 45-50, maio 2002.

MIRANDA, Antônio Ricardo C, OLIVEIRA, Jaldemir Gomes de. A experiência Chesf interligando os simuladores entre os centros de operação durante os simulados —Drill Coelce“ e —Drill-NE/2007“. 4º Seminário Nacional de Operadores de Sistemas Elétricos. Fortaleza-CE, Maio 2008.

MORAIS, Maurílio Faria, ROSA, Luis Carlos. Simulador para Treinamento do Serviço Auxiliar de Corrente Alternada da Usina de Marimbondo. 3º SEPOCH - Simpósio de Especialistas em Operação de Centrais Hidrelétricas, Foz do Iguaçu – Paraná, 2002.

MOURA, A. I.; VEIGA, R. T.; GONÇALVES, C. A. O ensino a distância pela Internet: conceito e proposta de avaliação. In: XXII Encontro Nacional de Pós-Graduação E Pesquisa em Administração, Foz do Iguaçu. Anais Foz do Iguaçu: Anpad, 1998. 1 CD-ROM.

NBR 5460, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5460: “Sistema Elétrico de Potência –Terminologia”. pp. 1-63, Abril, 1992.

NBR 5465 – Associação Brasileira de Normas Técnicas Eletrotécnica e eletrônica – relés elétricos - Terminologia. Rio de Janeiro, 1981.

NUNES, I. B. Noções de educação à distância. In: REVISTA EDUCAÇÃO À DISTÂNCIA. Brasília. Disponível em: <<http://www.ibase.org.br/~ined/ivonio1.html>> Acesso em : 04 fev.1998.

OEIRAS, J. Y. Y. ACEL: Ambiente Computacional Auxiliar ao Ensino/Aprendizagem a Distância de Línguas. Campinas: Instituto de Computação da UNICAMP,. 154 p. (Dissertação, Mestrado em Ciência da Computação),1998.

OLIVEIRA, Jeder Francisco de. Modernização de Ferramentas de simulação para estudos de proteção – experiência da CEMIG. VI STPC – Seminário Técnico de proteção e controle - Natal –RN,1998.

PINTO, Moisés Varão Pinto Filho. Sistema de Ajuste de Proteção – SETTIME, VI STPC Seminário Técnico de proteção e controle. Natal – RN, 1998.

ROSEMBERG, M. J. Learning Through Online Collaboration In: Beyond E Learning, Approaches and Technologies to Enhance Organizational Knowledge, Learning, and Performance, Pfeiffer. (capitulo 4 , item 4.2 ultimo parágrafo), 2006.

SAMPAIO, R. F., “Sistema de Diagnóstico de Falhas para Subestações Baseado em Redes de Petri Coloridas”. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Ceará – UFC, 2002.

SCHNEIDER ELECTRIC INDUSTRIES SAS. Sepam Series 40 – Merlin Gerin – Installation and User´s manual – Ref PCRED 301006EN/2 – ART. 08556, Grenoble, França , 2003.

SOARES, José Marques. LEITE, Fabrício da R. MATTOS, César Lincoln C. BARROSO, Giovanni Cordeiro. SAMPAIO, Raimundo Furtado. LEÃO, Ruth P.S. Acesso Remoto e Compartilhamento de Simuladores através de Ambientes Virtuais de Aprendizagem, SBIE - Simpósio Brasileiro de Informática na Educação, Brasília – DF, 2006.

SPERANDIO, Mauricio. NETO, Edison A.C. ARANHA. Sica, Everton T. Trevisan, Felipe. Coelho, Jorge. Ramos, Rodrigo. AUTOMATA: Software para alocação de chaves automáticas em redes de distribuição. VII SIMPASE, Agosto de 2007.

TEIXEIRA , Eugênio, de Castro. LOPEZ, Roberto Martinez. Ruy, Orlando Luiz. SANTOS, Luiz Alberto dos. FREITAS, José Antônio Simionato de. Treinamento de Operadores de Subestações E Despachantes Utilizando Simulador de Treinamento para Operação de Sistemas Elétricos. V-SIMPASE - Simpósio de Automação de Sistemas Elétricos, Recife, 2003.

T.-H. Chen. Complex short circuit MVA method for power system studies IEEE Proc.-Gener. Transm. Distrib., Vol. 141, No. 2, March 1994.

TUSSET, Angelo Marcelo - AS TECNOLOGIAS E SUA INFLUÊNCIA NA EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA, 2004 Disponível em: <<http://www.nead.uncnet.br/2004/revistas/ead/7/72.pdf>>

UCB - Universidade Católica de Brasília. Centro Católica Virtual/Educação a Distância. Curso de pós-graduação lato sensu em educação a distância. UEA - Conceituação e Contextualização Histórica. Disponível em: <http://www.catolicavirtual.br/conteudos/ead_esp/uea1/proposicoes.asp> . Acesso em 24 set. 2005. Acesso ao conteúdo com login e senha.

VALENTE, José Armando (org.). O Computador na Sociedade do Conhecimento. Campinas: UNICAMP/NIED, 1999.

WOLLENBERG, B.F. Power System Operation and Control. In: Grigsby, L.L The Electric Power Engineering Handbook. Auburn, Alabama: CRC Press/IEEE Press, 12, p. 12.1-12.53, 1998.

YUEN, M.H.: 'Short circuit ABC' Gas Industries Association, San Francisco, 1975.

APÊNDICE - PUBLICAÇÕES

Os trabalhos publicados referentes ao simulador de treinamento de proteção STOP foram os seguintes:

ICECE2007 – International Conference on Engineering and Computer Education. Sistema Simulador para Treinamento de Proteção e Operação de Sistemas Elétricos – STPO. Santos-SP, Brasil, 2007.

V SNCA – V Seminário Nacional de Controle e Automação Industrial, Elétrica e de Telecomunicação. Simulador de Proteção e Operação de Sistemas Elétricos para Capacitação Presencial e a Distância de Profissionais do Setor Elétrico. Salvador –BA, Brasil, Jun.2007.

XII ERIAC – Décimo Segundo Encontro Regional Ibero Americano do CIGRE. Simulador para treinamento presencial e a distância de proteção e operação de sistemas elétricos. Foz do Iguaçu - Pr, Brasil, Mai.2007.

IV CITENEL - IV Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica. Desenvolvimento de Sistema de Treinamento em Proteção de Sistemas Elétricos em Ambiente Virtual de Aprendizagem. Araxá – MG, Brasil, Nov.2007.

SENOP - 4º SEMINÁRIO NACIONAL DE OPERADORES DE SISTEMAS ELÉTRICO. Sistema de Treinamento em Proteção e Operação de Sistemas Elétricos em Ambiente Virtual de Aprendizagem. Fortaleza-CE, Brasil, Mai.2008.