

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE ENGENHARIA INDUSTRIAL ELÉTRICA - ÊNFASE ELETROTÉCNICA

DANIEL FIORINI DA SILVA
LIN YU MING
PEDRO HENRIQUE DE ALMEIDA

**SISTEMA DE PROTEÇÃO ATRAVÉS DO USO DE RELÉS
MICROPROCESSADOS PARA SUBESTAÇÕES ELÉTRICAS DE
ALTA TENSÃO PADRÃO COPEL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO 2

CURITIBA
2014

DANIEL FIORINI DA SILVA
LIN YU MING
PEDRO HENRIQUE DE ALMEIDA

**SISTEMA DE PROTEÇÃO ATRAVÉS DO USO DE RELÉS
MICROPROCESSADOS PARA SUBESTAÇÕES ELÉTRICAS DE
ALTA TENSÃO PADRÃO COPEL**

Proposta de Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Elétrica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cícero Fritzen

CURITIBA

2014

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Deus, pelo dom da vida e da inteligência que nos guiou até essa etapa final do curso.

Agradecemos a nossas famílias, pela oportunidade de estudar, pelos apoios incondicionais nos momentos difíceis, sempre nos incentivando a continuar essa caminhada para a busca de conquistas para nosso futuro.

Ao professor Dr. Paulo Cicero Fritzen, pela sua grande colaboração, orientações pacientes, principalmente na área proteção de sistemas elétricos para o desenvolvimento de nosso trabalho.

Ao professor Dr. Raphael Augusto de Souza, pela sua grande contribuição ao nos ensinar, os princípios de sistemas elétricos de potência, principalmente no cálculo de impedância de linhas de transmissão e princípios de cálculo de curto circuito.

Ao professor Dr. Gilberto Manoel Alves, pela sua grande contribuição e orientação a temas relacionados a linhas de transmissão, tendo passado seus conhecimentos técnicos e acadêmicos para melhor qualidade deste trabalho.

Aos colegas de classe e amigos que fizemos durante o curso, pelas suas presenças nas madrugadas de estudo e todo esse período de graduação, tornando esses anos memoráveis.

Aos amigos e colegas do trabalho, com seus auxílios para realização deste trabalho.

RESUMO

ALMEIDA, Pedro Henrique; DA SILVA, Daniel Fiorini; MING, Lin Yu. **Sistema de proteção através do uso de relés microprocessados para subestações elétricas de alta tensão padrão COPEL**. 2014. 156f. TCC (Trabalho de Conclusão de Curso) – Engenharia Industrial Elétrica – ênfase em eletrotécnica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

Devido à complexidade e a importância do sistema elétrico de potência, o sistema de proteção é fundamental para assegurar a funcionalidade do sistema, desta forma o estudo sobre os relés de proteção é parte fundamental para evitar possíveis falhas, faltas e danos ao sistema elétrico. Assim desenvolveu-se a pesquisa descrevendo os principais equipamentos de uma subestação, apresentando as principais proteções, a história e a evolução dos relés, princípios de automação em subestação, vantagens e desvantagens desde relés eletromecânicos até os relés microprocessados aplicados em determinadas filosofias de proteção, de forma a apresentar um estudo de uma viabilidade técnica de uso de relés microprocessados SEL e suas aplicações baseando-se na especificação técnica da concessionária de energia COPEL.

Palavra-Chave: Sistema de proteção, Sistemas de Elétricos de Potência, Relés Microprocessados.

ABSTRACT

DA SILVA, Daniel Fiorini; MING, Lin Yu; DE ALAMEIDA, Pedro Henrique. **Protection electrical system through the use of the digital relays for Copel standard high voltage electrical substations**. 2014. 156p. Final Course Work – Electrical Industrial Engineering course – Electrotechnical emphasis. Federal Technological University of Parana. Curitiba, 2014.

Because of the complexity and importance of the electric power system, protective system is essential to ensure the functionality of the system, this way, thus the study of protective relays is a key part to avoid possible failures, faults and damage to the electrical system. Thus the study of protective relays is a key part to avoid possible failures, faults and damage to the electrical system, presenting the main protections, the history and evolution of relays, principles of automation in substation, advantages and disadvantages from electromechanical relays to microprocessor-based relays which are applied in certain protective system philosophies, in order to present a technical viability study of use of SEL microprocessor relays and they applications based on the technical specification of COPEL electric power company.

Key words: Protective System, Power Electric System, Microprocessor Relays.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Curva de tempo inverso	21
Figura 2 – Proteção Diferencial de linhas aplicada em terminais de linhas de transmissão	22
Figura 3 – Diagrama de alcance das zonas de uma proteção de distância	24
Figura 4 – Esquema básico de proteção diferencial com relés de sobrecorrente	27
Figura 5 – Esquema básico de proteção diferencial combinada com acopladores lineares.....	29
Figura 6 – Esquema básico de proteção diferencial combinada com um alimentador de entrada	30
Figura 7 – Arquitetura Distribuida.....	31
Figura 8 – Arquitetura Concetrada	32
Figura 9 – Principais componentes de um transformador de potência.....	33
Figura 10 – Diagrama de ligação do relé diferencial em transformador de potência.....	35
Figura 11 – Instalação do relé de Buccholz.....	36
Figura 12 – Zonas de proteção de um sistema de potência.....	39
Figura 13 – Relé de sobrecorrente do tipo indução.....	44
Figura 14 – Relé eletrônico	46
Figura 15 – Relé digital	48
Figura 16 – Estrutura hierárquica dos níveis de proteção digital.....	49
Figura 17 – Interface gráfica de uma subestação elétrica – Arquitetura de Rede.....	55
Figura 18 – Ilustração SEL-421.....	58
Figura 19 – Ilustração SEL-487E.	65
Figura 20 – Ilustração SEL-451.....	71
Figura 21 – Ilustração SEL-487B.	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Custos médios das interrupções de consumidores industriais (US\$/MWh).	13
Tabela 2 - Custos médios das interrupções de consumidores comerciais (US\$/MWh).	13
Tabela 3 - Custos médios das interrupções de consumidores residenciais.	13
Tabela 4 - Adaptado do descritivo técnico SEL-421.....	62
Tabela 5 - Adaptado do descritivo técnico SEL-487E.	69
Tabela 6 - Adaptado do descritivo técnico SEL-451.....	76
Tabela 7 - Adaptado do descritivo técnico SEL-487B.	82

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E UNIDADES

ANSI	<i>American National Standards Institute</i>
ASCII	<i>American Standard Code for Information Interchange</i>
AST	<i>Arc Sense Technology</i>
CC	Corrente Contínua
COPEL	Companhia Paranaense de Energia
COR	Centro de Operação Regional
COS	Centro de Operação do Sistema
DCB	<i>Directional Comparison Blocking Scheme</i>
DCUB	<i>Directional Comparison Unblocking Scheme</i>
DNP	<i>Distributed Network Protocol</i>
DTT	<i>Direct Transfer Trip</i>
EIA	<i>Eletronics Industries Alliance</i>
ET	Especificação Técnica
Gbps	<i>Gigabites por segundo</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GOOSE	<i>Generic Object Oriented Substation Event</i>
GSE	<i>Generic Substation Status Event</i>
GSSE	<i>Generic Substation Status Event</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IED	<i>Intelligent Electronic Devices</i>
IHM	Interface Homem Máquina
IP	<i>Internet Protocol</i>
IRIG-B	<i>Inter-range Instrumentation Group Time Codes B</i>
kbps	<i>kilobites por segundo</i>
LAN	<i>Local Area Network</i>
LMD	Linguagem de Manipulação de Dados
LTs	Linhas de Transmissão
Mbps	<i>Megabites por segundo</i>
MMS	<i>Manufacturing Message Specification</i>
ONS	Operador Nacional do Sistema
PMU	<i>Phasor Measurement Unit</i>

RJ	<i>Registered Jack</i>
RMS	<i>Root Mean Square</i>
RTD	<i>Regional Transportation District</i>
SCADA	<i>Supervisory Control And Data Acquisition</i>
SE	Subestação Elétrica
SEL	<i>Schweitzer Engineering Laboratories</i>
SEP	Sistema Elétrico de Potência
SER	<i>Sequence Event Record</i>
SIN	Sistema Interligado Nacional
SIR	<i>Source Impedance Relation</i>
SPDA	Sistema de Proteção a Descargas Atmosféricas
TC	Transformador de Corrente
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
TCP/IP	<i>Transmission Control Protocol/Internet Protocol</i>
TP	Transformador de Potencial
UCA	<i>Utility Communications Architecture</i>
UDP/IP	<i>User Datagram Protocol/Internet Protocol</i>
WAN	<i>Wide Area Network</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	TEMA.....	11
1.2	DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	11
1.3	PROBLEMA E PREMISSAS.....	12
1.4	OBJETIVOS.....	14
1.4.1	OBJETIVO GERAL.....	14
1.4.2	OBJETIVO ESPECÍFICO.....	14
1.5	JUSTIFICATIVA.....	15
1.6	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	16
1.7	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	16
2	CONSIDERAÇÕES GERAIS	18
2.1	SISTEMA ELÉTRICO DE POTÊNCIA.....	18
2.1.1	SUBESTAÇÕES ELÉTRICAS.....	19
2.1.2	LINHAS DE TRANSMISSÃO.....	19
2.1.2.1	PROTEÇÃO DE SOBRECORRENTE EM LINHAS DE TRANSMISSÃO.....	20
2.1.2.2	PROTEÇÃO DIFERENCIAL EM LINHAS DE TRANSMISSÃO.....	22
2.1.2.3	PROTEÇÃO DE DISTÂNCIA EM LINHAS DE TRANSMISSÃO.....	23
2.1.2.4	APLICAÇÃO DA PROTEÇÃO PRINCIPAL DE LINHAS COM RELAÇÃO AO COMPRIMENTO DA LINHA. 24	
2.1.3	BARRAMENTO.....	25
2.1.3.1	PROTEÇÃO DIFERENCIAL EM BARRAMENTO.....	27
2.1.3.2	PROTEÇÃO DIFERENCIAL EM BARRAMENTO DISTRIBUÍDA OU CONCENTRADA.....	30
2.1.4	TRANSFORMADOR DE FORÇA.....	32
2.1.4.1	PROTEÇÃO DE SOBRECORRENTE EM TRANSFORMADORES.....	34
2.1.4.2	PROTEÇÃO DE DIFERENCIAL EM TRANSFORMADORES.....	35
2.1.4.3	RELÉS DE PRESSÃO DE GÁS (BUCHHOLZ).....	36
3	RELÉ DE PROTEÇÃO	38
3.1	INTRODUÇÃO A FILOSOFIA DE PROTEÇÃO.....	38
3.2	DEFINIÇÕES USADAS EM SISTEMAS DE PROTEÇÃO ELÉTRICOS.....	38
3.3	DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO.....	40
3.4	CARACTERÍSTICAS E PRINCÍPIOS BÁSICOS DOS TIPOS DE RELÉS.....	42
3.4.1	RELÉS ELETROMECAÂNICOS DE INDUÇÃO.....	42
3.4.2	RELÉS ELETRÔNICOS.....	44
3.4.3	RELÉS DIGITAIS OU MICROPROCESSADOS.....	47

4	AUTOMAÇÃO DE SUBESTAÇÕES ELÉTRICAS, PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO	51
4.1	AUTOMAÇÃO DE SUBESTAÇÕES ELÉTRICAS.....	51
4.2	PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO.....	52
4.2.1	NORMA <i>INTERNACIONAL ELETROTECHNICAL COMMISSION</i> 61850.....	52
4.3	<i>SUPERVISORY CONTROL AND DATA ACQUISTION</i>	54
5	ESTUDO TÉCNICO	56
5.1	RELÉ DE DISTÂNCIA 21 PARA APLICAÇÃO EM LINHAS DE 230 KV.....	56
5.2	RELÉ DE PROTEÇÃO DIFERENCIAL DE TRANSFORMADOR 87T	63
5.3	RELÉ DE SOBRECORRENTE PARA PROTEÇÃO DE TRANSFORMADORES.....	70
5.4	RELÉ DE PROTEÇÃO DIFERENCIAL PARA APLICAÇÃO EM BARRAMENTOS.	77
6	CONCLUSÃO	84
	REFERÊNCIAS	87
	APÊNDICE A – PRINCIPAIS FUNÇÕES DA PROTEÇÃO EM LINHAS DE TRANSMISSÃO	94
	APÊNDICE B – MODELGEM DE LINHAS CURTAS, MÉDIAS E LONGAS	95
	APÊNDICE C – PRINCIPAIS FUNÇÕES DA PROTEÇÃO EM BARRAMENTO	98
	APÊNDICE D – PRINCIPAIS FUNÇÕES DA PROTEÇÃO EM TRANSFORMADOR	99
	ANEXO A – ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA COPEL RELÉS DE PROTEÇÃO	100

1 INTRODUÇÃO

1.1 TEMA

Devido à importância das Subestações Elétricas (SEs) o uso de uma filosofia de proteção tecnicamente viável faz-se indiscutivelmente necessário, assim sendo as proteções em SE estão em constante evolução com desenvolvimento de novas tecnologias. A proteção em SE é realizada através de um conjunto de equipamentos responsáveis para tal função, dentre eles os principais são os relés, pois visam garantir a confiabilidade, seletividade, segurança e funcionalidade do sistema, a fim de que todo o Sistema Elétrico de Potência (SEP) esteja protegido contra faltas internas ou externas, de modo a evitar, minimizar e isolar danos ao mesmo.

A evolução dos relés de proteção está dividida em três fases, a primeira geração é composta pelos relés eletromecânicos, a segunda geração pelos relés estáticos e a terceira geração pelos relés digitais, ou relés microprocessados.

Os relés de proteção têm função de identificar os defeitos, atuar disparando alarmes, sinalizações e abrindo disjuntores (*trip*), os relés devem estar em atividade constantemente enquanto o SEP estiver energizado de modo a suprimir qualquer ocorrência de faltas.

O relé de proteção é um dispositivo destinado a detectar anormalidades no sistema elétrico, atuando diretamente sobre equipamento ou um sistema, retirando de operação os equipamentos ou componentes envolvidos com a anormalidade e/ou acionar circuitos de alarme, quando necessária. (SOUZA, 2007, p. 33).

Atualmente com o surgimento de novas tecnologias e necessidade de modernização do setor elétrico para evitar e reduzir falhas no suprimento de energia elétrica, a utilização dos relés digitais tem se destacado, devido sua qualidade na atuação no seguimento de proteção, comunicação e controle dos sistemas elétricos.

1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Pretende-se com este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) desenvolver e apresentar um estudo técnico referente às filosofias de proteção e a funcionalidade de relés microprocessados elaborando uma solução técnica para o sistema de proteção, restritos aos relés microprocessados, com viabilidade técnica através da utilização das Especificações Técnicas (ETs) da Companhia Paranaense de Energia (COPEL) relativo a relés microprocessados.

1.3 PROBLEMA E PREMISSAS

Durante a operação de um determinado SEP, como citam Mamede Filho e Mamede (2011), frequentemente ocorrem faltas específicas em componentes que podem ocasionar interrupções indesejadas do fornecimento de energia aos consumidores finais dependentes deste sistema, como consequência provoca-se uma diminuição na qualidade do serviço fornecido.

O curto-circuito caracteriza-se como a principal e mais comum forma de falta em qualquer SEP originando um alto nível de corrente percorrendo diversos elementos energizados, com isso ocasiona-se rigorosos distúrbios em diferentes instalações de consumidores industriais, residências e comerciais.

Outra anormalidade presente em SEPs é chamada de sobrecarga a qual pode propiciar danos materiais relevantes ao sistema elétrico.

Constantemente, além desses problemas apresentados, o sistema elétrico pode ser afetado por subtensões, sobretensões, descargas atmosféricas e manobras mal realizadas.

Atualmente no Brasil os prejuízos acarretados pelas interrupções na transmissão de energia (blecautes) ao setor industrial e a sociedade são inestimáveis. Toma-se como exemplo o apagão o qual aconteceu em 26 de outubro de 2012 que atingiu 11 estados das regiões Norte e Nordeste do Brasil devido a um "curto-circuito em um reator de transmissão e o sistema de proteção da subestação de Imperatriz, no Maranhão, não identificou o problema e não o isolou" (WARTH; RODRIGUES, 2013), além disso, o "sistema de retaguarda regional foi automaticamente acionado e desligou, em série, oito linhas de transmissão" (WARTH; RODRIGUES, 2013), desconectando as regiões Norte e Nordeste do restante do Sistema Interligado Nacional (SIN) e em seguida, a separação dos sistemas Norte e Nordeste.

A prevenção contra falha no fornecimento de energia elétrica para as concessionárias é de extrema importância visto que as concessionárias de geração deixam de vender às distribuidoras que concomitantemente deixam de lucrar com as vendas para o consumidor final. Tratando-se de indústrias paradas por falta de energia podem gerar perdas de produção e tempo gasto para retomar este processo, tendo a possibilidade da ocorrência de danos.

No âmbito da sociedade, os blecautes geram preocupação no fornecimento de energia para hospitais, aeroportos e metrô os quais podem ter suas funcionalidades e serviços comprometidos até o restabelecimento do sistema. Deve-se atentar as oscilações durante a reenergização de sistemas de distribuição, pois os mesmos acarretam danos em equipamentos domésticos.

Tendo em vista que uma falha no fornecimento de energia pode afetar não apenas as indústrias, mas também o comércio e os consumidores residenciais. Apresenta-se a seguir, três tabelas 1, 2 e 3, com os custos médios das interrupções nos segmentos industriais, comercial e residencial respectivamente.

Tabela 1 - Custos médios das interrupções de consumidores industriais (US\$/MWh).

Horário	Duração (minutos)			
	$0 \leq D < 3$	$3 \leq D < 15$	$15 \leq D < 30$	$30 \leq D < 60$
00:00 - 08:00	2,87	1,23	1,07	0,90
08:00 - 18:00	2,73	1,26	1,20	0,95
18:00 - 24:00	2,80	1,14	1,06	0,83

Fonte: Mamede Filho e Mamede (2011, p. 5).

Tabela 2 - Custos médios das interrupções de consumidores comerciais (US\$/MWh).

Horário	Duração (minutos)			
	$0 \leq D < 3$	$3 \leq D < 15$	$15 \leq D < 30$	$30 \leq D < 60$
00:00 - 08:00	0,98	1,83	2,80	2,55
08:00 - 18:00	1,83	3,16	4,25	4,76
18:00 - 24:00	1,81	3,03	3,92	3,76

Fonte: Mamede Filho e Mamede (2011, p. 5).

Tabela 3 - Custos médios das interrupções de consumidores residenciais.

Custos das interrupções em US\$/MWh consumido	
Início (horas)	Custos
00:00 - 08:00	0,70
08:00 - 18:00	1,30
18:00 - 24:00	1,80

Fonte: Mamede Filho e Mamede (2011, p. 6).

A partir da análise dos problemas envolvidos e anteriormente expostos no sistema elétrico brasileiro faz-se necessário apresentar alguns questionamentos relativos à supressão das faltas proporcionados pelos relés, assim como as soluções para aumento da confiabilidade, funcionalidade e seletividade. Em que situação, o uso dos relés microprocessados poderiam ocasionar:

- o aumento da confiabilidade, funcionalidade e seletividade do sistema;
- aplicação efetiva e correta das funções de proteção na SEs;
- a maximização do retorno financeiro.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo Geral

Esta proposta tem como objetivo principal apresentar um estudo técnico de um sistema de proteção através do uso de relés digitais de multifunção para Linha de Transmissão e os principais equipamentos de uma SE de alta tensão tais como:

- transformador de força;
- barramento.

1.4.2 Objetivo Específico

- Apresentar as principais falhas de proteção em um Sistema Elétrico de Potência;
- estudar as funções de proteção e manobra elétrica aplicadas nos principais equipamentos da Subestação Elétrica;
- verificar a viabilidade técnica da implementação de um sistema de proteção através de relés microprocessados;
- apresentar os descritivos técnicos dos relés de multifunções microprocessados;
- pesquisar e definir os relés de proteção conforme a Especificação Técnica da Companhia Paranaense de Energia;
- melhorias apresentadas com a aplicação da norma *International Electrotechnical Commission* (IEC) 61850.

1.5 JUSTIFICATIVA

Durante muito tempo as concessionárias de energia elétrica supriam seu sistema de proteção elétrico através do uso de relés eletromecânicos, entretanto segundo Mooney (p. 1) “o projeto e a manutenção dos esquemas de proteção usando esses relés, são dispendiosos e consomem muito tempo de trabalho”. Segundo Stevenson, em seu livro *Elements of Power System Analysis* (Elementos de análise de Sistema de Potência) cita a importância da proteção em SEP.

As faltas podem ser muito prejudiciais a um sistema de potência. Muitos estudos, desenvolvimento de dispositivos e projetos de esquemas de proteção têm resultado em contínuo aperfeiçoamento na prevenção de danos em linhas de transmissão e equipamentos, como também de interrupções na geração após a ocorrência de uma falta. (STEVENSON, 1986, p. 1).

Na última década, os relés microprocessados tornaram-se mais vantajosos com relação aos relés eletromecânicos devido ao custo de projeto e pouca necessidade de manutenção. Segue abaixo as principais mudanças e melhorias para o uso dos relés microprocessados:

- custo de instalação reduzido;
- custo de manutenção reduzido;
- flexibilidade de aplicação;
- funções de controle e monitoração aprimoradas.

Percebeu-se que ao longo dos anos houve uma pequena renovação dos engenheiros formados com ênfase em SEP.

A “Geração Baby Boomer”, prestes a se aposentar, possui uma riqueza de conhecimentos e experiências necessários para suportar sistema de potência atual. [...] Isso representa um desafio em relação a encontrar substitutos e transferir os conhecimentos de forma adequada. [...] O número de graduados em engenharia e de trabalhadores capacitados que estão entrando na força de trabalho pode não ser compatível com o número iminente de aposentadorias. (GRICE; PEER; MORRIS, 2010, p. 1).

Este trabalho visa indicar um estudo técnico fundamentado na utilização relés microprocessados e multifuncionais na proteção de sistemas elétricos, tendo como base um estudo de uma SE de alta tensão e as ETs da COPEL aplicada a relés de proteção. Além disso, deseja-se criar um vínculo acadêmico e profissional visto que a área de SEP como um todo, não apenas a parte de proteção necessita de profissionais com grande conhecimento técnico.

1.6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

- Apresentação através de estudos em literaturas especializadas, artigos técnicos e notícias atuais das principais falhas que aconteceram no sistema elétrico brasileiro e podem ocorrer em um SEP;
- estudo da ET da COPEL referente a relés microprocessados relativa ao uso de relés de proteção;
- pesquisar a metodologia e o funcionamento das principais funções de proteção;
- estudos a respeito das filosofias de proteção nos principais equipamentos de SEs através do uso de relés microprocessados que serão realizados por meio de pesquisa bibliográfica, artigos técnicos, monografias e sites de empresas especializadas correlacionadas ao assunto em questão;
- elaboração e apresentação do descritivo técnico da solução de proteção, assim como dos relés utilizados para realização das funções de proteção dos equipamentos da SE;
- vantagens proporcionada pela aplicação da norma IEC 61850.

1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho contará com nove capítulos, sendo eles:

- capítulo 1 – Introdução: apresentação da proposta, definição do tema, definição dos objetivos e motivação para o desenvolvimento do trabalho;
- capítulo 2 – Considerações gerais do sistema elétrico de potência: subestações elétricas, linha de transmissão, transformador de força, barramento e suas respectivas proteções;
- capítulo 3 – Estudo da evolução dos relés de proteção;
- capítulo 4 – Introdução à automação de subestações elétrica, protocolos de comunicação (serial e rede), protocolo de comunicação e norma IEC 61850;
- capítulo 5 – Resultado da aplicação dos relés microprocessados nas principais funções de proteção dos equipamentos abordados, tendo como base a ET da COPEL, e as vantagens e melhorias da norma IEC 61850 em SE;
- capítulo 6 – Conclusão;

- referencias.

2 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Este capítulo dispõe-se breve introdutório de SEP, aos principais componentes do sistema elétrico que serão abordados, bem como estudo em sistemas de proteção.

2.1 SISTEMA ELÉTRICO DE POTÊNCIA

O desenvolvimento de uma nação esta entrelaçado com o consumo de energia elétrica, quanto maior o consumo mais desenvolvido esta nação se encontra. A fim de suprir esta demanda energética ao longo de aproximadamente de 130 anos foram estudados e desenvolvidos métodos de conversão de algum tipo de energia em energia elétrica, a qual é tão requisitada nos tempos de hoje.

O principal método de conversão de energia é a hidráulica, muito utilizado nas usinas hidrelétricas. As hidrelétricas têm um baixo custo de produção de energia elétrica comparado com as termelétricas e nucleares, além de ser uma fonte de geração de energia elétrica limpa. Devido à abundância das riquezas naturais no Brasil, a geração de energia elétrica dominante é a hidrelétrica, chegando a corresponder 70% de toda a capacidade instalada no país hoje, cerca de 123,1 mil megawatts (MW) (PORTAL BRASIL, 2013). O SIN é formado pelas cinco regiões do Brasil, e segundo dados do Operador Nacional do Sistema (ONS) 96,6% da capacidade instaladas é proveniente do SIN. (ONS, 2013).

O Brasil possui um vasto território de tamanho continental e suas distintas características regionais, as usinas hidrelétricas são construídas em locais onde existem os melhores aproveitamentos de afluência e desníveis dos rios, que via de regra, sempre em locais longe dos centros consumidores, isso exige que a energia elétrica produzida seja transportada até grandes centros de carga. Para obter o melhor atendimento ao mercado são necessárias grandes extensões de LTs e instalações para repartir e distribuir a energia aos centros de consumo.

Segundo Stevenson (1986, p. 1), “o sistema de potência é uma das ferramentas para converter e transportar energia” e ainda este autor (1986, p. 2), comenta que “o sistema de potência consiste em três componentes principais: as estações geradoras, as linhas de transmissão e os sistemas de distribuição”. O fluxo de energia escoado no sistema SEP é direcionado através de SEs.

2.1.1 Subestações Elétricas

As SEs são caracterizadas em serem formadas por equipamentos destinados a transformar e regular as tensões geradas ou transportadas, permitir a operação segura das partes componentes do sistema, eliminar ou reduzir as faltas e permitir o estabelecimento de alternativas para o suprimento de energia elétrica. Basicamente se caracteriza por três funções, transformar o nível de tensão a fim de abaixar ou elevar de modo adequado às conveniências de transmissão, distribuição e consumo, regular os níveis de tensão com a intenção de permanecer nos níveis que caracteriza o SEP e, além disso, o chaveamento que através de equipamentos que permitem a conexão e desconexão de ramificações do sistema de potência, com o propósito de realizar a proteção de todo o SEP.

Os principais equipamentos de uma SE são os transformadores de força, transformador de corrente (TC), transformadores de potencial (TP), reguladores de tensão, chaves seccionadoras, disjuntores, para-raios e os relés de proteção.

As SEs são distintas entre si, devido a variadas aplicações, contudo, para manter todo o sistema elétrico operando em perfeitas condições, o sistema de proteção elétrico se faz necessário, além do mais este tem como objetivo de assegurar a integridade, equipamentos e a terceiros, segundo Mamede Filho e Mamede (2011, p. 289) para definir suas configurações, fazem necessária análise de custo *versus* benefício, que dependem do nível de confiabilidade desejada, característica de carga a que irá atender esquema de proteção, número de transformadores desejado e potência de curto-circuito equivalente do sistema.

2.1.2 Linhas de Transmissão

O transporte da energia elétrica é realizado através das LTs e sistema de distribuição, que fazem além da interligação entre as subestações elétricas geradoras e o ponto de carga, a interconexão de todos os sistemas de transmissão e distribuição do país.

Para a implantação das LTs é necessário estudar vários parâmetros característicos tanto de natureza mecânico quanto elétricos. Do ponto de vista operacional do SEP as LTs possuem quatro parâmetros fundamentais, sendo eles a resistência, a indutância, capacitância e condutância. A transmissão de energia elétrica se caracteriza devido nível de tensão no qual o fluxo de potência é

transferido. As LTs são caracterizadas pela transmissão em alta tensão. Como já comentado devido a grande dimensão territorial do nacional, seus centros consumidor encontram-se distantes dos centros de geração, sendo assim a energia elétrica é conduzida por LTs em alta tensão, essa tensão é utilizada para evitar perdas excessivas de energia elétrica ao longo do percurso.

O sistema de proteção elétrico em LTs é adotado com o propósito de evitar quaisquer tipos de eventualidades que possam cessar o fornecimento de energia elétrica durante a transmissão da mesma.

As proteções em LTs devem garantir o abastecimento da energia elétrica, pois com o vasto territorial nacional as LTs são fundamentais na transmissão de energia elétrica. As LTs estão “susceptíveis a defeitos como vandalismo, descargas atmosféricas, curtos-circuitos, queimadas e vendavais” (MAMEDE FILHO; MAMEDE, 2011, p. 444), principalmente ao fato que a transmissão por LTs ocorrem via aérea, propiciando maiores ocorrência de faltas e defeitos. Com o intuito de minimizar a ocorrência, utilizam-se de cabos-guarda, para-raios e disjuntores associados a relés, sendo os relés os principais dispositivos de proteção.

As principais ocorrências de falta em LTs são originadas em razão de “circuito-circuito entre fases ou entre fase e terra” (COURY; OLESKOVICZ; GIOVANINI, 2007, p. 30), e para garantir a operacionalidade podem-se destacar a proteção de sobrecorrente, proteção diferencial e proteção de distância, as quais serão abordadas neste trabalho, contudo pode-se verificar as principais funções de proteção em LTs no apêndice A.

2.1.2.1 Proteção de sobrecorrente em Linhas de Transmissão

A maioria das faltas nas LTs pode ser detectada por aplicação de relés de sobrecorrente, já que as correntes de faltas são normalmente mais elevadas do que a corrente de carga.

A proteção de sobrecorrente em linhas de transmissão pode ser considerada como proteção básica, [...] desde que associada a outros tipos de proteção de primeira linha, tais como proteção de distância, proteção direcional e proteção diferencial (MAMEDE FILHO; MAMEDE, 2011, p. 447).

A grande vantagem em proteção de LTs é obtida em função da característica de tempo inverso, definida durante a elaboração de projeto elétrico das LTs, na Figura 1, têm-se as curvas de tempo inverso, a curva inversa, a curva muito inversa e a curva extremamente inversa. A magnitude da falta de corrente depende

principalmente do tipo e localização da falta. É comum utilizar relés para proteção de sobrecorrente contra falta entre fases, e fase e terra, sendo a proteção entre fase e terra mais sensível que entre fases (MASON, p. 259).

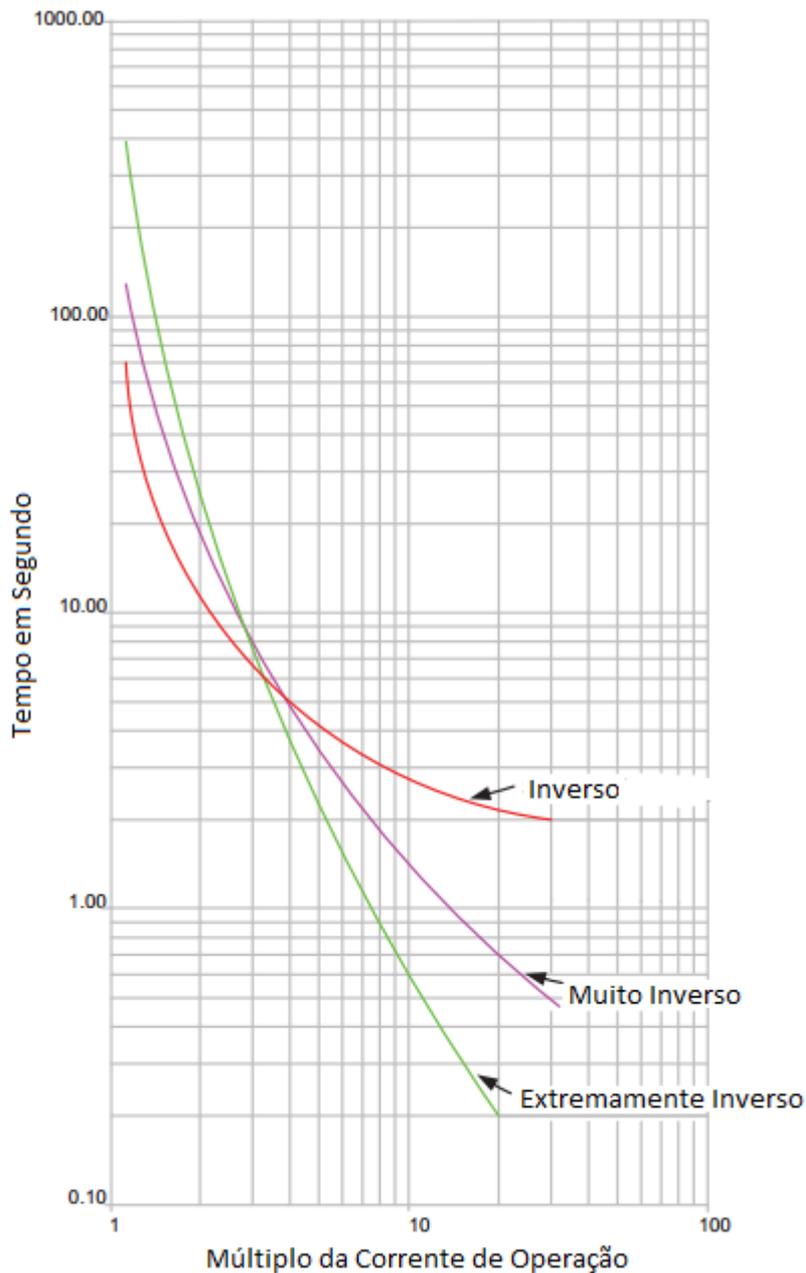


Figura 1 – Curva de tempo inverso

Fonte: Adaptado Network Protection & Automation Guide (p. 9-5).

O estudo de seletividade contempla o ajuste da curva de operação, ou seja, realiza-se um estudo de seletividade para garantir que a proteção atue para todos os curtos-circuitos no trecho de linha protegida, sendo a proteção de sobrecorrente dividida em função temporizada e instantâneo, sendo a temporizada de atuação em função da corrente e do tempo, e a instantânea em função do valor da corrente, com atuação imediata.

Em virtude de o SEP compor-se de vários centros gerados e estar interligado através de LTs radiais, a uso de sobrecorrente direcional torna-se obrigatório para simplificar problemas de seletividade quando sobre a mesma magnitude de corrente de falha pode fluir em qualquer direção. Seria impossível obter seletividade sob tais circunstâncias onde os relés de sobrecorrente podem desligar (*trip*) os disjuntores direcionando para qualquer sentido o fluxo de corrente (MASON, 270), conseqüentemente com a adição de um elemento direcional, aprimora-se a seletividade do relé de sobrecorrente, pois o fluxo de corrente pode adotar diferentes sentidos.

2.1.2.2 Proteção diferencial em Linhas de Transmissão

A proteção diferencial em LTs utiliza esquemas de proteção através de um canal de comunicação que compara a informações atualizadas dos terminais da LT, conforme pode-se analisar na Figura 2. Os princípio de funcionamento se dá através da comparação do ângulo de fase das correntes de linhas nos terminais, tanto local quanto remoto. Devido ao processamento das magnitudes de correntes e informações dos ângulos de fases, a proteção diferencial de linhas possui um desempenho melhor que os esquemas de comparação de fases.

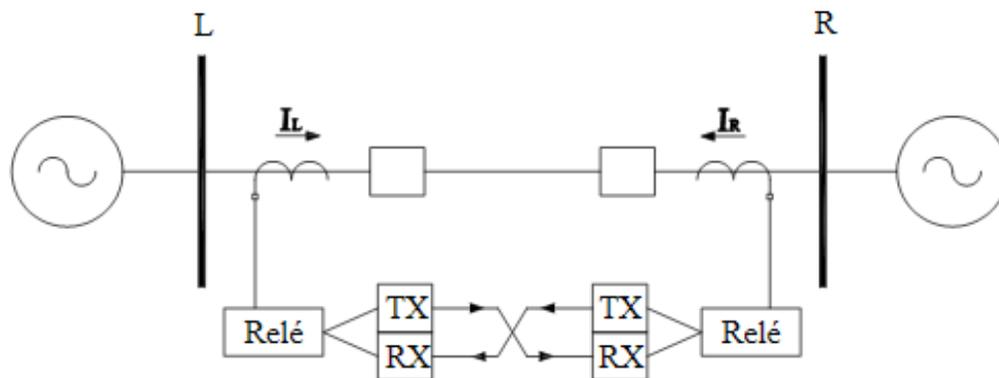


Figura 2 – Proteção Diferencial de linhas aplicada em terminais de linhas de transmissão

Fonte: Ferrer e Schweitzer (2010, p. 84).

A proteção de LT utilizando relés microprocessados, se baseia em comparar as amostras digitalizadas de corrente e valores fasoriais. Os relés, localizados em cada terminal da LT, recebem dados de corrente no modo mestre, ou seja, na base de tempo, ocorre à execução de um algoritmo utilizando os parâmetros da proteção diferencial, e *trips* nos disjuntores quando necessário. Em relés que funcionam no

modo escravo, os quais não recebem todos os dados dos terminais remotos, isto é um *trip* de transferência direta recebido de um relé, cujo funcionamento é no modo mestre, permite que um relé escravo ative o *trip* no disjuntor (FERRER; SCHWEITZER, 2010, p. 84), proteção diferencial é utilizada para proteção de linhas de transmissão curtas, no apêndice B se pode verificar o cálculo para modelagem de linhas de transmissão curtas, médias e longas.

2.1.2.3 Proteção de distância em Linhas de Transmissão

As proteções de distância em LTs utilizam das impedâncias entre a localização dos relés e a localização da falta. Desta forma é denominada a proteção de distância, e em determinadas condições é desejável que o relé atue sob o parâmetro de diferença de impedância, reatância ou admitância até o local da onde a falha ocorreu (HOROWITZ; PHADKE, 2008, p. 100).

Basicamente, um relé de distância compara a corrente e a tensão de alimentação do sistema para determinar se existe um defeito dentro ou fora da sua zona de operação (ELMORE, 203, p. 247).

Como a resistência do solo pode ser variável, um relé de distância não deve ser afetado pelas grandes variações de resistência. Conseqüentemente, os relés de reatância são geralmente preferidos para a proteção de terra. Para proteção de distância de falta fase, cada tipo tem suas vantagens e desvantagens, por seções de LTs curtas, o tipo de reatância é o mais comum em função da alta velocidade na proteção, isto porque o relé reatância não é afetado pela resistência de arco, que pode ser grande quando comparada com a impedância da linha. O tipo “mho” é o mais adequado para a proteção de falta de fase para LTs longas, entretanto esse tipo é afetado pela resistência de arco (MASON, p. 295).

Na Figura 3, tem-se um esquema de proteção de distância dividido em 4 zonas de atuação, sendo à 1º zona atuando cerca de 80% da linha 1, a 2º zona completamente na linha 1 e 50% da linha 2, a 3º zona atuando totalmente nas linhas 1 e 2, e a 4º zona correspondente a zona inversa, quando o alcance do relé está no sentido inverso ao adotado anteriormente (MAMEDE FILHO; MAMEDE, 2011, p. 461).

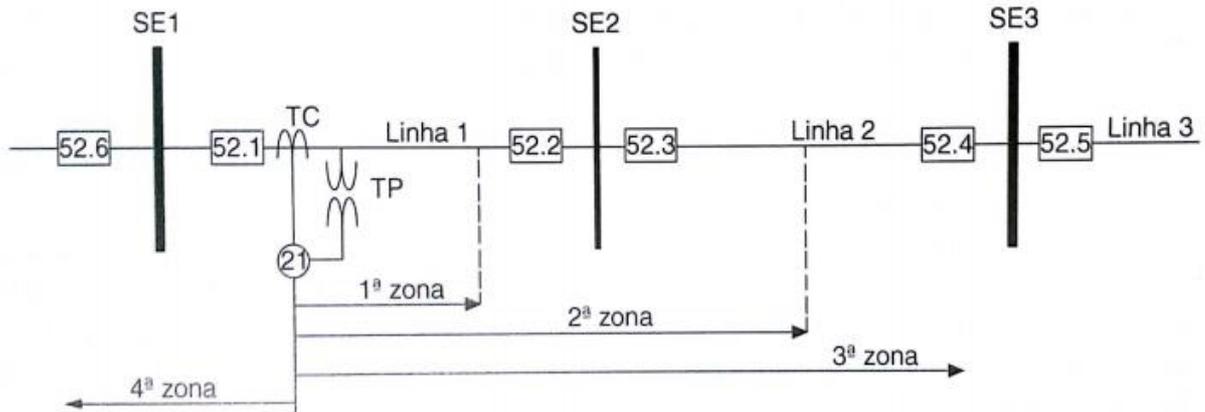


Figura 3 – Diagrama de alcance das zonas de uma proteção de distância

Fonte: Mamede Filho e Mamede (2011, p. 461).

A proteção diferencial é utilizada em linhas médias e longas, devido suas características, pode-se verificar no apêndice B o cálculo para modelagem de linhas curtas, médias e longas.

2.1.2.4 Aplicação da proteção principal de Linhas com relação ao comprimento da Linha.

Devido a existências de diferentes comprimentos e características de linhas de transmissão. Atualmente é necessário definir corretamente o tipo de aplicação que a proteção irá desempenhar relacionada com a característica de linha. Primeiramente deve-se determinar o tipo da linha de transmissão a partir do valor do SIR (“Source Impedance Relation”), segundo estabelecido na norma IEEE C37.113 e nas metodologias de rede da ONS. Em resumo, o SIR é calculado através da divisão entre a impedância da fonte, anterior ao relé, e a impedância da linha em questão, conforme apresentado na formula a seguir:

$$SIR = \frac{ZS}{ZL}$$

Onde:

- ZS – Impedância da fonte (“Source”);
- ZL – Impedância total da linha de transmissão.

Calculado o SIR, realiza-se uma comparação do valor encontrado, conforme os parâmetros apresentados adiante, e desta forma determinamos se a linha de transmissão é curta, média ou longa.

- linha curta: $SIR > 4$;
- linha longa: $SIR \leq 0,5$;
- linha média $0,5 < SIR < 4$.

Como conclusão, caso o valor do SIR seja acima 4 conclui-se que a linha de transmissão é curta na qual sua fonte anterior ao relé é de baixo valor, desta forma, para garantir a seletividade do sistema de proteção, pois a corrente de falta é de fraca contribuição, recomenda-se a aplicação da proteção diferencial de linha (segundo a tabela ANSI, função 87L).

Se analisar um SIR menor ou de igualdade a 0,5 pode-se concluir que se trata de uma linha longa, conseqüentemente a fonte que antecede o relé possui um alto valor, devido a isso ocorre uma alta contribuição da corrente de falta. Em termos técnicos, para garantir a segurança e a seletividade do sistema de proteção pode ser aplicada a proteção de Distância (segundo a tabela ANSI, função 21), porém, na realização do projeto de proteção do sistema não precisa ser descartada a aplicação da proteção diferencial (segundo a tabela ANSI, função 87L). Embora, economicamente, os relés que desempenham a proteção diferencial de linhas são de menor custo que os relés de distância.

2.1.3 Barramento

Os barramentos são classificados segundo a COPEL como o “conjunto de barras de uma subestação, de mesma tensão nominal, com seus suportes e acessórios, que permitem a conexão de equipamentos” (2010, p. 8). Os barramentos são as principais formas de conexão em uma SE, estes são classificados como barramento principal e barramento de transferências, neles são conectados tanto os circuitos alimentadores como os circuitos de distribuição.

Para determinar o arranjo de barramentos existente em uma SE alguns critérios básicos são considerados, segundo Prazeres (p. 8) a “flexibilidade de operação, segurança do sistema elétrico, simplicidade do sistema de proteção, facilidade do sistema de proteção, possibilidade de limitação do sistema do nível de curto-circuito e possibilidade de fácil expansão” são essenciais.

O barramento principal de uma SE concentra grande potência e várias derivações, sendo assim a importância da supervisão do sistema de proteção, pois

se deve eliminar o onde há falta, sem que afete o barramento principal, garantido a operacionalidade do sistema.

Historicamente, proteções de barramentos são as mais difíceis a serem implementadas devido à severidade de uma operação incorreta sobre a integralidade do SEP. O barramento é um dos elementos mais críticos do SEP e, este é o ponto de conexão de uma variedade de elementos e um número de linhas de transmissão e, conseqüentemente, uma operação incorreta da proteção poderia causar a perda de todos estes elementos (HOROWITZ; PHADKE, 2008, p. 225).

[...] os barramentos ficam na entrada de planta, na entrada de painéis. Por isso, uma proteção ineficiente pode colocar em risco a integridade de todo o sistema e, dependendo do tempo disponível para recolocar o sistema em operação, as conseqüências quase sempre têm alto impacto, quer na segurança, quer na operacionalidade do sistema (MARDEGAN, 2013).

As falhas que ocorrem nos barramentos de um SEP, de acordo com os dados estatísticos, representam cerca de 10% das faltas. Os defeitos relacionados aos barramentos citam Mamede Filho e Mamede (2011, p. 485), são provenientes de:

- rompimento da isolação em virtude de desgaste do próprio barramento;
- esquecimento de ferramentas sobre o barramento;
- esquecimento de retirada de aterramento após o serviço de manutenção;
- falhas ou inexistência de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA);
- contaminação de poluentes ambientais e presença de répteis e objetos estranhos sobre os barramentos.

Visando os defeitos que podem ser ocorridos, no apêndice C podem-se encontrar as proteções mais utilizadas em barramentos.

O maior problema com a proteção de barramento ocorre com a saturação desigual do núcleo dos TCs. Esta variação desigual do núcleo é devida a uma possível variação na magnitude da corrente e fluxo residual nos transformadores individuais usados no sistema. Em particular, para uma falha externa próxima, um TC irá receber uma contribuição total do barramento, enquanto outros TCs irão somente receber a contribuição de linhas individuais (HOROWITZ; PHADKE, 2008, p. 225).

Em geral, proteção dos barramentos da subestação é realizada por proteção diferencial. A Lei de Kirchhoff pode servir como a base do funcionamento dos relés

que detectam a falha de barramentos, todas as correntes que entram e deixam a barra devem somar vetorialmente à zero.

2.1.3.1 Proteção Diferencial em Barramento

Esta proteção é feita por relé diferencial da função 87B que opera instantaneamente, desde que a falta esteja dentro da zona de proteção definida entre TCs de saída e entrada.

- Proteção diferencial com relés de sobrecorrente;

Proteção diferencial com relés de sobrecorrentes requer TCs ligados em cada fase de cada circuito em paralelo com um relé de sobrecorrente para aquela fase. Na Figura 4, mostra a ligação diferencial básica do barramento para uma fase de um sistema trifásico. Em condições normais, o conjunto de ligação do sistema é balanceado e não há corrente chegar à bobina de operação do relé. Para cargas grandes os TCs podem não reproduzir a corrente primária precisamente e haverá uma corrente de erro chegando ao relé.

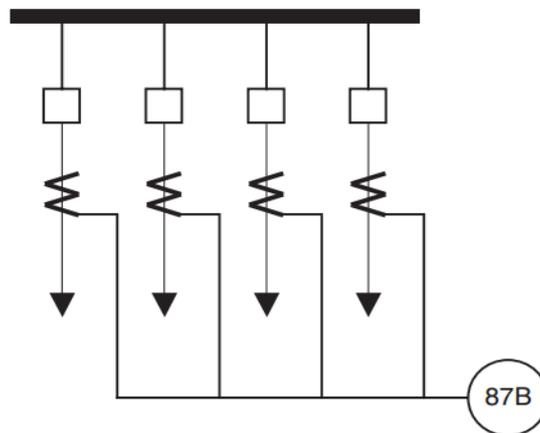


Figura 4 – Esquema básico de proteção diferencial com relés de sobrecorrente
Fonte: Horowitz e Phadke (2008, p. 226).

Ao ocorrer uma falha externa, se todos os TCs reproduzirem a corrente primária, o conjunto de ligação do sistema é balanceado e nenhuma corrente passa pela bobina de funcionamento do relé. No entanto, se um dos TCs satura, o conjunto de ligação ficará desbalanceado, a corrente de erro fluirá na bobina de funcionamento do relé e um *trip* incorreto ocorrerá. Quando ocorre uma falha interna,

esse balanceamento é interrompido e a corrente flui através da bobina de funcionamento. Isso é uma situação de *trip* adequada apesar do desempenho incorreto do TC.

Geralmente, esse tipo de proteção deve ser limitado para localizações que são eletricamente remotas das estações geradoras que podem produzir correntes de faltas compensada por corrente contínua. Para minimizar possíveis operações incorretas, o relé de sobrecorrente pode ser ajustado ao nível menos sensíveis e/ou com o tempo de atraso maior.

- Proteção diferencial de tensão com acopladores lineares.

Com a utilização de um TC especial chamado acopladores lineares (tipo de transformador de corrente sem núcleo de ferro), cujo condutor da fase que passa pelo enrolamento primário e enrolamento secundário, bobina de várias espiras. Os acopladores lineares têm como função produzir no seu secundário uma tensão interna proporcional à corrente do primário. Um enrolamento secundário com muitas espiras envolvidas pode compensar o baixo nível de acoplamento magnético entre o primário e o secundário, como se fosse o funcionamento de uma bobina de potencial que permite uma conversão entre a corrente e tensão, conforme Figura 5.

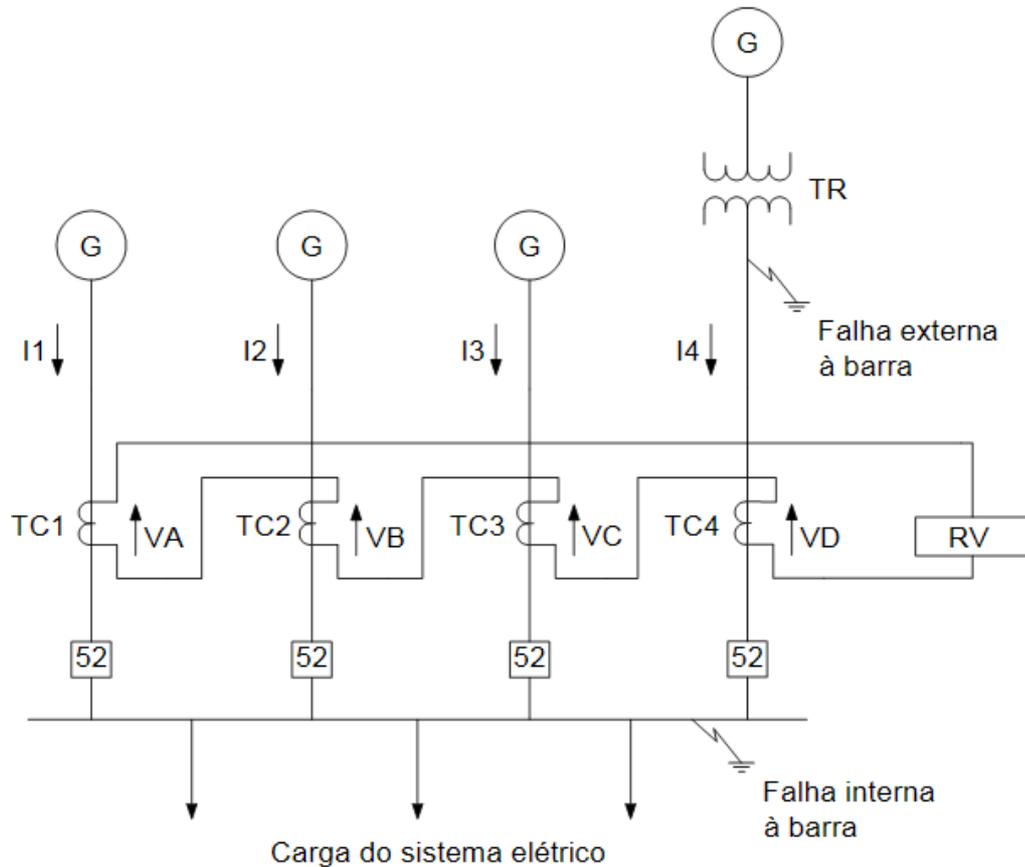


Figura 5 – Esquema básico de proteção diferencial combinada com acopladores lineares

Fonte: Mamede Filho e Mamede (2011, p. 508).

Esse método mostrando ao acontecer uma falta na barra e uma dela. Para uma falta externa a tensão gerada é igual a zero não fazendo atuar o relé, mas para uma falta na barra, tem-se um valor de tensão que permitirá sua atuação e eliminação do defeito.

- Proteção diferencial combinada

A proteção diferencial combinada geralmente é aplicada em SE pequenas, a qual a proteção do alimentador da SE é a mesma do lado primário do transformador. Como pode ver na Figura 6, uma aplicação com um alimentador primário de entrada, um transformador de potência e vários alimentadores de distribuição em uma SE.

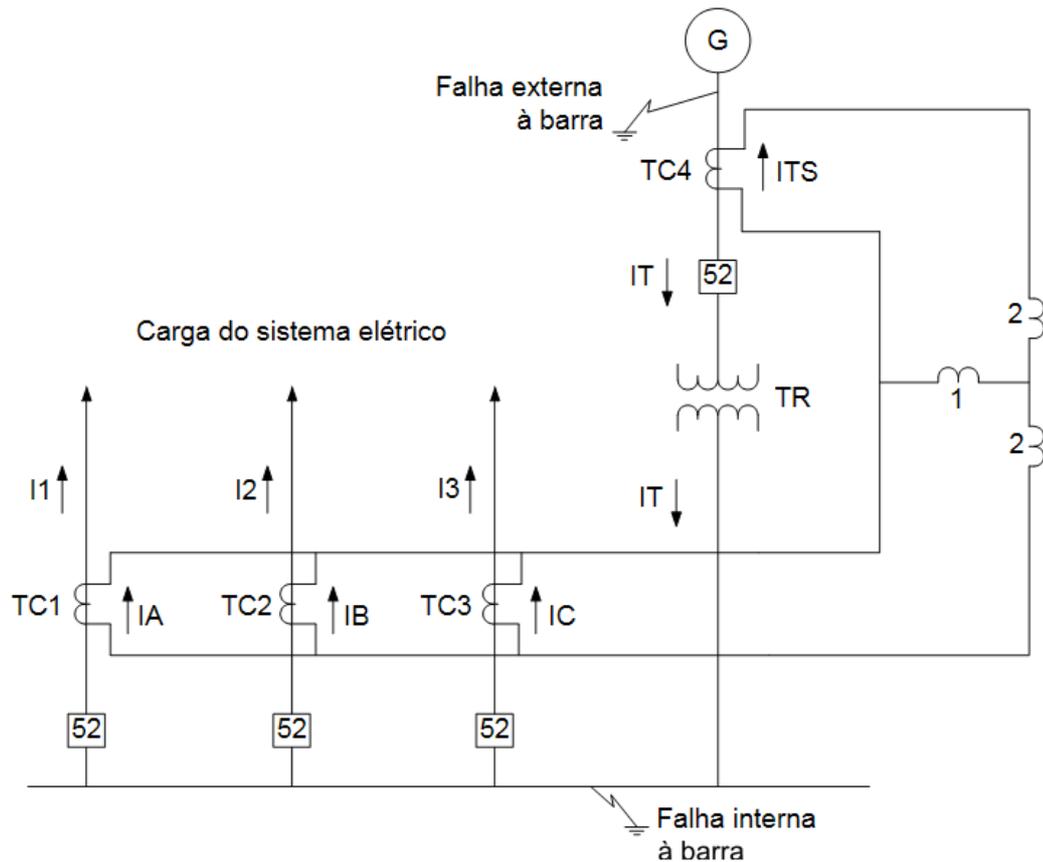


Figura 6 – Esquema básico de proteção diferencial combinada com um alimentador de entrada

Fonte: Mamede Filho e Mamede (2011, p. 508).

2.1.3.2 Proteção Diferencial em Barramento Distribuída ou Concentrada

Em proteção diferencial de Barras, a arquitetura de proteção pode ser apresentada de duas maneiras distintas sendo distribuída ou concentrada.

Primeiramente, a arquitetura distribuída consiste em uma filosofia onde os relés de proteção, que realizarão a proteção do barramento, encontram-se junto ao “Bay”, conforme Prazeres (p. 7) o “Bay” é parcela da SE onde existem os equipamentos e dispositivos responsáveis pelo bom funcionamento do transformador de potência, linha de transmissão e barramento, “Bay” possuirá um IED de proteção o qual será conectado a uma Unidade Central de processamento através de cabos de fibras ópticas, conforme apresentado na Figura 7. A Unidade Central de processamento tem como função a coordenação da lógica da proteção diferencial de barras para garantir seletividade, pois faz a definição da zona que deverá ser ativada em caso de uma falta.

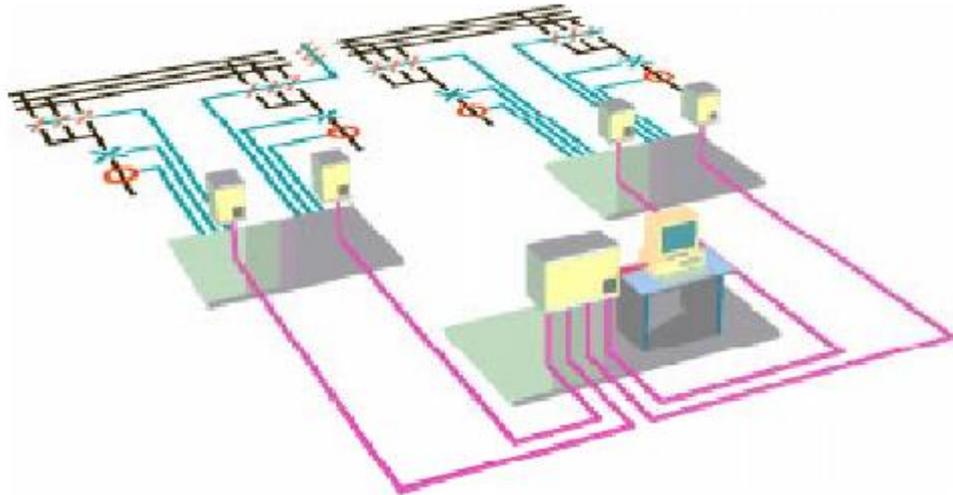


Figura 7 – Arquitetura Distribuída.

Fonte: Oliveira e Santos (2003, p. 2).

As principais vantagens à utilização a arquitetura distribuída são:

- diminuição de condutores nos circuitos dispostos aos TCs e situação das seccionadoras, disjuntores e sinais de disparo para os respectivos disjuntores dispostos na zona de proteção;
- decréscimo e simplificação do projeto de Engenharia;
- baixo custo de montagem, e pouco uso de condutores de cobre na subestação;
- redução no tempo de manutenção;
- acréscimo na confiabilidade do sistema tendo em vista que utiliza cabos de fibra óptica multimodo.

Outra forma de arquitetura existente na proteção diferencial de barras é a concentrada, segundo Figura 8, a qual se caracteriza em apenas um relé de proteção realizando a aquisição de dados, proteção e controle dos *Bays* monitorados. Nesta configuração os contatos auxiliares das seccionadoras e disjuntores, são integradas ao IED de proteção diferencial de barras (OLIVEIRA; SANTOS, 2003, p. 2).

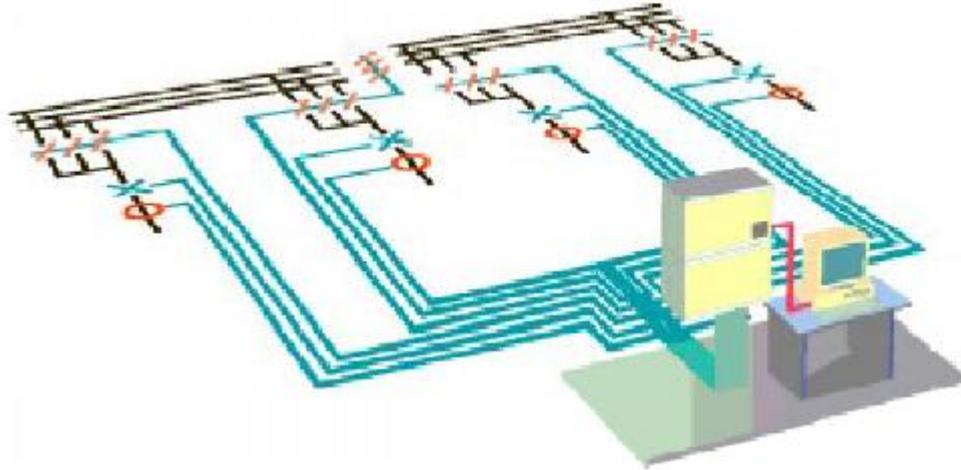


Figura 8 – Arquitetura Concentrada

Fonte: Oliveira e Santos (2003, p. 2).

Assim como a arquitetura distribuída, a concentrada possui suas vantagens conforme apresentado a seguir:

- serviços de engenharia simplificados;
- redução no número de equipamentos;
- centralização do sistema de proteção;
- menor custo de equipamento.;
- simplificação no projeto dos painéis que irão abrigar os equipamentos de proteção;
- diminuição no uso de fibras ópticas para integração com o supervisor da subestação.

2.1.4 Transformador de Força

O transformador de força é o principal equipamento de transformação em uma SE. Segundo Harlow (2007, p. 21) o transformador é um dispositivo elétrico estático, não possuindo partes móveis. Usado em SEP para transferir potência entre circuitos através de indução eletromagnética. O termo transformador de força é usado para referir a aquele transformador usado entre sistemas de geração e sistema de transmissão.

Transformadores de força são classificados em pequenos com potência de 500 a 7.500 kVA, médios potência de 7.500 kVA a 100 MVA e grande potência acima de 100 MVA.

As características intrínsecas dos transformadores ocasionam um número elevado e tipos específicos de problemas que não estão presentes na proteção de linhas de transmissão, geradores, motores ou outros equipamentos que compõem uma SE.

Faltas em transformadores, como por exemplo, curtos-circuitos, é resultado de faltas internas, sendo a forma mais comum são faltas do tipo fase-terra.

Ao contrário de uma LT, a extensão física do transformador é limitada dentro de uma SE, e devido a isso, a proteção diferencial é a forma mais desejável de proteção que temos disponível para proteger transformadores. Existem diferentes formas de se proteger um transformador, em geral, utilizam-se de fusíveis, relés de sobrecorrente, relés diferenciais e relés de pressão e através de equipamentos de monitoramento de temperatura dos enrolamentos, e pela análise química do gás do óleo isolante (HOROWITZ; PHADKE, 2008, p. 125).

Segundo Mamede Filho e Mamede (2011, p. 292) devido aos diversos tipos de distúrbios que o transformador está sujeito em um sistema elétrico, isto ocasiona a interrupção de forma imediata de sua operação ou redução do seu tempo de vida útil. Além disso, os transformadores são equipamento que possuem um preço elevado de aquisição com isso sua proteção é de extrema importância.

A existência de faltas pode ser dividida em faltas internas e faltas externas. Faltas internas são definidas como faltas que ocorrem entre as buchas de tensões superiores e as buchas de tensão inferior, de forma geral, são as faltas que acontecem dentro da zona de proteção diferencial do transformador. Na Figura 9 temos um desenho ilustrativo que apresenta a estrutura, de forma simplificada.

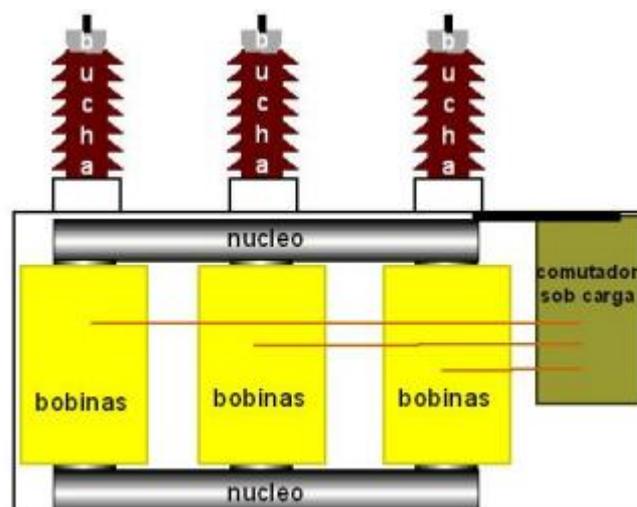


Figura 9 – Principais componentes de um transformador de potência

Fonte: Bechara e Brandão Junior (2009, p. 2).

Adicionalmente aos tipos de faltas, devem-se citar as faltas externas aos transformadores as quais são denominadas como todas as faltas acarretadas no sistema elétrico que englobam o transformador e que são ocasionadas fora da sua proteção diferencial.

Neste item tem-se como objetivo, apresentar proteções de sobrecorrente, proteção diferencial, relés de pressão de gás (Buchholz) dos transformadores. Além disso, temos a apresentação das funções de proteção mais adequadas para atender a proteção dos transformadores, ver apêndice D.

2.1.4.1 Proteção de sobrecorrente em Transformadores

A utilização de relés de sobrecorrente para proteção de transformadores é distinguir as faltas externas ou correntes de carga em estado de equilíbrio com relação às correntes produzidas pelas faltas internas. As faltas externas que não são detectadas e solucionadas de forma imediata, ou cargas elevadas no estado de equilíbrio, podem superaquecer os enrolamentos do transformador e degradar o isolamento. Com isso, o transformador torne-se vulnerável a incêndios de progresso rápido.

Relativo à faltas internas, a proteção pode ser realizada por relés de sobrecorrente temporizados, conforme apresentado e caracterizados pela função 51. Em caso de faltas internas ao transformador, os principais defeitos que aparecem são a aparição de arcos, possibilidade de incêndio, e atuação de forças magnéticas e mecânicas os quais resultam na degradação dos elementos estruturais aos enrolamentos, tanque ou as buchas com possibilidade de comprometer a integridade não apenas do transformador de potência, mas também dos equipamentos que circundam o mesmo (HOROWITZ; PHADKE, 2008, p. 196).

Pelo fato da proteção de sobrecorrente ser uma proteção de baixo custo, a mesma é utilizada como proteção principal para pequenos transformadores. Entretanto o relé de sobrecorrente, na forma temporizada, pode ser usado como proteção de retaguarda em transformadores a qual funciona de forma independente da proteção primária do transformador. Os elementos de sobrecorrente instantâneos, função 50, pode cobrir parte dos enrolamentos primários do transformador para retaguarda e atuando de forma instantânea em altíssima

velocidade ao contrário da proteção temporal (FERRER; SCHWEITZER, 2010, p. 123).

2.1.4.2 Proteção de diferencial em Transformadores

A proteção diferencial pode ser aplicada em diversos equipamentos das SEs tais como, motores, geradores, barramentos, transformadores, LTs ou em qualquer parte localizada dentro de um SEP. Este tipo de proteção necessita basicamente de dois conjuntos de TCs para realizar a limitação da zona de proteção desejada (MAMEDE FILHO; MAMEDE, 2011, p. 312).

Em relação aos grandes transformadores de potência, a aplicação da proteção diferencial tornou-se o principal e melhor meio de proteção. Nos transformadores de potência, o dispositivo de proteção realiza a comparação entre as correntes de entrada e as correntes que saem do equipamento ou sistema monitorado. Quando um transformador está em operação, as formas de corrente no primário e no secundário são monitoradas. Para obtenção das correntes, faz-se o uso de TCs, dispostos em série com o lado de alta e de baixa do transformador. Conforme Figura 10, tem-se o diagrama de ligação do relé proteção diferencial de transformador de potência.

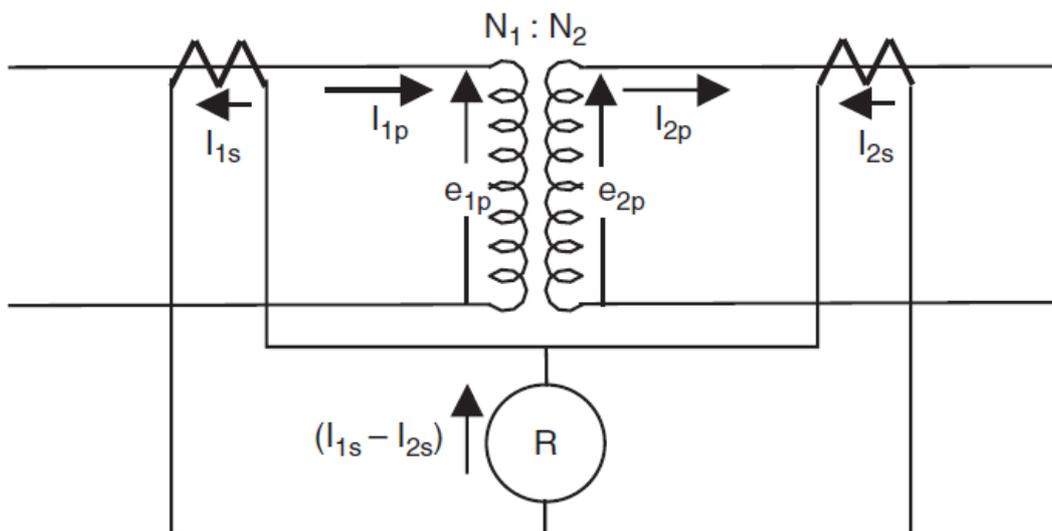


Figura 10 – Diagrama de ligação do relé diferencial em transformador de potência

Fonte: Horowitz e Phadke (2008, p. 199).

Análise que o relé diferencial realiza consiste na comparação dos sinais de onda enviados para o mesmo, que terá como função em caso de corrente diferencial

que o atravessa seja maior que o estipulado em projeto (COURY; OLESKOVICZ; GIOVANNI, 2011, p. 109).

Segundo Daniel Nogueira e Diego Prandino Alves (2009), a principal função deste sistema de proteção diferencial “tem por objetivo proteger o transformador de potência contra faltas internas, como curto-circuito entre espiras e descargas parciais entre enrolamentos ou entre enrolamentos e carcaça”.

2.1.4.3 Relés de pressão de gás (Buchholz)

O Relé Buchholz constitui um dos principais acessórios de segurança e proteção utilizados em transformadores de potência isolados a óleo e dotados de tanque de expansão. O Relé Buchholz tem por finalidade supervisionar continuamente o transformador, visando detectar situações anormais de formação de gases e a presença de fluxo do óleo isolante.

Conforme cita Geraldo Kindermann (1999, p. 151), “o relé de Buccholz é instalado no duto que liga o transformador ao reservatório, ou seja, ao tanque de expansão na sua parte superior”. Pode-se ver este local de instalação realizando a análise, conforme Figura 11.

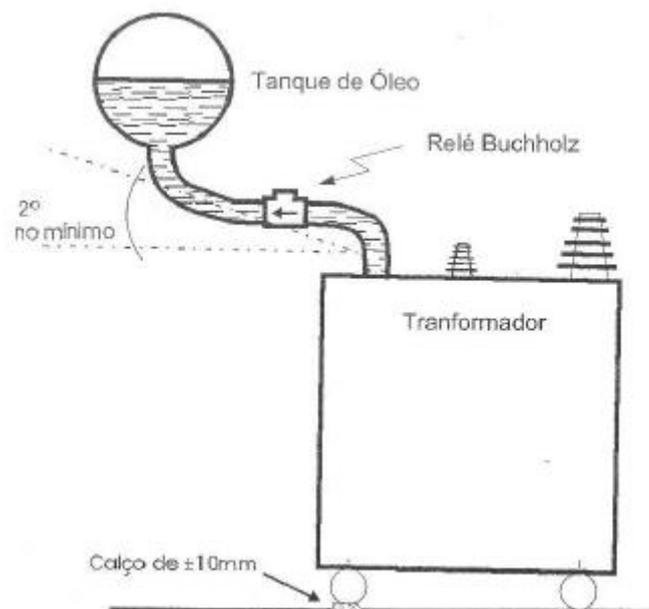


Figura 11 – Instalação do relé de Buccholz

Fonte: Geraldo Kindermann (1999, p. 151).

O relé de Buccholz com relação ao monitoramento da pressão tem como principal função responder um aumento anormal na pressão do óleo que compõe o transformador, pois há a ocorrência do arco, acarretada por uma falta interna. Em

caso de variações causadas de forma lentas, por exemplo, variações de cargas, são imperceptíveis ao relé de pressão. Concomitantemente, em caso de faltas incipientes, ocorre a formação de gás, com isso o relé de Buccholz, ocasionando o fechamento do contato que aciona o alarme, sem que haja a deterioração do isolamento, desta forma sem ocorrer danos maiores.

Em relação às partes e ao funcionamento das mesmas, o relé de Buccholz, é composto de dois elementos, conforme citado localizado no tubo que interliga o tanque do transformador ao conservador. A bóia localiza-se na câmara coletora de gás enquanto o outro elemento é composto por uma lâmina cuja operação se dá através da rápida circulação do óleo no tubo. O primeiro elemento (bóia) detecta as faltas incipientes ou normais, conforme citado anteriormente, enquanto o segundo elemento atua no curto circuito, acionando o disjuntor, que realiza a rápida expansão do óleo entre o tanque e o conservador (CAMINHA, 1977, p. 151).

3 RELÉ DE PROTEÇÃO

Os principais dispositivos de proteção do sistema elétricos são os relés, este capítulo destina-se a uma introdução na proteção de sistemas elétricos, e abordará a evolução dos relés de proteção, desde os relés eletromecânicos até os relés microprocessados.

3.1 INTRODUÇÃO A FILOSOFIA DE PROTEÇÃO

Sistemas de proteção elétricos são os quais tem as funções principais para detectar, localizar e comandar a eliminação de faltas como curto-circuito ou uma condição anormal de operação de um sistema elétrico através dos dispositivos associados como relés. A proteção atua com objetivo de evitar as possíveis falhas que possibilita danificar e prejudica os equipamentos e materiais do sistema elétrico, promover o rápido restabelecimento de fornecimento de energia aos consumidores e fornecer as informações necessárias aos responsáveis de operação para facilitar a identificação dos defeitos e a sua conseqüente recuperação.

3.2 DEFINIÇÕES USADAS EM SISTEMAS DE PROTEÇÃO ELÉTRICOS

Para um esquema de proteção deve levar em consideração as seguintes definições adotadas por Anderson (1999, p. 9):

- confiabilidade de um sistema de proteção é definida como a probabilidade de funcionamento correto da proteção quando houver a necessidade de sua atuação. A confiabilidade apresenta dois aspectos: primeiro, o sistema deve operar na presença de uma falta que está dentro de sua zona de proteção e, segundo, ele deve deixar de operar desnecessariamente para uma falta fora de sua zona de proteção ou na ausência de uma falta;
- segurança na proteção é um termo usado para mencionar a habilidade de um sistema ou equipamento de deixar de operar desnecessariamente. Porém, assim como confiabilidade da proteção, o termo muitas vezes é usado para indicar que um sistema está operando corretamente;

- sensibilidade na proteção é a capacidade do sistema tem de identificar uma condição anormal em que exceda o nível normal ou detectar o limiar em que a proteção deve atuar;
- seletividade na proteção refere-se em todo esquema de dispositivos de proteção, apenas aqueles dispositivos de proteção mais próximos da falha são atuados para remover o elemento defeituoso. A seletividade tem a característica de restringir a interrupção somente dos componentes do sistema que estão em falta;
- zona de proteção são as regiões de sensibilidade. Na Figura 12, mostra-se um exemplo de sistema de potência com zonas de proteção inclusas por linhas tracejadas;
- coordenação dos dispositivos de proteção é determinar os ajustes para conseguir a sensibilidade de coordenação entre os dispositivos de proteção;
- falso desligamento ocorre quando o relé causa o desligamento operando desnecessariamente em decorrência de uma falta fora da zona de proteção ou quando não há a ocorrência de falta.

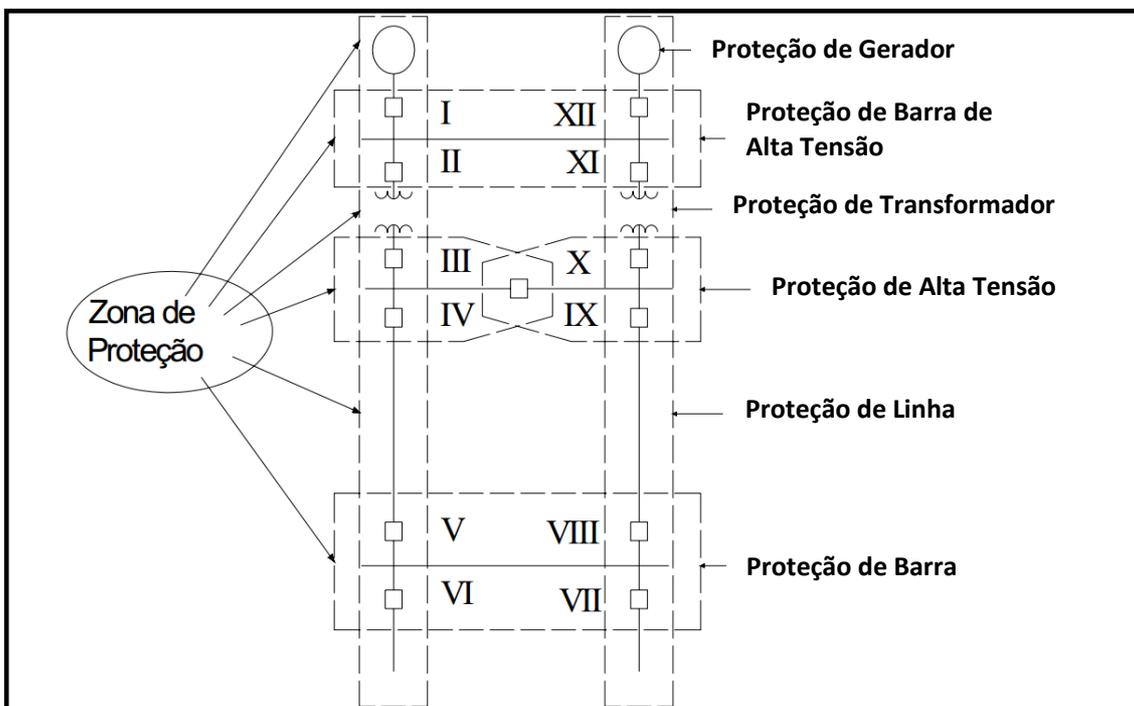


Figura 12 – Zonas de proteção de um sistema de potência

Fonte: Anderson (1999).

De acordo com Caminha (1977, p. 7), a principal função dos sistemas de proteção elétricos é a de ocorrer rápida retirada de funcionamento dos elementos, quando ocorrer um curto-circuito, ou quando operar fora das condições normais que possa provocar dano ou interferir na operação do resto do SEP. Além de propor a rápida retirada, os sistemas de proteção elétricos tem função de indicar a localização e o tipo da falta, para que possam ser realizada análise do problema ocorrido.

Principais dispositivos que detectam a anormalidade no sistema e operam a retirada do elemento defeituoso são basicamente os relés. Conforme Kindermann (2005, p. 55), os relés são os elementos mais importantes do sistema de proteção, uma vez que estes equipamentos são capazes de identificar os defeitos, alertar a quem opera o SEP, e promover a abertura de disjuntores para retirar o trecho defeituoso de operação, mantendo a operação normal do restante, sem que os efeitos desse defeito prejudiquem a sua operação.

A atuação de sistema de proteção elétrico é separada em três grupos, que são a proteção primária (ou principal), a proteção secundária (ou de retaguarda) e proteção auxiliar.

A proteção primária tem a sua função principal de indicar o local da falta e o tipo de defeito que ocorre no SEP, conseqüentemente, ter uma rápida retirada apenas em elemento que sofre o curto-circuito ou em operação anormal. A proteção secundária (ou retaguarda), cuja finalidade é de operar quando a proteção primária não entrou em atuação e na manutenção da mesma. A proteção auxiliar funciona com multiplicador de contatos, sinalização ou temporizador, etc.

3.3 DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO

Encontram-se basicamente dois dispositivos dedicados nos sistemas proteção de elétricos de qualquer natureza que são os fusíveis e os relés.

De acordo com Mamede Filho e Mamede (2011, p. 7), os fusíveis funcionam pela fusão do seu componente metálico desenvolvido com característica de tempo *versus* corrente. E os relés constituem uma quantia grande de dispositivos que fornecem várias formas de proteção aos sistemas de elétricos como sobrecarga, curto-circuito, sobretensão, subtensão etc.

Todo tipo de relé de proteção pode ter um ou mais características para executar suas funções básicas dentro dos limites requeridos pelos esquemas de proteção e coordenação, para determinados elementos de sistemas elétricos.

Os relés passaram por profundas mudanças ao longo dos anos desde que surgiu o primeiro dispositivo de proteção do modelo eletromecânico em 1901, que era um de relé de proteção de sobrecorrente do tipo indução. Afirmam Mamede Filho e Mamede (2011, p. 7). O princípio de proteção de diferencial de corrente foi desenvolvido em 1908 e o desenvolvimento de proteções direcionais em dois anos depois. Apenas em 1930, foi desenvolvida a proteção de distância, e na mesma década surgiram os primeiros relés de proteção à base de componentes eletrônicos, utilizando os semicondutores.

Entretanto, 40 anos atrás no mercado encontrava somente relés de proteção do tipo eletromecânicos, e eventualmente um modelo ou outro, com componentes eletrônicos.

Na década de 1980, surgiram às primeiras unidades de proteção utilizando a tecnologia digital, o mercado brasileiro não estava preparado a essa tecnologia devido o seu atraso tecnológico de proteção eletrônica que acabam resultando em falhas nos equipamentos. Comentam Mamede Filho e Mamede (2011, p. 7), nesse mesmo período foram muito utilizados em algumas concessionárias de energia elétrica os relés digitais e os eletromecânicos juntos, que os relés eletromecânicos serviam como uma proteção de retaguarda. Isso é porque os relés de indução de construção robusta são usados em armários metálicos instalados ao tempo que suportavam intempéries e não mostrando as falhas no seu funcionamento. Agora os relés estáticos e digitais, são dispositivos feitos à base de componentes de alta sensibilidade às altas temperaturas, e na maioria das vezes eram alocados nos armários metálicos localizados nos pátios das SEs, devido a essas condições críticas de operações, acabam apresentando falhas nos seus funcionamentos.

Sem dúvida, existem muitas vantagens no uso dos relés microprocessados em relação ao uso dos relés eletromecânicos e estáticos. Os relés eletromecânicos e estáticos são considerados aparelhos leigos em relação aos relés digitais, que apresentam uma confiabilidade e um preço competitivo, além de uma tecnologia de microprocessados incorporados. (MAMEDE FILHO; MAMEDE, 2011, p. 7).

Ao decorrer do tempo, o grau de sofisticação e confiabilidade da tecnologia dos relés de proteção se elevou, a noção sobre a vida útil de um sistema de proteção elétrico também mudou. A vida útil dos relés eletromecânicos devido a sua construção robusta tem de 20 a 30 anos. Para os digitais, a sua vida útil não é contado pelo tempo desgaste do equipamento, e sim, pelos softwares utilizados. Conforme a evolução e o aperfeiçoamento do *software* de programação e lógica,

indispensável à utilização dos relés digitais mais desenvolvidos, conseqüentemente os menos “modernos” serão descartados (MAMEDE FILHO; MAMEDE, 2011, p. 8).

Houve mudança também na parte da formação dos profissionais na área de proteção. O tempo de treinamento de um profissional para manusear e realizar uma manutenção de um determinado relé eletromecânico de indução era cerca de 10 horas, acrescentava-se 2 ou 3 horas a mais para fazer a manutenção de um relé do mesmo modelo, só que do outro fabricante, esse fato ocorreu devido as características entre os relés eletromecânico de indução ser tão parecido, mesmo sendo de fabricantes diferentes. Mas hoje em dia é totalmente diferente, o treinamento para os profissionais que atuam em manutenção dos relés digitais pode levar semanas, e sendo necessário o mesmo tempo de treinamento para o mesmo profissional executar manutenção no dispositivo de outro fabricante (MAMEDE FILHO; MAMEDE, 2011, p. 8).

Os relés de proteção atual podem ser descritos em três categorias que são relés eletromecânicos de indução, relés estáticos e relés microprocessados.

3.4 CARACTERÍSTICAS E PRINCÍPIOS BÁSICOS DOS TIPOS DE RELÉS

Os relés podem ser classificados conforme a natureza das grandezas com a qual atuam, como por exemplo: tensão, corrente, frequência, potência, temperatura, etc, e podem ser categorizados quanto à construção, como relés eletromecânicos, relés estáticos ou relés digitais.

3.4.1 Relés eletromecânicos de indução

Os primeiros relés desenvolvidos com finalidades específicas para atuações pela variação de alguma grandeza elétrica foram os relés eletromecânicos. Eles eram projetados para atuar no sistema, geralmente, através da atuação de forças produzidas pela interação eletromagnética entre as correntes e o fluxo magnético sobre um condutor móvel (HOROWITZ; PHADKE, 2008, p. 29).

Mamede Filho e Mamede (2011, p.8) compartilham seus pontos de vista, “são equipamentos dotados de bobinas, disco de indução, molas, contatos fixos e móveis que lhes emprestam uma grande robustez. Dado o seu mecanismo de operação, são tido como verdadeiras peças de relojoaria”. Devido às semelhanças estruturais entre os relés dos fabricantes, conseqüentemente acaba facilitando tanto na

manutenção quanto nos ajustes dos parâmetros elétricos. Por exemplo, o relé de sobrecorrente de um determinado fabricante poderia ser retirado do painel e substituído pelo relé de sobrecorrente da outra fabricante sem a necessidade de nenhum tipo de alteração na instalação.

Seus ajustes são realizados por meio de diais instalados sob a sua tampa de vidro, facilmente retirada. Algumas unidades operacionais necessitam de fontes de corrente elevada externa para realizar o seu ajuste. A sinalização operacional é do tipo mecânico, com o aparecimento de uma bandeirola vermelha que indica que a operação do relé.

Atualmente, os relés eletromecânicos não são mais fabricados. Os relés eletromecânicos ainda são “largamente utilizados nos esquemas de proteção de consumidores industriais e residenciais de grande porte e nos sistemas de proteção das companhias de eletricidade” (RUFATO JUNIOR, 2006, p. 22). Os relés eletromecânicos apresentam uma vida útil bem prolongada e somente são trocados quando houve alguma mudança no sistema de proteção da SE, em virtude da manutenção, extensão para obter uma operação com melhor desempenho.

Os dispositivos de proteção como relés eletromecânicos, em geral, apresentam apenas uma única função, exceto dos relés que tem funções de sub e sobretensão (27/59), ou de sobrecorrente instantâneo e temporizado (50/51).

Mesmo com sua tecnologia obsoleta, para o estudo de conceitos básicos de proteção, esse tipo de relé facilita a compreensão dos acadêmicos. A Figura 13 mostra um relé de sobrecorrente eletromecânico de indução.

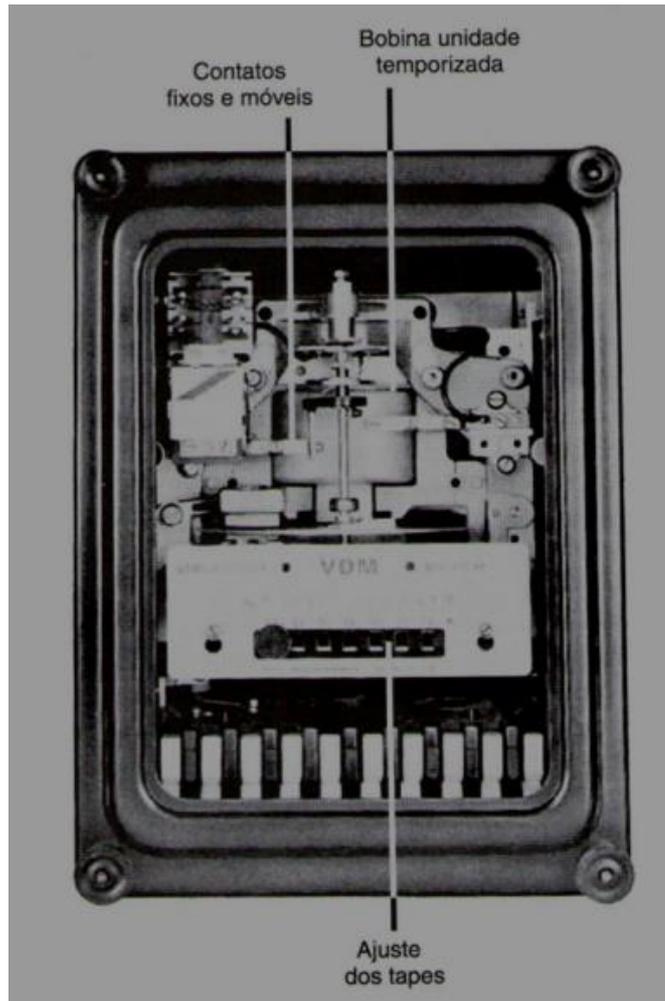


Figura 13 – Relé de sobrecorrente do tipo indução
Fonte: Mamede Filho e Mamede (2011, p. 8).

3.4.2 Relés eletrônicos

Os relés eletrônicos ou relés do tipo estático são construídos com dispositivos eletrônicos, próprios e específicos aos objetivos da proteção. Nestes relés, não há nenhum dispositivo mecânico em movimento, todos os comandos e operações são feitos eletronicamente, caracterizado devido a sua construção realizada através de um circuito eletrônico (hardware). Qualquer regulagem é efetuada pela mudança física no parâmetro de algum componente, tal como, variação no reostato, variação na capacitância, mudança do laço no circuito e etc. A maioria dos relés estáticos, no final sempre acaba operando mecanicamente um relé auxiliar que ao fechar o seu contato provoca a abertura ou ativa a abertura do disjuntor. Muitos são chamados de relé semi-estáticos porque há alguns componentes mecânicos associados. O termo estático originado em confronto aos relés eletromecânicos, já que o relé estático é

caracterizado a princípio pela ausência de movimento mecânicos (KINDERMANN, 2005, p. 88).

De acordo com o Rufato Junior (2006), os relés eletrônicos apresentam as seguintes vantagens:

- são de operação rápida e vida longa;
- dispositivos que apresentam uma, duas ou múltiplas entradas;
- ausência de inércia mecânica, alta resistência ao choque e vibração;
- baixa manutenção devido à ausência de partes móveis e com atrito;
- facilidade de fornecer amplificação permite maior sensibilidade;
- baixo nível de energia requerido nos circuitos de medição permite a miniaturização dos módulos do relé;
- representam uma carga baixa para transformadores de corrente e de potencial, já que a potência de operação é, em muitos casos, de uma fonte externa.

A despeito das vantagens mencionadas, os primeiros relés eletrônicos, por exemplo, tiveram vários problemas nas operações no sistema elétrico. Isso devido à alta sensibilidade dos seus componentes eletrônicos, ou seja, qualquer transtorno e transitório ocorrido no SEP já eram suficientemente afetar a estabilidade do funcionamento dos relés. Tanto que na época, maiorias dos relés eletrônicos foram substituídos pelos antigos relés eletromecânicos que representavam uma melhor confiabilidade na operação. A Figura 14 mostra um relé eletrônico muito utilizado no passado.

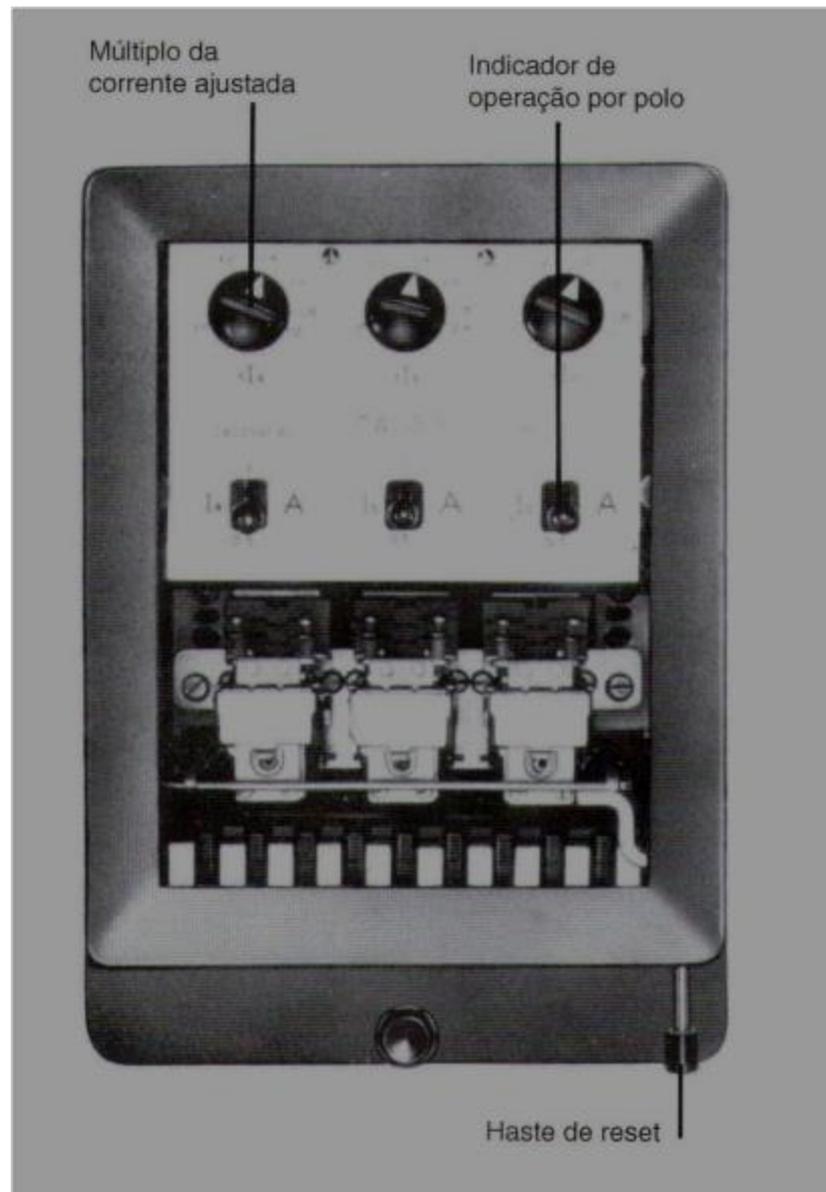


Figura 14 – Relé eletrônico

Fonte: Mamede Filho e Mamede (2011, p. 9).

A expansão, [...] no SEP moderno causam um aumento da necessidade de um sistema de proteção cada vez mais confiável e seguro, o que se reflete no acréscimo de velocidade e de sofisticadas características dos relés de proteção. Nesse sentido, com o desenvolvimento dos componentes semicondutores e de estudos das suas aplicabilidades [...] (BARBOSA, 2008).

Com o rápido avanço tecnológico e as aplicações de microprocessadores, deu-se o desenvolvimento dos relés computadorizados ou digitais.

3.4.3 Relés Digitais ou Microprocessados

Os relés digitais são controlados por determinados *software* através dos microprocessadores, tendo um gerenciamento das informações digitais de entrada das tensões e corrente. Por tanto, os relés digitais podem ser chamados como relés microprocessados.

Relés digitais surgiram na década de 1960, quando as ferramentas tradicionais na análise do SEP foram substituídas pelos computadores. Mesmo que os relés possuíam muitas vantagens se comparados com os relés eletromecânicos e os relés eletrônicos. Na época, a tecnologia dos computadores não conseguia atender às necessidades no uso de proteção do sistema elétrico, e também do alto custo do investimento desses equipamentos (RUFATO JUNIOR, 2006, p. 51). Com a evolução rápida de tecnologia, a automação tem se tornado a base da modernização das SEs. Hoje, os relés digitais têm o total domínio do mercado, são elementos indispensáveis no esquema de proteção moderno, atuando nas funções de medição, controle e proteção.

Os relés microprocessados são compostos de circuitos eletrônicos providos de *chips* de alta velocidade de processamento. Funcionam através de programas dedicados que processam as informações que chegam pelos transformadores de medição. Por meio de contatos externos são efetuados os comandos decididos pelo processo de avaliação microprocessado do relé. Seus ajustes de são realizados por duas maneiras, na parte frontal do relé por uma tecla de membrana por meio de instruções específicas ou através de um microcomputador conectado no frontal do relé por meio de uma comunicação. Não apresentam nenhuma padronização nas dimensões, até mesmo porque é impraticável, do ponto de vista funcional, operar com relés de fabricantes diferentes ou até mesmo relés de mesmo fabricante, porém com defasagem tecnológica. (MAMEDE FILHO; MAMEDE, 2011, p. 10).

Os relés microprocessados inovaram os esquemas de proteção, apresentando vantagens que seus antecessores não podem ser obtidos. Não somente têm funções de proteção mais confiável, relés digitais realizam funções de comunicação, medidas elétricas, controle, sinalização remota, acesso remoto etc (MAMEDE FILHO; MAMEDE, 2011, p. 10).

Na Figura 15 tem-se um relé digital de proteção de distância largamente empregado nos projetos de proteção de SEs de potência.

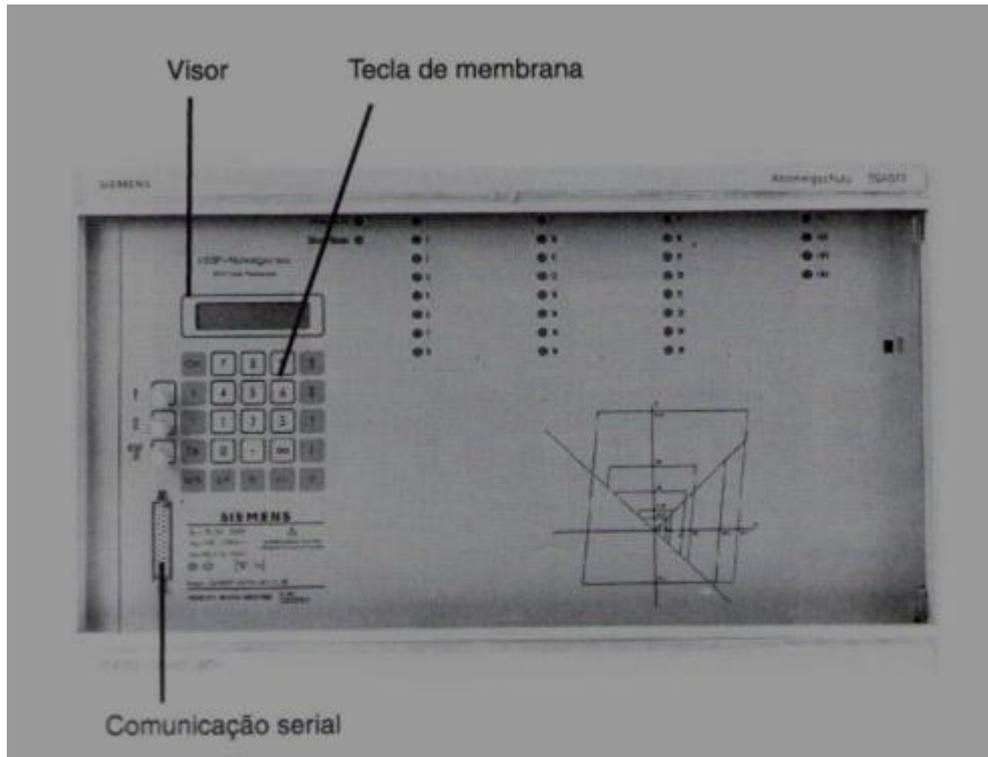


Figura 15 – Relé digital

Fonte: Mamede Filho e Mamede (2011, p. 10).

Os relés digitais podem ser utilizados substituindo a maioria das aplicações de relés eletromecânicos. Os benefícios adicionados por um esquema simples e pela confiabilidade melhorada fazem deles uma opção muito atrativa. Os relés digitais também tornaram acessíveis novas filosofias e aplicações de proteção (RUFATO JUNIOR, 2006, p. 24).

Os benefícios que os relés digitais podem ter:

- confiabilidade e auto diagnóstico: detectar qualquer defeito interno através do monitoramento constante de um relé digital programado. O relé digital pode gerar a alarme ao sistema central quando ocorre o defeito elétrico (PHADKE; THORP, 2009, p. 4);
- flexibilidade funcional: pode ser empregada para executar diversas funções e também pode executar muitas outras tarefas na SE. Por exemplo: medição, monitoramento, controle, localização de faltas, fornecimento como retaguarda para os relés que estão em falta (PHADKE; THORP, 2009, p. 5);
- custo: o custo de um relé é o fator principal para sua aceitação do mercado. Os primeiros relés digitais custavam 10 a 20 vezes mais caro em relação aos relés convencionais de estado sólido. Ao longo dos anos, o custo foi reduzido drasticamente e sua velocidade de processamento aumentou substancialmente;

- integração digital: Os computadores e a tecnologia digital têm se tornado a base da maioria dos sistemas empregados nas SEs. Medições, comunicação de dados e controle são praticamente realizados fazendo-se uso da tecnologia digital. A fibra óptica para a comunicação, devido a sua imunidade à interferência eletromagnética, é susceptível de tornar-se o meio para transmissão do sinal de um ponto ao outro ponto da SE. (PHADKE; THORP, 2009, p. 4). Como Coury, Oleskovicz e Giovani (2007, p.5) destacam que nas subestações modernas, os relés digitais devem estar integrados naturalmente nesses sistemas.

Uma estrutura hierárquica que envolve a integração dos sistemas de supervisão, controle, medição e proteção com o sistema elétrica (PHADKE; THORP, 2009, p. 20). Na Figura 16, tem-se o esquema de uma estrutura hierárquica dos níveis de proteção digital.

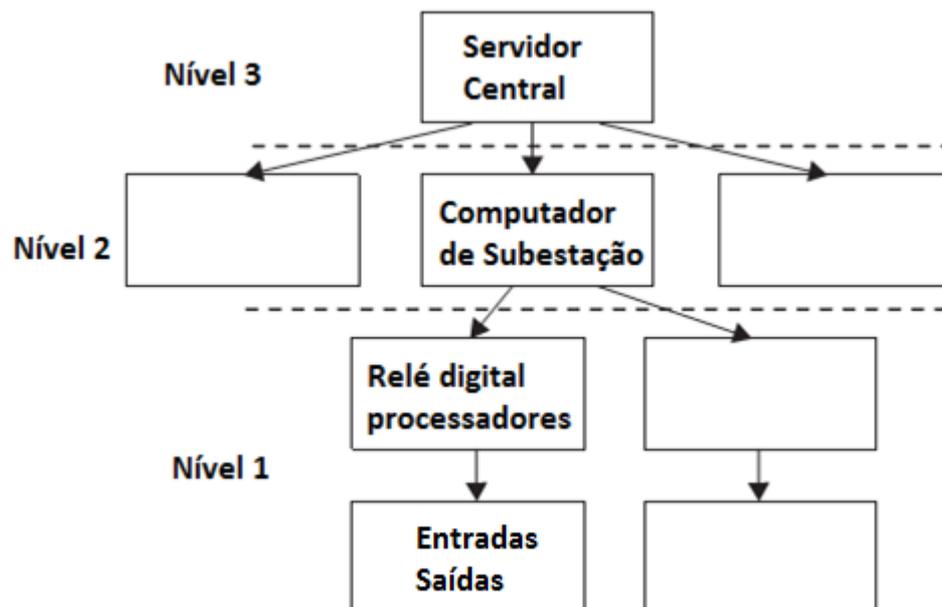


Figura 16 – Estrutura hierárquica dos níveis de proteção digital

Fonte: Phadke e Thop (2009, p. 20).

Nível 1 - Relé digital processadores e *Input/Output*: Funções de medição, de controle, de automação, de proteção e de diagnóstico através de informações vinda do sistema, interface homem-máquina, comunicação com o nível 2 e a aquisição de dados de energia elétrica do Sistema elétrico.

Nível 2 - Computador de Subestação: Interface homem-máquina, aquisição e armazenamento de dados, análise de sequência de eventos, Back-up em caso de falhas, comunicação com níveis 1 e 3.

Nível 3 – Servidor Central Iniciar ações de controle de sistema, coleta e processamento de dados, análise de sequência de eventos, comunicação com o nível 2, proteção adaptativa e elaboração de relatórios.

4 AUTOMAÇÃO DE SUBESTAÇÕES ELÉTRICAS, PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO

A evolução do SEP trás novas diretrizes, sem dúvida a automação e controle das SEs é um tópico em alta quando se trata de evolução e segurança de processos, este capítulo cita a automação em SE, além de referir aos tipos de protocolos de comunicação, salientando a norma IEC 61850 devido a sua importância no sistema de proteção, controle e automação das SEs.

4.1 AUTOMAÇÃO DE SUBESTAÇÕES ELÉTRICAS

Em meados do século XX os problemas básicos de grandes operações elétricas já haviam sido estudados e resolvidos, entretanto, não existia o controle e automação de processos com a intensidade existente hoje.

A partir de 1980 com a ascensão e evolução do microcontrolador, a automação se instaurou de forma expressiva até se torna soberana, com isso substituiu os métodos antigos que utilizavam instrumentos mecânicos, sistemas hidráulicos, pneumáticos e em seguida perdeu lugar para a eletrônica analógica.

A evolução dos microprocessadores está evidente no dia a dia, já se percebe os tamanhos dos computadores que estão diminuindo exorbitantemente a cada geração, a capacidades de processamento de alto desempenho e consumo mínimo de energia (SEL, 2013).

Os relés microprocessados foram apenas o primeiro passo para evolução na automação de subestações. Uma SE automatizada é dotada de dispositivos denominados como *Intelligent Electronic Devices* (IEDs) em consequência de serem dispositivos inteligentes, em função da automação, são elementos que possuem características de proteção, controle, monitoração, medição e comunicação.

A automação em SEs traz muitas vantagens, segundo Silva (2002, p. 15) “com redução da quantidade e do tempo de interrupções, por meio da supervisão direta e em tempo real do sistema elétrico”, igualmente, tem-se melhoria da qualidade operacional. Devido ao fato da automação não utilizar a ação manual, temos uma grande diminuição na ocorrência de falha humana, além de possibilitar a operacionalização remota das SEs através dos Centros de Operações do Sistema (COS) e Centros de Operações Regionais (COR).

O conceito de automação das SEs ocorreu devido à inclusão de redes de comunicação, aplicando uma filosofia integrada de todos os dispositivos das SEs, com isso os IEDs, supervisórios, COSs e CORs estão em constante comunicação.

4.2 PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO

Em razão da necessidade da evolução de comunicação para automação das SEs, foram adotados padrões, denominados protocolos de comunicação. Os protocolos mais utilizados na automação de SE são os *Distributed Network Protocol* (DNP) 3.0, IEC 60870-101 e IEC 61850. Sendo eles divididos em protocolos de comunicação seriais e em rede (SEL, 2013):

- protocolos de comunicação seriais - IEC 61870-101, DNP 3.0 e *Modbus*. São utilizados principalmente em locais cujo *overhead* é limitado ou pequeno, ou seja, em locais em que os sistemas de comunicação possuem bandas com uma limitação relativa, usualmente 9,6 kbps.
- protocolos de comunicação em rede – IEC 61850. Esse tipo de protocolo de comunicação utiliza rede e destaca-se por possuir uma banda de tamanho expressivo, tipicamente com 100 Mbps a 1 Gbps. Sua aplicação é motivada em SEs, pois facilita a configuração dos IEDs, serviços de monitoramento e divisão da aplicação em diferentes camadas de comunicação.

Segundo a COPEL (2010, p. 20), “recomenda-se que os relés digitais devam ser adquiridos com o mesmo protocolo de comunicação padronizado pela COPEL (DNP 3.0)”, tendo em vista os benefícios propiciados pela norma IEC 61850, há a viabilização da utilização da mesma.

4.2.1 Norma *Internacional Eletrotechnical Comission* 61850

No cenário atual e com o avanço da tecnologia, muitas concessionárias de energia elétrica, tanto no cenário nacional quanto no mundial, veem se adequando a evolução e normas a fim de aprimorar em seus níveis de automação.

O intuito da norma IEC 61850 não é solucionar todos os problemas que se fazem presentes em uma subestação, mas sim buscar uma padronização, em âmbito internacional. Conceitos como interoperabilidade entre equipamentos e o uso de redes *LAN Ethernet*, as quais possuem velocidade expressiva e maior

confiabilidade, propiciam uma revolução aos Sistemas de Automação de Subestações. Desta forma a norma acarreta uma simplificação no quesito de trocas de informações, além de permitir uma integração entre equipamentos de diferentes fabricantes. Quando se relaciona a norma IEC 61850 com os relés digitais, os quais evoluíram para IEDs de proteção com aspectos multifuncionais, a possibilidade de comunicação entre os equipamentos mostram um cenário de monitoramento e controle composto em uma rede local desta forma os IEDs de proteção se tornaram dispositivos compostos e divididos em classes hierárquicos de proteção dentro de uma subestação (DUARTE, 2012, p.14).

A comunicação na NORMA IEC 61850 através de redes de fibra óptica e *wireless*, devido a esse fato, comunicação proporciona, conforme citam Kimtura et al. (2008, p. 2) a “redução significativa na quantidade de cabos a serem utilizados, facilitando o comissionamento e reduzindo a probabilidade de falhas”, automatização dos painéis de controle e a troca de chaveamentos por circuitos lógicos, concomitantemente ocorreu uma diminuição no uso interface e equipamentos intermediários (*gateway*, concentradores e conversores).

Interoperabilidade conceitua principal característica da norma IEC 61850, “propõe uma Arquitetura de Comunicação única entre todos os dispositivos, independente da função que este exerce na subestação ou de seu fabricante” (OLIVEIRA, 2013) esta tecnologia propiciou a padronização na comunicação dos IEDs.

A norma IEC 61850 definiu que o conjunto de dados e serviços, incluindo as mensagens, seja mapeado utilizando protocolos e serviços disponíveis no mercado e amplamente difundidos, como o MMS (*Manufacturing Message Specification*), o TCP/IP (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*), que é orientado à conexão, o UDP/IP (*User Datagram Protocol/Internet Protocol*), que é não orientado à conexão, além da rede *Ethernet* (PEREIRA, 2009).

Em caso de falhas dos IEDs, a substituição não se restringirá a apenas um fabricante, e sim aquele atenda as necessidades técnicas e comerciais. Desta forma a aplicabilidade não influencia apenas em um quesito técnico, mas também no âmbito comercial, pois o dinamismo propiciado pelo conceito de interoperabilidade obriga os fabricantes de IEDs de proteção a se atualizarem a fim de apresentar não apenas um produto que atenda suas funções tecnicamente, mas também um produto adequado e competitivo no mercado de energia elétrico brasileiro.

A norma divide sete níveis de mensagens, sendo que determinadas e divididas conforme o nível de importância das mesmas. Com isso mensagens

urgentes possuem uma banda maior disponível, por outro lado bandas que requerem menos urgência tendem a ser menos rápidas e ocupam menor espaço na banda.

Podem-se dividir em três velocidades os sete níveis de mensagens:

- alta velocidade: *trip* e controles;
- média velocidade: informações de medidas, estados e comandos;
- baixa velocidade: parâmetros, eventos e transferência de arquivos.

As mensagens de alta velocidade estão diretamente relacionadas ao sistema de proteção, pois são as mensagens de alta velocidade que determina o *trip* nos determinados IEDs e realizam o controle das SEs. As mensagens de alta velocidade são tituladas de *Generic Substation Events* (GSE), esta tem capacidade envio múltiplos de mensagem, ou seja, através da própria rede faz a comunicação, sendo esta utilizada ou não, dependendo da necessidade. A GSE subdividida em *Generic Object Oriented Substation Event* (GOOSE) e *Generic Substation Status Event* (GSSE). Nas mensagens GOOSE “a informação é configurável e utiliza um *data set* (grupamento de dados)” (PEREIRA et al., 2009), o mesmo autor cita que as “mensagens GSSE somente suportam uma estrutura fixa de informação de estado, a qual é publicada e disponibilizada na rede” (PEREIRA et al., 2009).

A adoção da norma IEC 61850 contribuirá para que sistemas de comunicação, controle, supervisão e controle estejam sempre dentro de padrões que tem por finalidade garantir a confiabilidade, segurança e funcionalidade de uma SE.

4.3 SUPERVISORY CONTROL AND DATA ACQUISITION

O *Supervisory Control And Data Acquisition* (SCADA) tradicionalmente supervisionam grandes áreas geográficas e usam uma combinação de ligações diretas através de protocolos seriais, modems, rádio ou micro-ondas e redes *ethernet* para atender rigorosos requisitos de disponibilidade do sistema em supervisão.

De forma resumida um sistema SCADA é formado por terminais que coletam dados de tempo e transmitem esses dados a uma estação principal por meio de um sistema de comunicação. A estação principal exhibe os dados adquiridos e também permite que o operador execute tarefas de controle remoto (BAILEY, 2003, p. 12)

A seguir, a Figura 17 mostra um exemplo de interface gráfica de uma SE, a qual é mostrada em uma tela de Interface Homem Máquina (IHM) que permite o

monitoramento e rastreamento das instalações físicas ou informações dos processos realizados na SE.

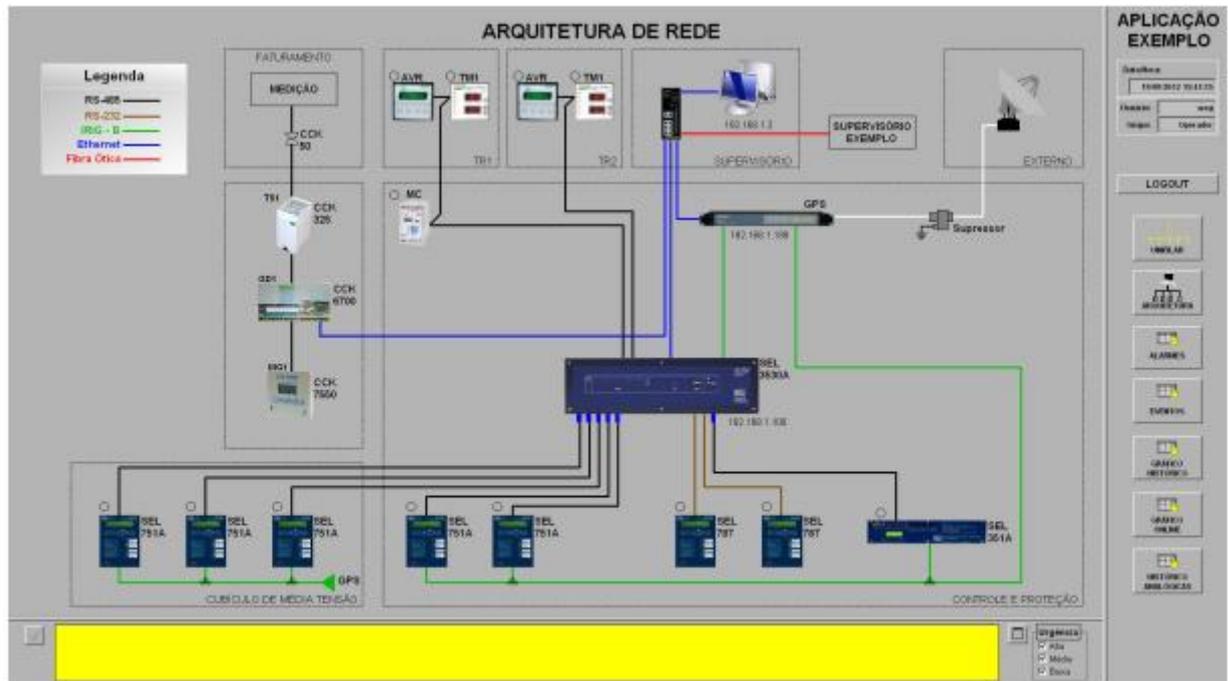


Figura 17 – Interface gráfica de uma subestação elétrica – Arquitetura de Rede.

Fonte: Deus (2013, p. 27).

Os principais tipos de protocolos SCADA que se usa no cenário nacional são protocolos seriais, como exemplo DNP 3.0 e IEC 870-5-101 ou 104, por outro lado pode ser usados protocolos de rede *Ethernet* tais como DNP3-IP e IEC 61850 (FERRER; SCHWEITZER, 2010, p. 212).

O sistema supervisão SCADA, aplicado em SE, tem como principal finalidade realizar a supervisão e controle de forma centralizada, englobando tanto equipamentos primários quanto secundários, independente da localização das SEs (DEUS, 2013, p. 27).

5 ESTUDO TÉCNICO

Em função dos equipamentos abordados nesse trabalho, tem-se como a finalidade apresentar uma filosofia de proteção para cada equipamento, com o intuito de abordar a utilização dos relés microprocessados, tendo em vista que cada equipamento possui um específico método de proteção, utilizando-se de um estudo teórico das principais funções de proteção, visando à evolução tecnológica que surgiram nos últimos anos.

Assim sendo, este capítulo visa apresentar uma solução para um sistema de proteção de uma SE de alta tensão através dos os relés digitais, com uma análise das ETs da COPEL, usando descritivos técnicos e manuais de relés, e juntamente com a evolução tecnológica incorporada às características dos relés, a norma IEC 61850 é uma das ferramentas de comunicação para a automação e controle das SEs.

5.1 RELÉ DE DISTÂNCIA 21 PARA APLICAÇÃO EM LINHAS DE 230 KV.

Conforme a especificação técnica da COPEL para aplicação em linhas de transmissão, a proteção deve ser realizada por dois relés de proteção distintos, entretanto com as mesmas características técnicas e de mesmo fabricante, assim dispendo-os na atuação como proteção principal e proteção alternada.

Para atender os requisitos mínimos, apresentados nas ETs da COPEL, os relés que realizam a proteção principal e alternada devem apresentar os seguintes requisitos:

- seletividade e adequação para eliminação de todo e qualquer tipo de falta que podem ser ocasionados em toda extensão da linha de transmissão;
- trip tripolar;
- com relação aos elementos de distância, os relés que compõem o sistema de proteção e controle da COPEL, devem possuir 4 zonas de proteção com característica mho ou poligonal para detecção de faltas entre fases (função 21). Nas faltas envolvendo a terra (função 21N) os dispositivos de proteção também devem possuir características mho ou poligonal nas suas 4 zonas de proteção. Com tempo típico de operação das zonas de proteção instantâneas de 35 ms;
- realizar a proteção de bloqueio por oscilação de potência (função 68);

- desempenhar a função de disparo por perda de sincronismo (função 78);
- em termos de teleproteção, o relé deve possuir um canal de comunicação para possibilitar a escolha do esquema de proteção, o qual será escolhido a critério do usuário. Nos esquemas de teleproteção, os elementos direcionais (função 67N) e (função 67Q) deverão compor as funções de proteção do relé e devem estar disponíveis e serem em números suficientes para atuação da teleproteção. Os esquemas de proteção que devem estar presente no relé de proteção são DCB, DCUB, PUTT, POTT e DTT;
- dispor de lógica interna para que quando a linha esteja conectada ao barramento se estabeleça a configuração de fonte fraca;
- bloqueio por perda ou falta de potencial;
- o relé deve possuir elemento de sobrecorrente direcional terra (função 67G) ou residual de modo a possibilitar a proteção direcional de sequência negativa (função 67Q);
- o IED de proteção precisa desempenhar, em conjunto com o elemento direcional, a função de sobrecorrente de fase (função 50/51);
- sobretensão (função 59), SOTF (fechamento sob falta), função de falha de disjuntor (função 50BF), religamento automático (função 79), localização de falta e verificação de sincronismo (função 25) são elementos essenciais para a aplicação de relés de distância para proteção conforme a norma da COPEL;
- o relé deve contemplar funções lógicas programáveis, desta forma com a possibilidade da combinação de variáveis internas, entradas, saídas e operadores lógicos;
- no quesito de oscilografia o relé deve realizar o monitoramento e o armazenamento dos valores de corrente e tensões de suas respectivas fases, registrando os estados das variáveis internas, entradas e saídas durante a atuação do relé;
- para comandos e controles é necessário que o relé possua 23 entradas e 32 saídas digitais, em caso de ampliação da SE, o relé deve possuir canais para comunicação com módulos de ampliação de entradas e saídas digitais.

Segundo as características técnicas, citadas anteriormente, e análise da especificação técnica da COPEL, o equipamento que se adequaria a todos estes requisitos técnicos é o relé de proteção de multifunção SEL-421, o qual segue ilustrado na Figura 18, para linhas de transmissão compensadas ou não, com disparo e religamento realizado em monopolar ou tripolar, automação e controle para até 2 disjuntores de um mesmo terminal.

SEL-421



Figura 18 – Ilustração SEL-421.

Fonte: Schweitzer (2013).

Este equipamento possui a possibilidade de implementação das seguintes funções de proteção:

- 21 - distância de fase, cinco zonas tipo mho e cinco zonas tipo quadrilateral;
- 21G - distância de neutro, cinco zonas tipo mho e cinco zonas tipo quadrilateral;
- 67G - sobrecorrente direcional de neutro (polarizado por corrente e tensão);
- 67Q - direcional de sequência negativa (polarizado por tensão);
- 50/51 - sobrecorrente de fase instantânea e temporizada;
- 50/51G - sobrecorrente residual instantânea e temporizada;
- 50/51Q (46) - sobrecorrente instantânea e temporizada de sequência negativa;
- 51V/C – sobrecorrente temporizada com restrição/controle de tensão;

- 85 - esquemas de controle ou teleproteção (PUTT, POTT, DCUB, DCB, DTT, etc ou lógica programável);
- 78/68 - disparo e bloqueio por oscilação de potência;
- 79 – religamento automático monopolar (2 tentativas) ou tripolar (quatro tentativas) para até dois disjuntores;
- 25 - verificação de sincronismo para até dois disjuntores;
- 27/59 - subtensão e sobretensão fase-neutro e entre fases;
- 59G - sobretensão residual;
- 59Q - sobretensão de sequência negativa;
- 50/62BF - falha de disjuntor para até dois disjuntores;
- 60 - perda de potencial;
- 81 - sub/sobrefrequência, taxa de variação de frequência df/dt ;
- 49 – sobrecarga por imagem térmica;
- 87V – diferencial de tensão para banco de capacitores de alta tensão (por lógica).

5.1.1 Características Básicas do Relé SEL-421.

A. Controlador de *Bay*:

- arranjos de *Bay* pré-configurados;
- controle local de até 2 disjuntores;
- indicação de estado de até 3 disjuntores;
- controle e indicação de estado de até 10 seccionadoras;
- junto a tela do mímico pode ser configurado até 6 medições analógicas;
- disjuntores, seccionadoras, barramento e o próprio *Bay* podem receber nomes;
- funções de controle protegidas por senha;
- modo Local/Remoto;
- solicitação de confirmação de comando;
- alarme de operação para disjuntores e seccionadoras.

B. Funções de Medição:

- correntes de fase (I_a, I_b, I_c) para as 2 entradas de corrente (2 disjuntores) medidas separadamente ou combinadas, de neutro (I_g) e correntes de sequência (I_1, I_2, I_0);

- tensões de fase (V_a, V_b, V_c) para as 2 entradas de tensão, $V_{\phi\phi}$, tensões de sequência ($V_1, 3V_2, 3V_0$);
- potência ativa e reativa por fase e trifásica (quatro quadrantes);
- fator de potência por fase e trifásico;
- medição *root mean square* (RMS) que inclui harmônicas para corrente, tensão, potência ativa, potência aparente e fator de potência;
- demanda de corrente de fase, de neutro e de sequência negativa;
- demanda de potência ativa e reativa por fase e trifásica (quatro quadrantes);
- energia ativa e reativa por fase e trifásica (quatro quadrantes);
- registro de valores máximos e mínimos de grandezas analógicas;
- medição sincronizada de fasores, possibilita a medição de grandezas fasoriais entre SEs com precisão de $0,25^\circ$ na medição dos ângulos, substitui PMUs.

C. Funções de Monitoramento:

- oscilografia com frequência de amostragem de 8 kHz (até 6s), 4 kHz (até 9s), 2 kHz (até 12s) ou 1 kHz (até 15s). Tamanho selecionável entre: 0.25s, 0.5s, 1.0s, 2.0s, 3.0s, 4.0s ou 5.0s (dependente da frequência de amostragem);
- conexão da entrada IRIG-B ao receptor de *Global Positioning System* (GPS), garante que todos os relés estarão amostrando de forma sincronizada, o que permite uma análise sistêmica de ocorrências;
- sequência de eventos, com capacidade de armazenar os últimos 1000 eventos;
- localizador de faltas, indicação em quilômetro ou %;
- monitoramento do sistema de alimentação auxiliar em corrente contínua (CC) para 2 bancos de baterias, fornecendo alarme para sub ou sobretensão, falha a terra *Ripple*;
- monitoramento de desgaste dos contatos do disjuntor por pólo;
- contador de operações;
- monitoramento das bobinas do disjuntor;
- monitoramento de discrepância de pólos, pólo *Scatter*, tempo de operação elétrico, tempo de operação mecânico, tempo de inatividade, tempo de

operação do motor, corrente interrompida, com programação de valores limites para propósitos de alarme;

- monitoramento térmico de linhas de transmissão.

D. Funções de Controle;

- número de entradas binárias e contatos de saída, com padrão de 7 entradas e 8 saídas digitais, sendo 3 de alta capacidade de interrupção de corrente, com a possibilidade de expansão para até duas placas de *In/Out* adicionais.
- 8 botões frontais exclusivos para programação de funções para controle, tais como: abrir ou fechar o disjuntor e/ou seccionadoras, local ou remoto, habilita ou desabilita religamento, teleproteção ou disparo monopolar, etc.
- duas regiões para programação de lógicas (SELogic), região de proteção e região de automação;
- todas as variáveis analógicas estão disponíveis para elaboração de lógicas com a utilização de comparadores e operadores matemáticos, desta forma pode-se criar novas funções de proteção/controle ou adequar as existentes, o que permite a utilização do relé em sistemas com requisitos complexos, tais como funções de verificação de sincronismo e religamento em que se exige extrema flexibilidade e precisão.
- programação de até 32 mensagens para serem exibidas no *display*;
- grupos de ajustes;
- controle de torque das funções de sobrecorrente;
- 30 – anunciador;
- 69 – inibição de fechamento;
- 86 – retenção de sinal de disparo.

E. Integração:

- 1 porta serial EIA-232 frontal, 3 portas seriais EIA-232 traseiras e porta *Ethernet dual*, em fibra ou cabo metálico com conector RJ-45;
- sincronização horária por IRIG-B, sinal de 1 kPPS garante precisão horária de 5 microsegundos;
- protocolos DNP3.0, *American Standard Code for Information Interchange* (ASCII), *Compressed ASCII*, *Fast Meter*, *Fast Sequence Event Record*

(SER), *Fast Operate* e linguagem de manipulação de dados (LMD), com cartão *Ethernet* opcional SEL-2701 UCA2, IEC61850 e DNP3 LAN/WAN.

F. Outras Características:

- entradas de corrente e 6 entradas de tensão;
- *software* para parametrização (AcSELEerator);
- *software* de alarme de oscilografia, com a possibilidade de abrir múltiplas oscilografias, sincronizada no tempo, na mesma tela;
- contatos *Standard*: capacidade de condução contínua 6A, capacidade de estabelecimento de condução 30A, capacidade de interrupção 0,3A (125Vcc, L/R = 40ms);
- contatos de alta capacidade de interrupção (10A, 125Vcc, L/R=40ms);
- contatos de alta capacidade de interrupção e alta velocidade (10A, 125Vcc, L/R=40ms, tempo de operação = 10 microsegundos)
- tensão auxiliar: 24/48 Vcc, 48/125 Vcc ou 120 Vca, 125/250 Vcc ou 120/230 Vca;
- possibilidade de expansão do número de *In/Out*, com a instalação (no campo) de novas placas *In/Out*, permitindo ampliações futuras, desde que o relé tenha sido adquirido com *slots* extras para instalação de placas extras;
- temperatura de operação -40° a $+85^{\circ}$ C.

Para uma melhor compreensão do equipamento apresentado, segue no Tabela 4, um modelo do relé SEL-421, conforme apresentado pelo fornecedor.

Tabela 4 - Adaptado do descritivo técnico SEL-421.

Modelo		Key Code
04214615XC2X4H62424XX		5833
Produto		
SEL-421,-4,-5		
Configuração de Produto		
Categoria	Seleção	
<i>Firmware</i>	Standard (Substitui SEL-421-1,-2)	
Alimentação	125/250 Vcc ou 120/240 Vca	
Tipo de conector	Terminal <i>Block</i> do tipo Parafuso	
Entrada secundaria do TC	300V Fase – Máximo neutro (estrela), 5A Fase	
Protocolo de comunicação <i>Ethernet</i>	FTP, <i>Telnet</i> , <i>Synchrophasors</i> , DNP3 e IEC 61850	
Portas de Comunicação <i>Ethernet</i>	Cartão de <i>Ethernet</i> com duas conexões de 100BASE SE-FX	
Tensão de entrada de placa-mãe	125Vcc	
Tipo de montagem	Montagem Horizontal em <i>Rack</i>	

Tabela 4 - Adaptado do descritivo técnico SEL-421.

Tamanho de Chassi	5U, expansão de até 2 (duas) placas de I/O
Entrada e saídas digitais da posição B para Chassis 4U ou 5U	Placa I/O adicional com 8 entradas e 15 saídas <i>standard</i> ;
Tensão de entrada das entradas/saídas digitais da posição B	125 Vdc
Entrada e saídas digitais da posição C para Chassis 5U apenas	Placa I/O adicional com 8 entradas e 15 saídas <i>standard</i> ;
Tensão de entrada das entradas/saídas digitais da posição C	125 Vdc
CONFORMAL COATING	Nenhuma

Fonte: Adaptado Schweitzer (2013).

5.2 RELÉ DE PROTEÇÃO DIFERENCIAL DE TRANSFORMADOR 87T

Assim como na proteção de linhas, os transformadores necessitam de relés multifuncionais para garantir seletividade e confiabilidade. Estes apresentam características específicas conforme apresentada na especificação técnica da COPEL e segundo descrito a seguir:

- relativo a proteção diferencial de transformadores (função 87T), o relé especificado, deve possuir característica de restrição percentual e não pode operar indevidamente no surgimento de altos valores de corrente as quais trafegam pelo transformador no decorrer de uma falta externa à sua zona de proteção. Ainda em termos do elemento diferencial, o relé que desempenhará tal função deve operar tanto para transformador de 2 enrolamento quanto para 3 enrolamentos;
- o sistema de bloqueio ou restrição por harmônico, presente no relé especificado pela COPEL, deve impedir operações inadequadas pela corrente de magnetização, também chamada de “*inrush*”, a qual surge quando ocorre a energização dos transformadores por meio do segundo harmônico da corrente de magnetização, sem que haja desestabilidade no relé;
- o elemento de proteção diferencial (função 87T), presente no relé que segue as descrições técnicas da COPEL, deve ser irrestrito, ou seja, necessita ser capaz de atuar de forma imediata na decorrência de faltas severas sem dependência do elemento de bloqueio de harmônicos;

- necessário que o relé inclua a completa compensação das correntes de entrada para que ocorra a compatibilidade com qualquer tipo de ligação de transformador e acoplamento com os secundários dos TCs;
- o relé deve ser do tipo multifuncional e deve possuir as funções de sobrecorrente instantânea e temporizada (função 50/51), contemplando sobrecorrente residual e de fase nos enrolamentos do transformador protegido. Além disso, a multifuncionalidade do relé deve contemplar função de subtensão (função 27), função de sobretensão (função 59), proteção de sobretensão residual (função 64 ou 59G) e elemento de proteção contra falha de disjuntor (função 50BF);
- o relé deve contemplar funções lógicas programáveis, desta forma com a possibilidade da combinação de variáveis internas, entradas, saídas e operadores lógicos;
- no quesito de oscilografia o relé deve realizar o monitoramento e o armazenamento dos valores de corrente e tensões de suas respectivas fases. Além disso, registrar os estados das variáveis internas, entradas e saídas durante a atuação do relé;
- para comandos e controles é necessário que o relé possua 14 entradas e 20 saídas digitais, em caso de ampliação da SE, o relé deve possuir canais para comunicação com módulos de ampliação de entradas e saídas digitais.

Conforme as características técnicas, apresentadas anteriormente, e analise da especificação técnica da Copel, o equipamento que se adequaria a todos estes requisitos técnicos seria o relé de proteção de multifunção SEL-487E, o qual segue ilustrado na Figura 19, para proteção, controle e automação de barramentos de até 5 *Bays*, transformadores e autotransformadores de até 5 enrolamentos, circuitos de entrada industrial, reatores e grupo gerador-transformador.

SEL-487E

Figura 19 – Ilustração SEL-487E.

Fonte: Schweitzer (2013, p. 27).

Este equipamento possui a possibilidade de implementação das seguintes funções de proteção:

- 87 – diferencial;
- 87Q – diferencial de sequência negativa (alta sensibilidade na detecção de faltas entre espiras);
- 50/51 - sobrecorrente de fase instantânea e temporizada para cada lado do transformador;
- 50/51G - sobrecorrente residual instantânea e temporizada para cada lado do transformador;
- 50/51Q - sobrecorrente instantânea e temporizada de sequência negativa para cada lado do transformador;
- 50/51N – sobrecorrente para proteção de neutro do transformador;
- 51S – sobrecorrente cuja grandeza é selecionada pelo usuário (corrente de fase, corrente máxima, corrente combinada entre duas entradas e correntes sequência positiva, negativa e zero);
- 51V/C – sobrecorrente temporizada com restrição/controle de tensão;
- 67/67G/67Q – sobrecorrente direcional de fase, residual e de sequência negativa;
- 67N - sobrecorrente direcional de neutro;
- 32 – direcional de potência;

- 50/62BF - falha de disjuntor para cada lado do transformador;
- REF (67G) - proteção restrita de falta a terra (REF);
- 46 – desbalanço de corrente;
- 24 – volts/hertz;
- 27/59 - subtensão e sobretensão;
- 59G - sobretensão residual;
- 59Q (47) - sobretensão de sequência negativa/reversão de fases;
- 81 – sub/sobrefrequência;
- 49T – proteção térmica (opcional através de RTD's);
- 49 – proteção imagem térmica (cálculo de ponto quente dos enrolamentos do transformador).

5.2.1 Características Básicas do Relé SEL-487E;

A. Controlador de *Bay*:

- arranjos de *Bay* pré-configurados;
- controle local de 1 disjuntores;
- controle e indicação de estado de até 8 seccionadoras;
- junto à tela do mímico pode ser configurado até 6 medições analógicas;
- disjuntores, seccionadoras, barramento e o próprio *Bay* podem receber nomes;
- funções de controle protegidas por senha;
- modo local e/ou remoto.

B. Funções de Medição

- correntes na frequência fundamental de fase (IA, IB, IC) e correntes de sequência (I1, 3I2, 3I0) para cada entrada;
- correntes RMS (fundamental e harmônicas) de fase (IA, IB, IC) e correntes de sequência (I1, 3I2, 3I0) para cada entrada;
- demanda de corrente de fase, sequência negativa e zero;
- corrente diferencial e de restrição;
- correntes de 2°, 4° e 5° harmônicas;
- tensões de fase (VA,VB,VC) e tensões de sequência (V1, V2, 3V0), em valores RMS ou apenas da frequência fundamental;

- potência ativa, reativa e aparente por fase e trifásica;
- tensão CC da bateria;
- medição sincronizada de fasores (IEEE C37.118).

C. Funções de Monitoramento.

- monitoramento térmico do transformador (IEEE C57.91: 1995);
- histórico térmico das últimas 24 horas (registrado a cada hora) e dos últimos 31 dias (registrado a cada dia);
- oscilografia com frequência de amostragem de até 8 kHz em formato *COMTRADE* (5 segundos de memória);
- sequência de eventos com capacidade de armazenamento dos últimos 1000 eventos;
- monitoramento do sistema de alimentação auxiliar CC (banco de baterias), fornecendo alarme para sub ou sobretensão, falha a terra e *Ripple*;
- monitoramento de desgaste dos contatos dos disjuntores por pólo (até 5 disjuntores);
- contador de operações (até 5 disjuntores);
- monitoramento de desgaste do transformador devido às faltas externas passantes;
- fator de aceleração do envelhecimento do transformador;
- taxa de perda de vida útil do transformador;
- tempo total de perda de vida útil do transformador;
- monitoramento das bobinas do disjuntor (através de programação lógica).

D. Funções de Controle

- número de entradas binárias e contatos de saída, com padrão de 7 entradas e 8 saídas digitais, sendo 3 de alta capacidade de interrupção de corrente, com a possibilidade de expansão para até duas placas de *In/Out* adicionais;
- 8 botões frontais exclusivos para programação de funções para controle, tais como: abrir ou fechar o disjuntor e/ou seccionadoras, local ou remoto, habilita ou desabilita religamento, teleproteção , etc;
- duas regiões para programação de lógicas (SELogic), região de proteção e região de automação;

- programação através de equações lógicas (SELogic), região de proteção;
- programação através de equações lógicas (SELogic), região de automação;
- todas as variáveis analógicas estão disponíveis para elaboração de lógicas com a utilização de comparadores e operadores matemáticos, desta forma pode-se criar novas funções de proteção/controle ou adequar as existentes, o que permite a utilização do relé em sistemas com requisitos complexos, tais como funções de verificação de sincronismo e religamento em que se exige extrema flexibilidade e precisão;
- programação de até 32 mensagens para serem exibidas no *display*;
- grupos de ajustes;
- controle de torque das funções de sobrecorrente;
- 30 – anunciador;
- 69 – inibição de fechamento;
- 86 – retenção de sinal de disparo.

E. Lógicas Adicionais;

- bloqueio ou restrição de 2^a e 4^a harmônicas;
- bloqueio de 5^a harmônica e componente CC;
- remoção de sequência zero, selecionável para qualquer tipo de conexão de transformadores de potência;
- detectores de corrente da função de falha de disjuntor possuem *drop-out* de alta velocidade, sendo insensíveis aos transitórios pós-falta que aparecem no secundário dos TCs após a eliminação de faltas (*Subsidence Current*).

F. Integração:

- 1 porta serial EIA-232 frontal, 3 portas seriais EIA-232 traseiras e 1 porta *Ethernet dual*, sendo fornecidas na opção de fibra BASE-FX ou BASE-T cabo metálico com conector RJ-45;
- Sincronização horária por IRIG-B;
- Protocolos DNP3.0, *Mirrored Bits*, ASCII, *Compressed ASCII*, *Fast Meter*, *Fast SER*, *Fast Operate*, *Fast Message unsolicited write*, *Fast Message*

read request e com cartão *Ethernet* opcional IEC61850, DNP3 LAN/WAN, *Ethernet FTP* e *Telnet*.

G. Outras Características:

- 15 entradas de corrente para proteção diferencial, 3 entradas de corrente para proteção restrita de faltas a terra (REF) e 6 entradas de tensão;
- contatos *Standard*: capacidade de condução contínua 6A, capacidade de estabelecimento de condução 30A, capacidade de interrupção 0,3A (125Vcc, L/R = 40ms);
- contatos de alta capacidade de interrupção e alta velocidade (10A, 125Vcc, L/R=40ms, tempo de operação = 10 microsegundos);
- tensão auxiliar: 48/125 Vcc ou 120 Vca, 125/250 Vcc ou 120/230 Vca;
- possibilidade de expansão do número de *In/Out*, com a instalação (no campo) de novas placas *In/Out*, permitindo ampliações futuras, desde que o relé tenha sido adquirido com *slots* para instalação de placas extras;
- Temperatura de operação -40° a $+85^{\circ}$ C.

Para uma melhor compreensão do equipamento apresentado, segue na Tabela 5, um modelo do relé SEL-487E, que atenda os requisitos técnicos apresentados anteriormente e presentes na ET da Copel, conforme apresentado pelo fornecedor.

Tabela 5 - Adaptado do descritivo técnico SEL-487E.

Modelo		Key Code
0487E3X611XXC2X4H624XXX		8911
Produto		
SEL-487E-3,-4		
Configuração de Produto		
Categoria	Seleção	
<i>Firmware</i>	Standard com tensão, frequência, direcional de sobrecorrente e elementos de Volts-Per-Hertz	
Tipo de conector e <i>CONFORMAL COATING</i>	Bloco Terminal Parafuso – Sem proteção contra agentes químicos.	
Alimentação	125/250 Vcc ou 120/240 Vca	
Configuração do cartão de entrada 1 de CA (Canais de corrente S, T, U)	S (três-fase) = 5A T (três-fase) = 5A U (três-fase) = 5 ^a	
Configuração de canais de entrada 2 de CA (Canais de corrente W, X, Y(3), (4))	W (três-fase) = 5A X (três-fase) = 5A Y (Neutro x 3) = 5A, 5A, 5 ^a	
Protocolos de comunicação <i>Ethernet</i>	FTP, <i>Telnet</i> , <i>Synchrophasors</i> , DNP3 LAN/WAN e IEC 61850	

Tabela 5 - Adaptado do descritivo técnico SEL-487E.

Portas de conexão <i>Ethernet</i>	Placa <i>Ethernet</i> com duas conexões de 100BASE SE-FX
Tensão de entrada de placa-mãe	125 Vcc
Tipo de montagem	Montagem do tipo <i>Rack</i>
Tamanho de Chassi	6U, até 1 (uma) entradas/saídas digitais adicional
Entradas/saídas digitais da posição B para Chassis 6U ou 7U	Placa I/O adicional com 8 entradas (opto-isoladas ou não) e 8 saídas de alta capacidade de interrupção e alta velocidade (10A, 125Vcc, L/R=40ms, tempo de operação = 10 microsegundos);
Tensão de entrada das entradas/saídas digitais da posição B	125 Vcc

Fonte: Adaptado Schweitzer (2013).

5.3 RELÉ DE SOBRECORRENTE PARA PROTEÇÃO DE TRANSFORMADORES.

Como complemento a proteção diferencial de transformadores, a COPEL solicita em seu sistema de proteção do *Bay* de transformador de potência um relé com a função específica de desempenhar a proteção de sobrecorrente. Conforme análise da especificação técnica segue alguns requisitos técnicos que o relé de sobrecorrente deve possuir para agregar ao sistema de proteção:

- relativo aos elementos de sobrecorrente, presente no relé de proteção, devem contemplar a proteção de sobrecorrente de fase, residual e de terra e de sequência negativa, tanto instantânea quanto temporizado, e os elementos de sobrecorrente devem possuir independência quanto ao seu bloqueio;
- complementando as funções de proteção, o relé multifunção necessita agregar funções de sobrecorrente direcional de fase, residual e de terra (respectivamente respresentado pela numeração da tabela ANSI 67, 67Q e 67G);
- o monitoramento das falhas relacionadas na tensão, as quais se resumem em dois tipos distintos, ou seja, sobretensão e subtensão (respectivamente 59 e 27). Para complementar as funções de proteção correlacionadas com a tensão do sistema, é necessário atender a proteção de sobretensão residual;
- as proteções relacionadas com a corrente e tensão, a frequência deve ser monitorada pelo relé, para que isso ocorra o relé deve possuir a função de subfrequência e sobrefrequência (função 81);

- o relé deve ter a função de falha de disjuntor (função BF0 e verificação de sincronismo (função 25));
- no quesito de oscilografia o relé deve realizar o monitoramento e o armazenamento dos valores de corrente e tensões de suas respectivas fases, registrar os estados das variáveis internas, entradas e saídas durante a atuação do relé. A taxa de amostragem dos sinais apresentados nos registros oscilográficos não deverá ser inferior a 16 amostras por ciclo, sendo que o relé deverá ser capaz de armazenar pelo menos 4 (quatro) registros com duração mínima de 1 segundo cada;
- para comandos e controles é necessário que o relé possua 22 entradas e 28 saídas digitais, em caso de ampliação da SE, o relé deve possuir canais para comunicação com módulos de ampliação de entradas e saídas digitais.

Com todos os requisitos técnicos apresentados, um relé multifuncional de proteção que se adequaria aos requisitos técnicos presentes na ET da COPEL é o Relé SEL-451-5, ilustrado na Figura 20, para proteção, automação e controle de diversos equipamentos de subestação de qualquer nível de tensão (linhas de transmissão, banco de capacitores, filtro de harmônicos, reatores, transformadores, alimentadores, etc), neste caso transformador, para até 2 disjuntores de um mesmo terminal.

SEL-451-5



Figura 20 – Ilustração SEL-451.

Fonte: Schweitzer (2013).

Este equipamento possui a possibilidade de implementação das seguintes funções de proteção:

- 50/51 - sobrecorrente de fase instantânea e temporizada;
- 50/51G - sobrecorrente residual instantânea e temporizada;
- 50/51Q (46) - sobrecorrente instantânea e temporizada de sequência negativa;
- 51V/C – sobrecorrente temporizada com restrição/controle de tensão;
- 67P - sobrecorrente direcional de fase (polarizado por tensão);
- 67G - sobrecorrente direcional de neutro (polarizado por corrente e tensão);
- 67Q - direcional de sequência negativa (polarizado por tensão);
- 85 - esquemas de controle ou teleproteção (PUTT, POTT, DCUB, DCB, DTT, etc ou lógica programável);
- 79 - religamento automático (quatro tentativas) para até dois disjuntores;
- 25 - verificação de sincronismo para até dois disjuntores;
- 27/59 - subtensão e sobretensão fase-neutro e entre fases;
- 59G - sobretensão de neutro;
- 59Q - sobretensão de sequência negativa;
- 50/62BF - falha de disjuntor para até dois disjuntores;
- 60 - perda de potencial;
- 81 - sub/sobrefrequência, taxa de variação de frequência df/dt ;
- 32 - direcional de Potência;
- 49 - sobrecarga por imagem térmica;
- 87V - diferencial de tensão para banco de capacitores de alta tensão (por lógica);
- *arc sense technology* (AST) para detecção de faltas de alta impedância.

5.3.1 Características Básicas do Relé SEL-451

A. Funções de Medição:

- correntes de fase (I_a, I_b, I_c) para as 2 entradas de corrente (2 disjuntores) medidas separadamente ou combinadas, de neutro (I_g) e correntes de sequência (I_1, I_2, I_0);

- tensões de fase (V_a, V_b, V_c) para as 2 entradas de tensão, $V_{\phi\phi}$, tensões de sequência ($V_1, 3V_2, 3V_0$);
- potência ativa e reativa por fase e trifásica (quatro quadrantes);
- fator de potência por fase e trifásico;
- medição RMS (que inclui harmônicas) para corrente, tensão, potência ativa, potência aparente e fator de potência;
- demanda de corrente de fase, de neutro e de sequência negativa;
- demanda de potência ativa e reativa por fase e trifásica (quatro quadrantes);
- energia ativa e reativa por fase e trifásica (quatro quadrantes);
- registro de valores máximos e mínimos de grandezas analógicas;
- medição sincronizada de fasores que possibilita a medição de grandezas fasoriais entre SEs com precisão de $0,25^\circ$ na medição dos ângulos, substitui PMU's.

B. Funções de Monitoramento:

- oscilografia com frequência de amostragem de 8 kHz (até 6s), 4 kHz (até 9s), 2 kHz (até 12s) ou 1 kHz (até 15s). Tamanho selecionável entre: 0.25s, 0.5s, 1.0s, 2.0s, 3.0s, 4.0s ou 5.0s (dependente da frequência de amostragem). Disponíveis nos formatos ASCII ou binário *COMTRADE*;
- conexão da entrada IRIG-B ao receptor de GPS, garante que todos os relés estarão amostrando de forma sincronizada, o que permite uma análise sistêmica de ocorrências;
- sequência de eventos, com capacidade de armazenar os últimos 1000 eventos;
- localizador de faltas, indicação em quilômetro ou %;
- monitoramento do sistema de alimentação auxiliar CC (para 2 bancos de baterias), fornecendo alarme para sub ou sobretensão, falha a terra *Ripple*;
- monitoramento de desgaste dos contatos do disjuntor por pólo;
- contador de operações;
- monitoramento das bobinas do disjuntor;
- monitoramento de discrepância de pólos, pólo *Scatter*, tempo de operação elétrico, tempo de operação mecânico, tempo de inatividade, tempo de

operação do motor, corrente interrompida, com programação de valores limites para propósitos de alarme;

- monitoramento térmico de linhas de transmissão.

C. Funções de Controle:

- número de entradas binárias e contatos de saída, com padrão de 7 entradas e 8 saídas digitais, sendo 3 de alta capacidade de interrupção de corrente, com a possibilidade de expansão para até duas placas de *In/Out* adicionais.
- 8 botões frontais exclusivos para programação de funções para controle, tais como: abrir ou fechar o disjuntor e/ou seccionadoras, local ou remoto, habilita ou desabilita religamento, teleproteção , etc;
- duas regiões para programação de lógicas (SELogic), região de proteção e região de automação;
- programação através de equações lógicas (SELogic), região de proteção:
- 64 relés auxiliares, 48 temporizadores, 32 biestáveis, 32 contadores, 64 equações matemáticas;
- programação através de equações lógicas (SELogic), região de automação;
- 256 relés auxiliares, 32 temporizadores, 32 biestáveis, 32 contadores, 256 equações matemáticas;
- todas as variáveis analógicas estão disponíveis para elaboração de lógicas com a utilização de comparadores e operadores matemáticos, desta forma pode-se criar novas funções de proteção/controle ou adequar as existentes, o que permite a utilização do relé em sistemas com requisitos complexos, tais como funções de verificação de sincronismo e religamento em que se exige extrema flexibilidade e precisão;
- programação de até 32 mensagens para serem exibidas no *display*;
- grupos de ajustes;
- controle de torque das funções de sobrecorrente;
- 30 – anunciador;
- 69 – inibição de fechamento;
- 86 – retenção de sinal de disparo.

D. Lógicas Adicionais:

- compensação do tempo de fechamento do disjuntor na lógica de sincronismo;
- trecho morto (*stub bus*);
- zona Morta (*end zone*);
- energização sob falta (*switch onto fault*);
- invasão de carga (*load encroachment*);
- protocolo *Mirrored Bits* para a comunicação direta relé a relé, controle ou teleproteção sem a necessidade do equipamento teleproteção (PUTT, POTT, DCUB, DCB, DTT, etc ou lógica programável);
- controle de bancos de capacitores (potência, tensão, horário);
- controle do comutador de TAPs (tensão, horário, dia);
- detetores de corrente da função de falha de disjuntor possuem *drop-out* de alta velocidade, sendo insensíveis aos transitórios pós-falta que aparecem no secundário dos TCs após a eliminação de faltas (*Subsidence Current*).

E. Integração:

- 1 porta serial EIA-232 frontal, 3 portas seriais EIA-232 traseiras e 1 cartão *Ethernet* SEL-2701, sendo que o cartão *ethernet* pode ser em fibra óptica ou em cabo metálico com conector RJ-45.
- sincronização horária por IRIG-B, sinal de 1 kPPS garante precisão horária de 5 microssegundos;
- protocolos DNP3.0, ASCII, *Compressed ASCII*, *Fast Meter*, *Fast SER*, *Fast Operate* e LMD, com cartão *Ethernet* opcional SEL-2701 UCA2, IEC61850 e DNP3 LAN/WAN.

F. Outras Características:

- entradas de corrente e 6 entradas de tensão;
- *software* de alarme de oscilografia, com a possibilidade de abrir múltiplas oscilografias, sincronizada no tempo, na mesma tela;

- contatos *Standard*: capacidade de condução contínua 6A, capacidade de estabelecimento de condução 30A, capacidade de interrupção 0,3A (125Vcc, L/R = 40ms);
- contatos de alta capacidade de interrupção (10A, 125Vcc, L/R=40ms);
- contatos de alta capacidade de interrupção e alta velocidade (10A, 125Vcc, L/R=40ms, tempo de operação = 10 microsegundos);
- tensão auxiliar: 24/48 Vcc, 48/125 Vcc ou 120 Vca, 125/250 Vcc ou 120/230 Vca;
- possibilidade de expansão do número de *In/Out*, com a instalação (no campo) de novas placas *In/Out*, permitindo ampliações futuras, desde que o relé tenha sido adquirido com *slots* extras para instalação de placas extras;
- Temperatura de operação -40° a $+85^{\circ}$ C.

Assim como apresentado nos relés multifuncionais anteriores, segue um descritivo técnico explicativo na Tabela 6, disponível pelo fabricante:

Tabela 6 - Adaptado do descritivo técnico SEL-451.

Modelo		Key Code
04515615XC2X4364444X1		3560
Produto		
SEL-451-5		
Configuração de Produto		
Categoria	Seleção	
<i>Firmware</i>	<i>Standard</i> (Substitui SEL-451-2 and SEL-451-4)	
Alimentação	125/250 Vcc ou 120/240 Vca	
Tipo de conector	Bloco Terminal Parafuso – Sem proteção contra agentes químicos.	
Corrente de entrada secundária do TC	5 A Fase	
Tensão de entrada secundária do TC	300 V Fase – Máximo neutro (estrela)	
Protocolo de comunicação Ethernet	FTP, Telnet, Synchrophasors, DNP3 LAN/WAN e IEC 61850	
Portas de conexão <i>Ethernet</i>	Placa <i>Ethernet</i> com duas conexões de 100BASE SE-FX	
Tensão de entrada de placa-mãe	125 Vcc	
Tipo de montagem	Montagem Horizontal em Painel	
Tamanho de Chassi	5U, até 2 (duas) entradas/saídas digitais adicionais	
Entradas/saídas digitais da posição B para Chassis 4U ou 5U	Placa I/O adicional com 24 entradas opto-isoladas e 8 saídas, sendo 6 de alta capacidade de interrupção e alta velocidade (10A, 125Vcc, L/R=40ms, tempo de operação = 10 microsegundos);	
Tensão de entrada das entradas/saídas digitais da posição B	125 Vcc	

Tabela 6 - Adaptado do descritivo técnico SEL-451.

Entradas/saídas digitais da posição C para Chassis 5U apenas	Placa I/O adicional com 24 entradas opto-isoladas e 8 saídas, sendo 6 de alta capacidade de interrupção e alta velocidade (10A, 125Vcc, L/R=40ms, tempo de operação = 10 microsegundos);
Tensão de entrada das entradas/saídas digitais da posição C	125 Vcc
CONFORMAL COATING	Nenhum
FRONT OVERLAY	Controle Frontal de Bay Invólucro

Fonte: Adaptado Schweitzer (2013).

5.4 RELÉ DE PROTEÇÃO DIFERENCIAL PARA APLICAÇÃO EM BARRAMENTOS.

A proteção diferencial de Barras, comumente, é disposta de duas maneiras distintas sendo elas concentrada e distribuída, estas configurações foram explicadas anteriormente. Conforme análise da ET da Copel, não há uma determinação referente ao tipo de configuração que deve ser adotada, devido a isso consideraremos uma filosofia concentrada e o relé deve possuir os seguintes requisitos técnicos:

- baseada no princípio diferencial com restrição percentual, a proteção de barras deve ser de baixa impedância;
- para qualquer tipo de faltas, entre fases e entre fase e terra, que possam acontecer na sua zona de atuação provocando o disparo e bloqueio de fechamento de todos os disjuntores associados;
- ao ocorrer faltas externas à zona de proteção com a saturação completa de um ou mais TCs, o relé deve garantir a sua estabilidade;
- o relé deve ser seletivo por fase, possuindo pelo menos duas zonas de proteção que tornem o relé apto a se adaptar às configurações operativas da barra protegida;
- a proteção de barras poderá ser dos tipos: concentrado ou distribuído. No tipo concentrado as unidades de entrada de corrente originárias dos transformadores de corrente deverão estar concentradas em uma mesma “caixa” ou, no máximo, em uma “caixa” por fase. No tipo distribuído as unidades de aquisição de corrente originária dos transformadores de corrente (unidades de “Bay”) deverão ser instaladas no mesmo painel de proteção em que está instalada a unidade central;

- o relé utilizado para padrão da COPEL deve ser de tecnologia digital (numérica e/ ou microprocessado), relés de outras tecnologias não serão aceitos para esta aplicabilidade;
- os relés devem ser adaptável à configuração operativa da subestação sem a necessidade de chaveamentos de corrente nos circuitos secundários de transformadores de corrente;
- disponibilizar de um sistema de supervisão que consiga detectar as aberturas acidentais dos secundários dos transformadores de corrente e possibilite o bloqueio do elemento diferencial caso isto ocorra;
- ser capaz de operar para faltas internas em um tempo menor que 20 ms;
- para cada um dos circuitos conectado ao barramento protegido deve possuir esquema de falha de disjuntor com acionamento independente;
- na questão de oscilógrafia, o relé deverá ser capaz de armazenar os valores das correntes de todos os circuitos conectados ao barramento protegido, também os estados das variáveis internas, entradas e saídas durante o processo de atuação do relé. Os períodos de pré e pós falta deverão ser configurados nos relés com os critérios adotados pela COPEL. A taxa de amostragem dos sinais apresentados nos registros oscilográficos não deverá ser inferior a 16 amostras por ciclo, sendo que o relé deverá ser capaz de armazenar pelo menos 4 (quatro) registros com duração mínima de 1 segundo cada;
- para entradas de relés, cada relé deverá possuir entradas digitais independentes e em número suficiente para a monitoração do estado das seccionadoras conectadas ao barramento principal e ao barramento de transferência e do disjuntor de cada um dos circuitos conectados ao barramento da subestação através de contatos normalmente abertos e normalmente fechados;
- para saídas de relés, cada relé deverá possuir pelo menos 2 (dois) contatos de saída independentes para cada circuito conectado ao barramento protegido, e que o número total de contatos de saída deverá ser definido em função do número total destes circuitos, prevendo-se futuras ampliações. Relés que possuam contatos agrupados serão analisados para verificar sua compatibilidade com as necessidades dos projetos. Tal análise de compatibilidade implicará na aceitação ou não do relé.

De acordo com os requisitos mínimos e a análise da especificação técnica da COPEL, o equipamento que se adequaria a todos estes requisitos técnicos para a aplicação de proteção de barras é o relé de proteção diferencial de barras de baixa impedância de alta velocidade, tipo SEL-487B-1,



Figura 21 – Ilustração SEL-487B.

Fonte: Schweitzer (2013).

Este equipamento possui a possibilidade de implementação das seguintes funções de proteção:

- 87B – diferencial de barramento (até 7 *bays* com um relé ou até 21 *bays* com três relés);
- 50/62BF - falha de disjuntor;
- 50/51 - sobrecorrente instantâneo e temporizado;
- 27/59 – sub/sobretensão de fase;
- 59G - sobretensão de neutro;
- 59Q - sobretensão de sequência negativa;
- 81 – sub/sobrefrequência;
- zona morta (*end zone*).

5.3.2 Características Básicas do Relé SEL-487B

A. Funções de Medição:

- correntes e tensões de fase em valores primários e secundários;
- correntes diferencial e de restrição de cada zona.

B. Funções de Monitoramento:

- oscilografia com taxa de 4 a 12 amostras/ciclo. Tamanho de cada oscilografia selecionável entre: 0.25s e 24s;
- sequência de eventos, com capacidade de armazenar os últimos 1000 eventos alta precisão na estampa de tempo quando conectado ao receptor de GPS (IRIG-B);
- monitoramento do sistema de alimentação auxiliar CC, fornecendo alarme para sub ou sobretensão, falha a terra;
- contador de operações.

C. Funções de Controle:

- número de entradas binárias e contatos de saída, com padrão de 7 entradas e 8 saídas digitais, sendo 3 de alta capacidade de interrupção de corrente, com a possibilidade de expansão para até duas placas de *In/Out* adicionais.
- 8 botões frontais exclusivos para programação de funções para controle, tais como: abrir ou fechar, local ou remoto, habilita ou desabilita funções, etc.
- duas regiões para programação de lógicas (SELogic), região de proteção e região de automação;
- programação através de equações lógicas (SELogic), região de proteção;
- Programação através de equações lógicas (SELogic), região de automação;
- todas as variáveis analógicas estão disponíveis para elaboração de lógicas com a utilização de comparadores e operadores matemáticos, desta forma pode-se criar novas funções de proteção/controle ou adequar as existentes, o que permite a utilização do relé em sistemas com requisitos complexos;
- 96 pontos para serem controlados remotamente pela porta serial através do protocolo de comunicação;
- programação de até 32 mensagens para serem exibidas no *display*;
- grupos de ajustes;
- controle de torque das funções de sobrecorrente;
- 30 – anunciador;

- 69 – inibição de fechamento;
- 86 – retenção de sinal de disparo.

D. Lógicas Adicionais:

- protocolo *Mirrored Bits* para a comunicação direta relé a relé, controle ou teleproteção sem a necessidade do equipamento teleproteção;
- algoritmo de seleção de zonas dinâmico de acordo com a posição das chaves seccionadoras;
- lógica para monitoramento do estado das seccionadoras com verificação de consistência;
- supervisão do estado das seccionadoras mesmo quando está disponível apenas um tipo de contato (normalmente aberto ou normalmente fechado);
- lógica de segurança do disjuntor interligador de barras (acoplamento), para garantir desligamento somente da barra sob defeito, quando da ocorrência de faltas entre este disjuntor e o TC;
- lógica de supervisão de TC aberto, com bloqueio da função 87B a critério do usuário;
- lógicas de disparos separados para as funções diferencial de barra (87B) e falha de disjuntor (50BF);
- detectores de corrente da função de falha de disjuntor possuem *drop-out* de alta velocidade, sendo insensíveis aos transitórios pós falta que aparecem no secundário dos TCs após a eliminação de faltas (*Subsidence Current*).

E. Integração

- 1 porta serial EIA-232 frontal, 3 portas seriais EIA-232 traseiras e 1 porta *Ethernet dual*, com a possibilidade de escolha com a configuração em porta para fibra óptica;
- sincronização horária por IRIG-B, sinal de 1 kPPS garante precisão horária de 5 microsegundos;
- sincronização horária por SNTP;
- protocolos DNP3.0, ASCII, *Compressed ASCII*, *Fast Meter*, *Fast SER*, *Fast Operate*, IEC61850 e DNP3 LAN/WAN.

F. Outras Características

- *software* para parametrização (AcSELErator);
- servidor *web*: permite aos usuários a visualização de ajustes, sequencial de eventos (SER), estados e medições via rede *Ethernet*, com verificação de senha de acesso
- *software* de alarme de oscilografia, com a possibilidade de abrir múltiplas oscilografias, sincronizadas no tempo, na mesma tela;
- tempo de operação menor que 16,67 ms (1 ciclo);
- configuração de até seis zonas;
- acomoda TCs com diferentes relações;
- altamente estável para faltas externas com saturação severa dos TCs, único requisito: não saturar durante os primeiros 2 milissegundos de falta;
- contatos *Standard*: capacidade de condução contínua 6A, capacidade de estabelecimento de condução 30A, capacidade de interrupção 0,3A (125Vcc, L/R = 40ms);
- contatos de alta capacidade de interrupção e alta velocidade (10A, 125Vcc, L/R=40ms, tempo de operação = 10 microsegundos);
- tensão auxiliar: 24/48 Vcc, 48/125 Vcc ou 120 Vca, 125/250 Vcc ou 120/230 Vca;
- possibilidade de expansão do número de *In/Out*, com a instalação (no campo) de novas placas *In/Out*, permitindo ampliações futuras, desde que o relé tenha sido adquirido com *slots* extras para instalação de placas extras;
- temperatura de operação -40° a $+85^{\circ}$ C.

Seguinte, encontra-se a Tabela 7, com o descritivo técnico do relé SEL-487B fornecida pelo fabricante, contendo um modelo específico de SEL-487B para atender a ET da Copel.

Tabela 7 - Adaptado do descritivo técnico SEL-487B.

Modelo	Key Code
0487B1X6X52XC2XEH9PPPPX	9969
Produto	
SEL-487B-1	

Tabela 7 - Adaptado do descritivo técnico SEL-487B.

Configuração de Produto	
Categoria	Seleção
<i>Firmware</i>	<i>Standard</i>
<i>Conformal Coating</i>	Nenhuma Proteção contra Agente Químicos
Alimentação	125/250 Vcc ou 120/230 Vca
Tipo de conector	Terminal Block do Tipo Parafuso
Entrada secundaria do TC	5 Ampère Fase
Canais de entrada de CA	3 ca, 21 Corrente CA
Protocolo de comunicação <i>Ethernet</i>	FTP, Telnet, DNP3 LAN/WAN e IEC61850
Portas de conexão <i>Ethernet</i>	Cartão <i>Ethernet</i> com duas conexões de 100BA-SE-FX
Tensão de entrada de placa-mãe	125Vcc
Tipo de montagem	Montagem Horizontal em <i>Rack</i>
Tamanho de <i>Chassi</i>	9U, Painel Frontal com 16 Leds de indicação, 8 botões de operação, possibilidade de adição de quatro placas de entradas e saídas.
Tensão de entrada das entradas/saídas digitais da posição B para Chassis de 7U ou 9U.	125 Vcc ou Vca com saídas de contato padrão
Tensão de entrada das entradas/saídas digitais da posição C para Chassis de 7U ou 9U.	125 Vcc ou Vca com saídas de contato padrão
Tensão de entrada das entradas/saídas digitais da posição C para Chassis de 9U apenas.	125 Vcc ou Vca com saídas de contato padrão
<i>I/O Board Slot E; Control Input Voltage for 9U Chassis Only</i>	125 Vcc ou Vca com saídas de contato padrão

Fonte: Adaptado Schweitzer (2013).

6 CONCLUSÃO

Para o sistema de proteção e controle, que atenda os requisitos da COPEL, o mesmo deve possuir integração dos relés com o supervisor através de redes de comunicação *Lan Ethernet*. Com a adesão dos princípios da norma IEC 61850, o sistema de automação de subestação se torna totalmente descentralizado e distribuído pelo fato de se utilizar diversos dispositivos eletrônicos inteligentes.

A comunicação entre os IEDs é em alta velocidade propiciado pela utilização da rede e protocolos *Lan Ethernet*. Outro conceito que é garantido neste sistema é a interoperabilidade, ou seja, a possibilidade de comunicação e substituição de equipamentos de diferentes fabricantes.

Pelo fato de se utilizar fibra ótica, o sistema apresentará uma diminuição na utilização de cabos, menor interferência na comunicação do sistema causada por campos eletromagnéticos e maior agilidade de projeto e comissionamento, desta forma reduzindo a probabilidade de falhas e garantindo maior confiabilidade do sistema. A aplicação da norma IEC 61850 garante uma fácil expansibilidade futura em caso de aumento ou modernização da subestação.

A ET da COPEL especifica o relé de proteção com duas portas de comunicação em fibra ótica, com isso a integração dos IEDs de proteção e os *switches* de nível 2 serão na filosofia de dupla estrela, assim garantindo a redundância do sistema com funcionamento em “*Fail Over Mode*”, ou seja na falha de um cabo de comunicação ou de um *switch Ethernet*, a comunicação será transferida para outro canal de comunicação *Ethernet* sem que ocorra a degradação do sistema.

A utilização do protocolo IEC 61850 pode ser dividida de duas formas, para a comunicação entre os IEDs de proteção realizasse a integração através do protocolo IEC 61850 GOOSE e para a comunicação entre os IEDs de proteção e o nível 2, a escolha do protocolo IEC 61850 MMS. A comunicação do centro de operação e supervisão da COPEL é desempenhada pelo *software* SCADA XA21, pode ser realizado pelos protocolos IEC-870-5-104 e DNP3, devido à coleta de dados realizada pelo protocolo IEC 61850, sendo assim a utilização de um *gateway* para a conversão de protocolos, ou seja, converter de IEC 61850 para DNP3.0 ou IEC-870-5-104. Os relés de proteção terão seus relógios de tempo real sincronizados por um servidor de Base de Tempo (GPS), desta forma a sincronização de seus relógios com relação ao tempo absoluto será realizada pelo protocolo padrão IRIG-B.

Para uma melhor compreensão do sistema discutido e estudado neste trabalho, segue na Figura 22 uma arquitetura orientativa contendo a disposição dos relés microprocessados especificados conforme a Especificação Técnica da Copel. Outra característica técnica ilustrada na arquitetura é a comunicação dos IEDs de proteção com o nível 2 local na SE e com o COS da Copel.

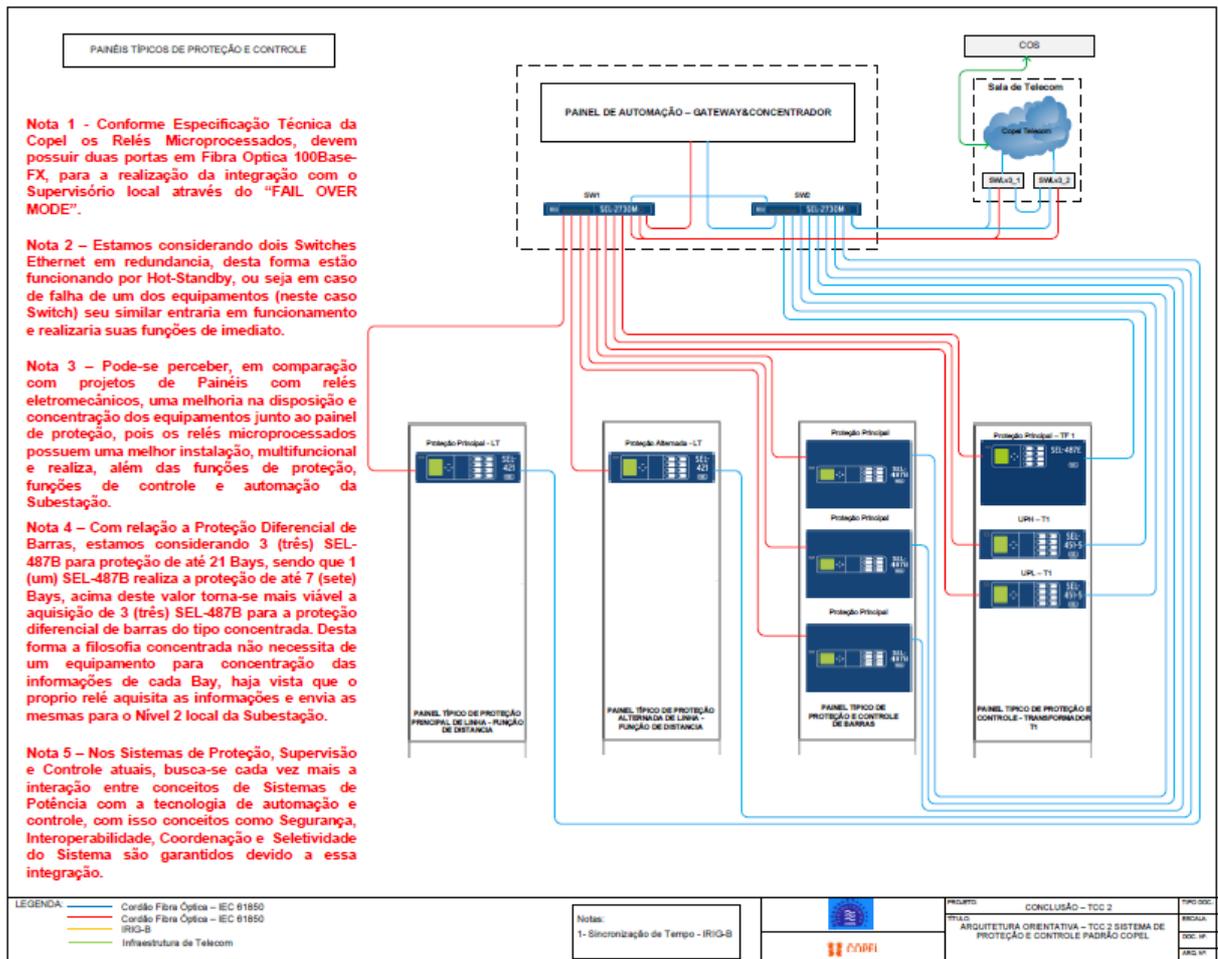


Figura 22 – Arquitetura Orientativa.

Fonte: Autoria Própria (2014).

Conforme análise da ET da Copel, os relés de proteção especificados tendem a agregar funções e filosofias de proteção, funções de monitoramento, medição e controle além de requisitos de integração, determinados através das portas de comunicação e protocolos de comunicação, para que o sistema atue com altíssimos parâmetros de segurança, confiabilidade e seletividade.

Além de todo o estudo técnico apresentado neste trabalho, verificou-se também que a área de sistemas elétricos de potência está totalmente atrelada aos processos de automação e controle, pois estes auxiliam para que o sistema de

proteção possua seus requisitos mais importantes tais como, coordenação, supervisão, segurança, interoperabilidade e seletividade. Desta forma o profissional, que atua nesta área de proteção de sistemas elétricos, deve possuir não apenas um domínio técnico dos conceitos de SEP, mas também conhecer princípios de automação e controle, pois esta fusão de conhecimentos e técnicas que regem um sistema de proteção moderno.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Ezequiel Mendes de. **Norma IEC 61850 – Novo padrão em automação de subestações**. Disponível em: <<http://www.dee.ufc.br/anexos/TFCs/2011-1/Monografia%20-%20Ezequiel%20Mendes%20de%20Almeida.pdf>>. Acesso em: 26 jul. 2013.

ANDERSON, P. M., **Power System Protection**. IEEE Press Series on Power Engineering, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10898: Item 3.11 - Iluminação de Emergência**. Rio de Janeiro, 1999.

BARBOSA, Daniel. **Relés Numéricos de Proteção**. Disponível em: <http://lsee.sel.eesc.usp.br/index.php?option=com_content&view=article&id=9:reles-numericos-de-protecao-&catid=8:protecao-digital-de-sistemas-eletricos-de-potencia&Itemid=18>. Acesso em: 10 de jun. 2013.

BASKSHI, Uday A.; BASKSHI, Mayuresh V. **Transmission and distribution of electrical power**. 3. ed. India: Technical Publications Pune, 2009.

BASKSHI, Uday A.; BASKSHI, Mayuresh V. **Power system - I**. 1 ed. India: Technical Publications Pune, 2009.

BAILEY, David; WRIGHT, Edwin. **Practical Scada For Industry**. Australia: Elsevier, 2003

BECHARA, R.; BRANDÃO JR, A. F. **Análise de falhas em transformadores de potência e seus mecanismos de ocorrência**. Disponível em: <<http://www.labplan.ufsc.br/congressos/XIII%20Eriac/A2/A2-108.pdf>>. Acesso em: 10 de jun. 2013.

BERNARDES, Fernanda. **Novas tecnologias podem minimizar o risco de blecautes**. Interface SEL. Campinas: Janeiro, Fevereiro. 2013. Edição 21.

CAMINHA, Amadeu C. **Introdução à proteção dos sistemas elétricos.** 1ed São Paulo:Edgard Blucher Ltda. 1977.

COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA – COPEL. **Relés de proteção – especificações técnicas.** Disponível em: <[http://www.copel.com/hpcopel/root/pagcopel2.nsf/0/2BCDE94D26933AA4032578100062031E/\\$FILE/00000-20302-0110_R10.pdf](http://www.copel.com/hpcopel/root/pagcopel2.nsf/0/2BCDE94D26933AA4032578100062031E/$FILE/00000-20302-0110_R10.pdf)>. Acesso em: 26 fev. 2013.

_____. **Manual de acesso ao sistema de transmissão da Copel - Rede Básica e Demais Instalações de Transmissão.** Disponível em: <[http://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/estudo_012-2010_manual_de_acesso_a_transmissao_gt_circular_083-2009/\\$FILE/Estudo_012-2010_Manual_de_Acesso_a_Transmissao_GT_Circular_083-2009.pdf](http://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/estudo_012-2010_manual_de_acesso_a_transmissao_gt_circular_083-2009/$FILE/Estudo_012-2010_Manual_de_Acesso_a_Transmissao_GT_Circular_083-2009.pdf)>. Acesso em: 11 jul. 2013.

COURY, Denis Vinícius; OLESKOVICZ, Mário; GIOVANI, Renan. **Proteção Digital de Sistemas Elétricos de Potência: dos Relés Eletromecânicos aos Microprocessados Inteligentes.** São Carlos: EESC-USP, 2007.

CUNHA, Livia. **Relés e contadores.** Disponível em: <<http://www.osetoreletrico.com.br/web/a-revista/edicoes/169-reles-e-contadores.html>>. Acesso em: 26 fev. 2013.P

DEUS, João Bruno Bernardo de. **Utilização do protocolo DNP3 na comunicação entre IED e sistema SCADA.** Disponível em: <http://www.selinc.com.br/trabalhos_academicos/utilizacao_do_protocolo_DNP3_na_comunicacao_entre_IED_e_sistema_SCADA.pdf>. Acesso em: 27 fev. 2013.

DIAS, F. F. Gomes; PILONI, F. Cardoso. **Análise de estabilidade em transitória em sistemas elétricos de potência.** Disponível em: <http://bdm.bce.unb.br/bitstream/10483/1388/1/2010_FabioDias_FernandoPiloni.pdf>. Acesso em: 27 fev. 2013.

_____. **Automação das subestações: Capítulo I: Histórico e terminologia.** Disponível em:

<http://www.osestoreletrico.com.br/web/documentos/fasciculos/cap13_fasc_automacao_subest_ed48.pdf>. Acesso em: 26 jul. 2013.

_____. **Automação das subestações: Capítulo VII: Redes de comunicação em subestações de energia elétrica – Norma IEC 61850.** Disponível em: <http://www.osestoreletrico.com.br/web/documentos/fasciculos/Ed54_fasc_automacao_subestacoes_capVII.pdf>. Acesso em: 26 jul. 2013.

ELMORE, Walter A., **Protective relaying theory and applications.** New York: Marcel Dekker Inc., 1994.

ESON, H. Erik; LEJDEBY, Sven-Anders. **Evolução das subestações.** Disponível em: <<http://www.osestoreletrico.com.br/web/a-revista/edicoes/98-evolucao-das-subestacoes.html>>. Acesso em: 26 fev. 2013.

FERRER, Héctor J. Altuve; SCHWEITZER, Edmund O. **Modern solutions for protection, control, and monitoring of electric power system.** Pullman: Schweitzer Engineering Laboratories, Inc., 2010.

FONSECA, Celso Sockow. **Subestações: tipos, equipamentos e proteção.** Disponível em: <<http://www.uff.br/lev/downloads/apostilas/SE.pdf>>. Acesso em: 07 ago. 2013.

GRICE, Amy; PEER, Jackie M.; MORRIS, Greg T. **Envelhecimento da força de trabalho atual – quem vai substituí-la?.** Disponível em: <http://www.selinc.com.br/art_tecnicos/6429_Envelhecimento_da_Forca_de_Trabalho_Atual.pdf>. Acesso em: 27 fev. 2013.

GUZMÁN, Armando. **Melhore a confiabilidade do sistema elétrico de potência usando relés de multifunção.** Disponível em: <http://www.selinc.com.br/art_tecnicos/6162.pdf>. Acesso em: 26 de fev. de 2013.

HARLOW, James H. **Electric Power Transformer Engineering.** 2 ed. Taylor & Francis Group, LLC, 2007.

HOROWITZ, Stanley.; PHADKE, Arun G. **Power System Relaying**. 3 ed. Research Studies Press Limited, 2008.

KINDERMANN, Geraldo. **Proteção de Sistemas Elétricos de Potência**. 1º volumes. Editora UFSC, 1999.

_____. **Proteção de Sistemas Elétricos de Potência**. 2º volumes. Editora UFSC, 1999.

MADERGAN, Cláudio. **Proteção de barramentos**. Disponível em: < http://www.osestoreletrico.com.br/web/documentos/fasciculos/ed61_fasc_protecao_capXIV.pdf>. Acesso em: 26 fev. 2013.

MAMEDE FILHO, João; MAMEDE, Daniel Ribeiro. **Proteção de Sistemas Elétricos de Potência**. LTC, 2011.

MASON, C. Russell, **The art and science of protective relaying**. General Electric and Company, 1958.

MOONEY, Joe. **Microprocessor-based transmission line relays applications**. Schweitzer Engineering Laboratories, Inc. USA: Belleville, IL

OLIVEIRA. Paulo Roberto Pedroso. **Automação das subestações: Capítulo 6: Redes de comunicação em subestações de energia elétrica – Norma IEC 61850**. Disponível em: < http://www.ascx.com.br/ftp/asDocs/autom_se_cap_6.pdf >. Acesso em: 26 jul. 2013.

OPERADOR NACIONAL DE SISTEMA ELÉTRICO. **O que é o SIN - Sistema Interligado**. Disponível em: < <http://www.ons.org.br/home/index.aspx>>. Acesso em: 26 ago. 2013.

ORTENG. **Sistema digital de proteção, controle e supervisão e supervisão-subestação**. Disponível em: <http://www.orteng.com.br/sites/default/files/projetos/anexos/se_santo_angelo.pdf>. Acesso em: 04 de agosto de 2013.

PEREIRA, Allan Cascaes et al. **Sistema de proteção e automação de subestação de distribuição.** Disponível em: <<http://www.labplan.ufsc.br/congressos/XIII%20Eriac/B5/B5-22.pdf>>. Acesso em: 04 de agosto de 2013.

PHADKE, Arun G.; THORP, James S. **Computer Relaying for Power Systems.** Somerset: Research Studies Press Limited, 2009.

PORTAL BRASIL. **Geração.** Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/sobre/economia/energia/setor-eletrico/geracao/>>. Acesso em: 11 jul. 2013.

PRAZERES, Romildo Alves. **Apostila de subestações.** Disponível em: <http://pessoal.utfpr.edu.br/romildop/arquivos/Subestacao_Eletrica_apostila.PDF>. Acesso em: 22 jul. 2013.

ROSSI, R.. **Proteção de Sistemas Elétricos Industriais.** Itajuba: Fupai, 2012

RUFATO JUNIOR, Eloi. **Viabilidade técnica e econômica da modernização do sistema de proteção da distribuição.** Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES (SEL). **Automação das subestações: Capítulo I: Histórico e terminologia.** Disponível em: <http://www.osetoreletrico.com.br/web/documentos/fasciculos/cap13_fasc_automacao_subest_ed48.pdf>. Acesso em: 26 jul. 2013.

_____. **Automação das subestações: Capítulo VII: Redes de comunicação em subestações de energia elétrica – Norma IEC 61850.** Disponível em: <http://www.osetoreletrico.com.br/web/documentos/fasciculos/Ed54_fasc_automacao_subestacoes_capVII.pdf>. Acesso em: 26 jul. 2013.

_____. **Guia prático para instalação e utilização do Software SEL-5030 AcSELerator® QuickSet.** Disponível em:

<http://www.selinc.com.br/manual/Guia_para_Instalacao_e_Utilizacao_do_Software_AcSELerator_120904.pdf>. Acesso em: 11 jul. 2013.

_____. **Relé de proteção SEL-411L.** Disponível em: <<http://www.selinc.com.br/produtos/SEL-411L.aspx>>. Acesso em: 11 jul. 2013.

_____. **Relé de proteção SEL-421.** Disponível em: <<http://www.selinc.com.br/produtos/SEL-421.aspx>>. Acesso em: 11 jul. 2013.

_____. **Relé de proteção SEL-451-5.** Disponível em: <<http://www.selinc.com.br/produtos/SEL-451-5.aspx>>. Acesso em: 11 jul. 2013.

_____. **Relé de proteção SEL-487E.** Disponível em: <<http://www.selinc.com.br/produtos/SEL-487E.aspx>>. Acesso em: 11 jul. 2013.

_____. **Relé de Proteção SEL-487B.** Disponível em: <<http://www.selinc.com.br/produtos/SEL-487B.aspx>>. Acesso em: 11 jul. 2013.

SENGER, E. César et al. Desenvolvimento de um relé digital de distância. Rio de Janeiro: VII STPC, Julho 2003.

SILVA, Milthon Sierna. **Modelagem das funções de uma subestação automatizada empregando modelos orientados a objeto.** Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-12052005-104054/publico/Dis_Milthon_Serna_Silva.pdf>. Acesso em: 11 jul. 2013.

SOUZA, Fabiano. **Estudo e projeto elétrico básico de uma subestação.** Disponível em: <http://www2.ele.ufes.br/~projgrad/documentos/PG2007_2/fabianosousa.pdf>. Acesso em: 26 fev. 2013.

STEVENSON Jr., W. D. **Elements of power system analysis.** New York: McGraw-Hill, 1982.

STEVENSON Jr., W. D. **Elementos de análise de sistemas de potência**. São Paulo: McGraw-Hill, 1986.

WARTH, Anne; RODRIGUES, Eduardo. **Apagão começou com um curto-circuito**. Disponível em: <<http://www.redenergia.com/noticias/apagao-comecou-com-curto-circuito/>>. Acesso em: 28 jan. 2013.

APÊNDICE A – PRINCIPAIS FUNÇÕES DA PROTEÇÃO EM LINHAS DE TRANSMISSÃO

As principais funções da proteção em linhas de transmissão conforme Mamede Filho e Mamede (2011, p. 446).

Número	Função
21	Proteção de distância.
21N	Proteção de distância de neutro.
27	Proteção de subtensão.
32P	Direcional de potência ativa.
46	Desbalanço de corrente de sequência negativa.
50	Proteção instantânea de fase.
50N	Proteção instantânea de neutro.
50BF	Proteção contra falha de disjuntor.
51	Proteção temporizada de fase.
51N	Proteção temporizada de neutro.
59	Proteção contra sobretensão.
67	Proteção direcional de fase.
67N	Proteção direcional de neutro.
79	Religamento.
85	Proteção auxiliar de <i>carrier</i> (bloqueio de abertura do disjuntor).
86	Bloqueio de segurança.
87L	Proteção diferencial de linha.

APÊNDICE B – MODELAGEM DE LINHAS CURTAS, MÉDIAS E LONGAS

B.1 MODELAGEM PARA LINHAS CURTAS

As linhas de transmissão consideradas linhas curtas são as linhas com comprimento de até 80 km, neste caso a capacitância da linha de transmissão, por ser pequena pode ser desprezada, sendo a linha de transmissão representada pelos parâmetros série da resistência e da indutância, na FIGURA B.1 tem-se o modelo de linhas curtas.

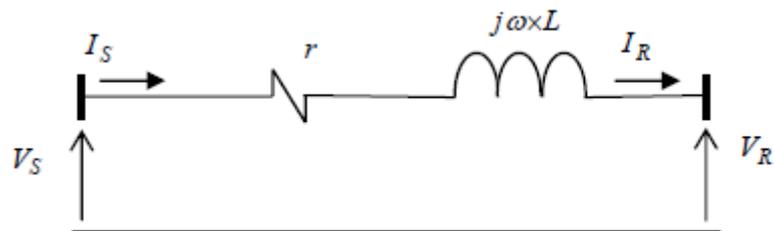


Figura B.1: Modelo de linha curta
Fonte: Borges (2015, p.5)

Da Figura D.1 pode-se tirar as seguintes equações:

$$z = r + j\omega \times L$$

$$I_S = I_R$$

$$V_S = V_R + z \times I_R$$

Explicitando-se as variáveis da receptora vem:

$$V_R = V_S - z \times I_R$$

$$I_R = I_S$$

B.2 MODELAGEM PARA LINHAS MÉDIAS (entre 80 e 240 quilômetro)

As linhas de transmissão consideradas médias são as linhas que possuem um comprimento entre 80 e 240 quilômetro, neste caso considera-se a capacitância da linha de transmissão concentrada em ambas as extremidades da mesma. A linha é representada pelo modelo pi-nominal como mostra a Figura B.2.

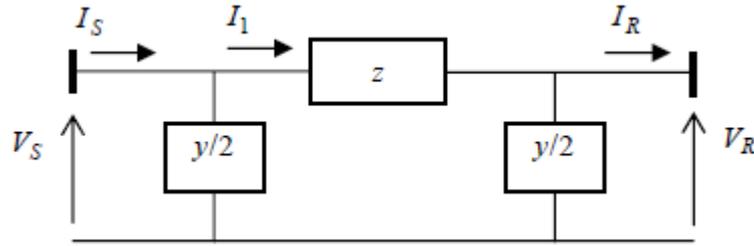


Figura B.2: Modelo de linha média
Fonte: Borges (2015, p.5)

Da Figura D.2 pode-se tirar as seguintes equações:

$$V_S = V_R + z \times I_R$$

$$I_1 = I_R + \frac{y}{2} \times V_R$$

Substituindo-se a corrente I_1 na equação acima e agrupando termos vem:

$$V_S = \left(1 + z \times \frac{y}{2}\right) \times V_R + z \times I_R$$

$$I_S = I_1 + \frac{y}{2} \times V_S$$

Substituindo-se na equação I_S a corrente I_1 e a tensão V_S e agrupando termos vem:

$$I_S = I_R + \frac{y}{2} \times V_R + \frac{y}{2} \times \left[\left(1 + z \times \frac{y}{2}\right) \times V_R + z \times I_R\right]$$

$$I_S = \left[z \times \left(\frac{y}{2}\right)^2 + 2 \times \frac{y}{2}\right] \times V_R + \left(1 + z \times \frac{y}{2}\right) \times I_R$$

$$V_S = a \times V_R + b \times I_R$$

$$I_S = c \times V_R + d \times I_R$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} a & b \\ c & d \end{vmatrix} = a \times d - b \times c$$

$$\delta_{V_R} = \begin{vmatrix} V_S & b \\ I_S & d \end{vmatrix} = d \times V_S - b \times I_S$$

$$\delta_{I_R} = \begin{vmatrix} a & V_S \\ c & I_S \end{vmatrix} = a \times I_S - c \times V_S$$

Substituindo-se valores vem:

$$V_R = \frac{d \times V_S - b \times I_S}{a \times d - b \times c} = \frac{(1 + z \times \frac{y}{2}) \times V_S - z \times I_S}{(1 + z \times \frac{y}{2}) \times (1 + z \times \frac{y}{2}) - z \times (z \times \frac{y^2}{4} + y)}$$

$$V_R = \left(1 + z \times \frac{y}{2}\right) \times V_S - z \times I_S$$

$$I_R = \frac{a \times I_S - c \times V_S}{a \times d - b \times c} = \frac{(1 + z \times \frac{y}{2}) \times I_S - (z \times (\frac{y}{2})^2 + 2 \times \frac{y}{2}) \times V_S}{(1 + z \times \frac{y}{2}) \times (1 + z \times \frac{y}{2}) - z \times (z \times \frac{y^2}{4} + y)}$$

$$I_R = \left(z \times \left(\frac{y}{2} \right)^2 + 2 \times \frac{y}{2} \right) \times V_S + \left(1 + z \times \frac{y}{2} \right) \times I_S$$

B.3 MODELAGEM PARA LINHAS LONGAS

As linhas de transmissão considerada longas são as que possuem um comprimento superior a 240 km, neste caso consideram-se os parâmetros das linhas distribuídos por ela toda, resultando em equações diferenciais parciais, as quais são ajustadas ao modelo de pi-equivalente como mostra a Figura B.3.

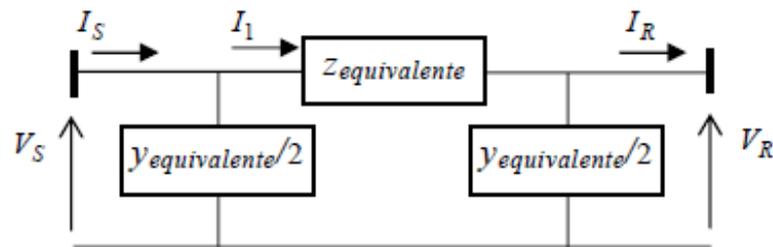


Figura B.3: Modelo de linha longa
Fonte: Borges (2015, p.5)

$$Z_{equivalente} = Z \times \frac{\sinh(\gamma \times l)}{\gamma \times l}$$

$$y_{equivalente} = Y \times \frac{\tanh(\gamma \times l/2)}{\gamma \times l/2}$$

$\gamma = \sqrt{z \times y}$ constante de propagação, $Z = z \times l$ e $Y = y \times l$, onde l é o comprimento da linha de transmissão.

APÊNDICE C – PRINCIPAIS FUNÇÕES DA PROTEÇÃO EM BARRAMENTO

As principais funções da proteção em barramento conforme Mamede Filho e Mamede (2011, p. 485).

Número	Função
46	Proteção de fase aberta (desbalanceamento de corrente).
50	Proteção instantânea de fase.
50N	Proteção instantânea de neutro.
50BF	Proteção contra falha do disjuntor.
51	Proteção temporizada de fase.
51N	Proteção temporizada de neutro.
50Q	Sobrecorrente instantânea de sequência negativa.
51Q	Sobrecorrente temporizada de sequência negativa.
64	Proteção de terra.
67G	Proteção direcional de terra.
86	Bloqueio de segurança.
87B	Proteção diferencial de barramento.

APÊNDICE D – PRINCIPAIS FUNÇÕES DA PROTEÇÃO EM TRANSFORMADOR

As principais funções da proteção em transformadores conforme Mamede Filho e Mamede (2011, p. 295).

Número	Função
23	Dispositivo de controle de temperatura.
26	Proteção térmica.
27	Proteção contra subtensão.
30	Dispositivo anunciador de eventos.
49RMS	Proteção de sobrecarga por imagem térmica.
50	Proteção de sobrecorrente instantânea de fase.
50N	Proteção de sobrecorrente instantânea de neutro.
51	Proteção de sobrecorrente temporizada de fase.
5N	Proteção de sobrecorrente temporizada de neutro.
5NS	Proteção de neutro sensível.
51G	Proteção de sobrecorrente de terra temporizada.
59	Proteção contra sobretensão.
63	Proteção contra a presença de gás (relé de Buchholz).
63A	Proteção contra sobrepressão de gás no transformador.
63C	Proteção contra a presença de gás no comutador de derivação.
63A/C	Proteção contra sobrepressão de gás no comutador de derivação.
64	Proteção de terra.
71	Detector de nível de óleo do transformador.
71C	Detector de nível de óleo do comutador de derivação.
80	Proteção para fluxo de óleo do comutador de derivação do regulador de tensão.
81	Proteção contra subfrequência e sobrefrequência (dispensada quando instalada na geração).
87T	Proteção diferencial de sobrecorrente.
90	Regulação de tensão.

ANEXO A – ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA COPEL RELÉS DE PROTEÇÃO

	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE SUBESTAÇÕES - DESE	Revisão: R10
	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Data: 14/12/09
	00000 20302 0110/11	Folha: 1/56

RELÉS DE PROTEÇÃO

Elaborado por:	Verificado por:	Aprovado por:
DEN/SOT/DESE/VPEL	Julio Cezar do Nascimento CREA 11166/D-PR	Mario Jose de Mello Soares CREA 13083/D-PR

	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE SUBESTAÇÕES - DESE	Revisão: R10
	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Data: 14/12/09
	00000- 20302- 0110/11	Folha: 2/56

ÍNDICE

1.0	OBJETIVO	4
2.0	CONDIÇÕES GERAIS	5
2.1	Generalidades	5
2.2	Normas e padrões aplicáveis	5
2.3	Comprovação de conformidade	6
2.4	Comprovação de fornecimentos anteriores	6
2.5	Unidades de medida e idioma.....	6
2.6	Garantia.....	7
2.7	Documentação técnica (manuais de instrução)	7
2.7.1	Instruções de operação e manutenção.....	7
2.7.2	Manuais técnicos.....	8
2.8	Embarque e entrega.....	8
2.8.1	Responsabilidade.....	8
2.8.2	Embalagem	8
2.9	Ferramentas e materiais especiais	9
2.10	Treinamento	9
3.0	REQUISITOS GERAIS DOS RELÉS	11
3.1	Generalidades	11
3.2	Condições ambientais	15
3.3	Tensões de alimentação	15
3.4	Valores nominais dos TCs e TPs	15
3.5	Capacidade térmica	15
4.0	REQUISITOS ESPECÍFICOS DOS RELÉS.....	16
4.1	Relé de distância 21 para aplicação em linhas de 69kV e 138kV	16
4.2	Relé de distância 21 para aplicação em linhas de 230kV	19
4.3	Relé diferencial de transformador 87T.....	22
4.4	Relé de sobrecorrente para proteção de transformadores	24
4.5	Relé de proteção de barra.....	27
4.6	Modulo de transferência de comandos e/ou sinais.....	29
4.7	Relé de proteção de alimentadores para uso em cubículos 15 kV.....	30
4.8	Relé de desequilíbrio para bancos de capacitores	34
5.0	INSPEÇÃO E ENSAIOS.....	35
5.1	Condições gerais.....	35
5.2	Ensaio de recebimento de relés	35

	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE SUBESTAÇÕES - DESE	Revisão: R10
	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Data: 14/12/09
	00000- 20302- 0110/11	Folha: 3/56

5.3	Relatórios de ensaios.....	36
5.4	Aceitação.....	36
5.5	Rejeição.....	37
6.0	INFORMAÇÕES A SEREM FORNECIDAS COM A PROPOSTA	38
6.1	Folhas de características técnicas	39
6.1.1	Preenchimento	39
6.1.2	Aceitação das características propostas.....	39
6.1.3	Garantia das características propostas.....	39
7.0	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO RELÉ DE PROTEÇÃO	40
7.1	Relé de distância 21 para linhas de transmissão de 69 kV e 138kV	40
7.2	Relé de distância 21 para linhas de transmissão de 230 kV	42
7.3	Relé diferencial de transformador 87T.....	44
7.4	Relé de sobrecorrente para proteção de transformadores	45
7.5	Relé de proteção de barra.....	47
7.6	Relé de proteção de alimentadores	49
8.0	ANEXOS	52
8.1	Anexo 1	52
8.2	Anexo 2	54
8.2.1	Desenho técnico DT-058 - folha 1/3	54
8.2.2	Desenho técnico DT-058 - folha 2/3	55
8.2.3	Desenho técnico DT-058 - folha 1/3	56

	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE SUBESTAÇÕES - DESE	Revisão: R10
	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Data: 14/12/09
	00000- 20302- 0110/11	Folha: 4/56

1.0 OBJETIVO

Esta especificação estabelece as condições e requisitos mínimos que deverão ser cumpridos pelo Proponente e Fornecedor para o projeto, fabricação, ensaios, embarque, comissionamento, treinamento e fornecimento de relés de proteção e acessórios a serem instalados em subestações da COPEL.

Para fins de interpretação desta especificação, proposta, desenhos e correspondências, deverão ser usadas as definições adotadas pelas normas e padrões mencionadas no item 2.2. No que se refere as responsabilidades adotaremos as seguintes definições:

- a) Proponente: empresa que estiver participando do processo de licitação para fornecimento dos relés desta especificação;
- b) Fornecedor: empresa que irá fazer o suprimento dos relés à COPEL após o processo de licitação, isto é, empresa mencionada na Ordem de Compra;
- c) Fabricante: empresa que fará a manufatura dos relés de proteção e os repassará ao Fornecedor.

	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE SUBESTAÇÕES - DESE	Revisão: <p style="text-align: right;">R10</p>
	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Data: <p style="text-align: right;">14/12/09</p>
	00000- 20302- 0110/11	Folha: <p style="text-align: right;">5/56</p>

2.0 CONDIÇÕES GERAIS

2.1 GENERALIDADES

O projeto, a matéria-prima, a mão-de- obra, a fabricação e o acabamento deverão incorporar, tanto quanto possível, os melhoramentos que a técnica moderna sugerir, mesmo quando não mencionados nesta especificação.

Os relés deverão sempre permitir a manutenção, o conserto e a substituição de peças, de forma simples e fácil, e atender as normas de segurança e medicina do trabalho.

Se forem julgados necessários dispositivos adicionais e/ou modificações para atender aos requisitos específicos desta especificação, seja no estágio do projeto e fabricação ou durante os ensaios de fábrica ou de campo, ou durante o período de garantia o Fornecedor deverá fornecer e instalar prontamente tais dispositivos e/ou efetuar as modificações, sem encargos adicionais a COPEL.

2.2 NORMAS E PADRÕES APLICÁVEIS

Salvo se estabelecido de outra forma nesta especificação, os relés, incluídos no escopo do fornecimento deste contrato, deverão ser fabricados, montados e ensaiados de acordo com os requisitos aplicáveis das normas abaixo discriminadas, em sua mais recente publicação:

- a) ABNT EB-582/72: Graus de Proteção para Invólucros de Equipamento de Manobra e Controle de Baixa Tensão
- b) ANSI C37.90: Relays and Relay Systems Associated with Electrical Power Apparatus
- c) ANSI C37.90 a: Guide for Surge Withstand Capability (SWC) Tests
- d) IEC 60255 SERIES: Electrical Relays
- e) IEC 60255-5 Electrical Relays. Part 5: Insulation coordination for measuring relays and protection equipment – Requirements and tests.
- f) IEC 60255-22 Electrical Relays. Part 22: Electrical disturbance tests for measuring relays and protection equipment
 - Section 1: 1MHz burst immunity tests
 - Section 2: Electrostatic discharge tests
 - Section 3: Radiated electromagnetic field disturbance tests
 - Section 4: Electrical fast transient/burst immunity tests
- g) ANSI/IEEE C37.1: Definition, Specification, Analysis of System Used for Supervisory Control, Data Aquisition, and Automatic Control
- h) ANSI/IEEE C37.90.1: Surge Withstand Capability (SWC) Tests for Protective Relays and Relay Systems
- i) ANSI/IEEE C37.90.2: Withstand Capability of Relay Systems to Radiated Electromagnetic Interference
- j) ANSI 37.21: Control Switchboards
- k) IEEE C37.111: IEEE Standard Common Format for Transient Data Exchange (COMTRADE) for Power Systems

	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE SUBESTAÇÕES - DESE	Revisão: R10
	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Data: 14/12/09
	00000- 20302- 0110/11	Folha: 6/56

As normas acima mencionadas não excluem outras reconhecidas, desde que assegurem qualidade igual ou superior e que o Proponente cite em sua proposta e anexe cópias das normas alternativas aplicáveis ou parte delas. À COPEL cabe decidir se a norma alternativa proposta é igual ou superior às normas recomendadas.

Em caso de dúvida ou omissão, prevalecerá a especificação COPEL, depois as normas das organizações acima citadas e, finalmente, as normas apresentadas pelo Proponente.

2.3 COMPROVAÇÃO DE CONFORMIDADE

O Proponente deverá anexar, como parte integrante da proposta de fornecimento, atestados de conformidade emitidos por entidades certificadoras comprovando que todos os relés atendem as seguintes normas:

- a) IEC 60255-5 Dielectric Test Voltage: 2kV, 60Hz, 1 minuto - Impulse Voltage Test: 5kV
- b) IEC 60255-22-1 Class III 1 Mhz Burst Disturbance
- c) IEC 60255-22-2 Class III Electrostatic Discharge
- d) IEC 60255-22-3 Class III Radiated Eletromagnetic Field Disturbance
- e) IEC 60255-22-4 Class III Electrical Fast Transient /Burst Immunity

Somente serão aceitos os atestados de conformidade referentes aos relés que possuam a mesma versão de hardware que aqueles que foram propostos para fornecimento.

Se em qualquer época, durante a vigência do contrato de fornecimento, for proposta modificação na configuração do hardware dos relés adquiridos, essa somente será aceita pela COPEL mediante a apresentação dos atestados de conformidade referentes aos relés com o hardware alterado.

A não apresentação dos atestados implicará na não aceitação da proposta. O Proponente fica sujeito, caso a COPEL assim o determine, a comprovar a competência da entidade certificadora que atestou seus produtos. Caso seja demonstrada a sua incapacidade em emitir os referidos atestados, a proposta será automaticamente desconsiderada.

Os atestados de conformidade com normas comprovadamente equivalentes às solicitadas poderão ser aceitos, a critério da COPEL.

2.4 COMPROVAÇÃO DE FORNECIMENTOS ANTERIORES

O Proponente deverá apresentar, juntamente com a proposta, declaração de empresa pública ou privada de transmissão ou distribuição de energia elétrica, comprovando que a totalidade dos produtos ofertados em sua proposta, ou pertencentes a mesma família desses produtos, estão em operação efetiva e satisfatória por um período não inferior a seis meses.

2.5 UNIDADES DE MEDIDA E IDIOMA

Serão usadas as unidades componentes do SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES. Qualquer valor indicado, por conveniência, em outro sistema de unidades deve, também, ser expresso na unidade correspondente do Sistema Internacional de Unidades.

Todas e quaisquer instruções escritas e apresentadas pelo Fornecedor tais como cartas, artigos, publicações, catálogos, relatórios de ensaios, dizeres em desenhos, devem ser redigidos nos idiomas português ou inglês. O Fornecedor estrangeiro deve providenciar intérpretes da língua portuguesa para tratar com os representantes da COPEL, no local de contatos, em qualquer época.

	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE SUBESTAÇÕES - DESE	Revisão: R10
	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Data: 14/12/09
	00000- 20302- 0110/11	Folha: 7/56

2.6 GARANTIA

Todos os componentes dos relés, mesmo que não sejam de fabricação do Fabricante desses, serão garantidos pelo Fornecedor contra falhas ou defeitos de projeto, materiais e mão-de-obra durante 120 meses a partir da entrega CIF dos relés.

O Fornecedor deverá, a qualquer tempo, quando notificado pela COPEL e antes de expirado o citado período de garantia, efetuar prontamente a substituição de todo o relé, no sentido de sanar todos os defeitos, imperfeições ou partes falhas de materiais ou de fabricação que venham a se manifestar, sendo que todas as despesas com material, transporte, mão-de-obra, ensaios, etc., necessários ao desempenho operacional satisfatório do relé, correrão por conta do Fornecedor.

O fornecimento do relé em substituição ao defeituoso deverá ocorrer dentro de um prazo máximo de 48 (quarenta e oito) horas a contar do protocolo de recebimento da notificação COPEL.

O relé fornecido em substituição ficará de posse da COPEL até o retorno da unidade substituída, quando então aquele será devolvido ao fornecedor.

Se após notificação, dentro do período de garantia, o Fornecedor se recusar, negligenciar ou falhar na correção de defeitos conforme mencionados, a COPEL terá o direito de efetuar os trabalhos de correção com seu próprio pessoal ou terceiros, a seu critério, visando reparar quaisquer defeitos de fornecimento, sem prejuízo de quaisquer direitos, assumindo o Fornecedor a responsabilidade por eventuais conseqüências indesejáveis ao relé, advindas das ditas correções.

A COPEL, além disso, poderá exigir do Fornecedor o ressarcimento de todas as despesas reais de tais correções e quaisquer danos que delas resultem e ainda, a seu critério, deduzir das importâncias devidas ao Fornecedor, ou de outra forma, quantias correspondentes a despesas e prejuízos com o relé avariado, incluindo inclusive, prejuízos em outros equipamentos, que em conseqüência venham também a sofrer avarias.

Relativamente a um relé reparado ou substituído pelo Fornecedor, esse terá um novo prazo de garantia por um período complementar aos 120 meses do equipamento reparado ou substituído. O mesmo ocorrendo em caso de reincidência do reparo.

2.7 DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA (MANUAIS DE INSTRUÇÃO)

Para cada modelo de relé fornecido o fornecedor deverá entregar cópias impressas dos manuais completos na versão existente mais atualizada na quantidade estipulada pela regra abaixo:

De 1 a 5 relés:	3 manuais
De 6 a 10 relés:	5 manuais
De 11 a 20 relés:	8 manuais
Acima de 20 relés:	10 manuais

Cada conjunto de manuais deverá conter, no mínimo, o seguinte:

2.7.1 Instruções de operação e manutenção

- a) Instrução para colocação em serviço;
- b) Instrução para operação via painel frontal e software;

	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE SUBESTAÇÕES - DESE	Revisão: R10
	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Data: 14/12/09
	00000- 20302- 0110/11	Folha: 8/56

- c) Instrução para envio e recepção de ajustes;
- d) Instrução para ensaios funcionais;
- e) Instrução para manutenção preventiva e corretiva;
- f) Instrução para armazenagem e transporte.

2.7.2 Manuais técnicos

- a) Descrição detalhada de todos os elementos de proteção contidos no relé;
- b) Esquemas lógicos de todos os elementos de proteção contidos no relé;
- c) Características técnicas dos relés, dispositivos e acessórios;
- d) Valores garantidos de faixa de atuação e precisão de todos os elementos de proteção;
- e) Exemplos de aplicação do relé no sistema elétrico;
- f) Esquemas de ligação típicos.

2.8 EMBARQUE E ENTREGA

2.8.1 Responsabilidade

Será de responsabilidade do Fornecedor a entrega à COPEL, no prazo previsto, de todo relé objeto desta especificação, bem como o fornecimento da embalagem adequada ao transporte.

Qualquer dano no relé, ocorrido durante o transporte, devido a inadequação da embalagem, será de exclusiva responsabilidade do Fornecedor.

2.8.2 Embalagem

As embalagens deverão ser suficientes para proteger o conteúdo contra danos que possam vir a ocorrer durante o trânsito do local de fabricação até o local de instalação, sob condições que envolverão múltiplos traslados, reenvio, transporte sobre estradas não pavimentadas, armazenamento por longo período e exposição ao tempo.

O Fornecedor deverá usar seu próprio critério quanto a conveniência das exigências mínimas requeridas nesta especificação e será, independentemente da aprovação pela COPEL, o único responsável pela qualidade da embalagem.

As caixas, engradados e estrados deverão ser construídos de modo adequado às necessidades de embarque e cintados com fitas de aço com selos em aço prensado.

No caso de relé sujeito a danos causados pela umidade, deverão ser usados revestimentos impermeáveis e absorventes de umidade, tais como sílica-gel.

As embalagens deverão respeitar as legislações existentes sobre transporte, para todo o percurso. Cada volume ou embalagem deverá ser nitidamente identificado com:

- a) Nome do Fornecedor;
- b) Nome da COPEL;
- c) Número e item da ordem de compra;

	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE SUBESTAÇÕES - DESE	Revisão: R10
	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Data: 14/12/09
	00000- 20302- 0110/11	Folha: 9/56

- d) Lista de conteúdo;
- e) Massa total do volume (massa bruta), em kg.

As peças sobressalentes e ferramentas deverão ser embaladas em volumes separados, indicando claramente: "peças sobressalentes" e/ou "ferramentas".

Podem ser usadas marcações adicionais, necessárias para a facilidade de transporte de relé importado, as quais deverão ser indicadas nas instruções para embarque.

2.9 FERRAMENTAS E MATERIAIS ESPECIAIS

Caso sejam necessárias ferramentas especiais para a montagem, o manuseio, os testes, a calibração, a manutenção e para os reparos, deverá ser fornecido um jogo completo para cada relé a ser fornecido, e tais ferramentas deverão ser relacionadas na proposta e seus preços deverão ser incluídos no preço total do fornecimento.

Da mesma forma, caso os relés necessitem de conectores próprios e especiais para sua devida instalação, esses deverão ser fornecidos em quantidade apropriada, considerando também intervenções futuras nos mesmos.

2.10 TREINAMENTO

O Fornecedor deverá enviar previamente a COPEL, para análise e aprovação, a ementa dos tópicos a serem abordados durante a realização do treinamento, considerando o conteúdo desse item da especificação, além de incluir as informações a respeito de data, local e carga horária do mesmo.

Os cursos de treinamento deverão abranger especificamente a filosofia de operação, instalação e protocolo de comunicação DNP 3.0 do relé, manutenção e instalação de cada tipo de relé de proteção descrito nesta especificação e que faz parte do escopo do fornecimento.

Os cursos deverão ser sem ônus para a COPEL que, para sua realização, assumirá apenas as despesas de transporte e hospedagem de seus funcionários participantes.

Os cursos deverão ser ministrados para até 18 (dezoito) participantes, em período anterior à execução dos ensaios de recebimento dos relés de proteção.

O Fornecedor deverá avisar a COPEL, com antecedência de 15 dias, sobre as datas em que o curso de treinamento será realizado.

O treinamento deverá ser ministrado em português, em uma das instalações da COPEL no estado do Paraná, por profissionais competentes e experientes, com utilização de recursos didáticos e materiais de treinamento em quantidades adequadas para o aprendizado dos participantes.

O Fornecedor deverá utilizar recursos audio-visuais em conjunto com computadores portáteis além do(s) próprio(s) relé(s) a ser (em) fornecido(s), para que seja possível a fácil visualização por todos treinandos das etapas de utilização do software de comunicação, desde a sua instalação no computador portátil até a execução das funções de ajustes, parametrização, medição e oscilografia.

Com o propósito de comprovar durante o curso todas as funções descritas no manual, o Fornecedor deverá disponibilizar e utilizar pelo menos um relé de cada tipo e versão (de hardware e firmware) que faz parte do fornecimento, em conjunto com fontes de teste e demais dispositivos necessários, assim como demonstrar todos os cálculos essenciais para o estabelecimento dos valores de teste para as correntes, tensões e demais grandezas parametrizáveis.

 COPEL	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE SUBESTAÇÕES - DESE	Revisão: R10
	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Data: 14/12/09
	00000- 20302- 0110/11	Folha: 10/56

Os participantes deverão receber cópias individuais das documentações pertinentes ao curso ministrado.

O curso julgado pela COPEL como insuficiente para o cumprimento dos objetivos expostos nesta especificação, deverá ser complementado ou repetido sem ônus adicional. Para tanto o curso será avaliado pelos participantes imediatamente após o seu término.

	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE SUBESTAÇÕES - DESE	Revisão: R10
	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Data: 14/12/09
	00000- 20302- 0110/11	Folha: 11/56

REQUISITOS GERAIS DOS RELÉS

3.0 GENERALIDADES

- a) O padrão técnico, a execução, os materiais e os artigos do fornecimento deverão ser da melhor qualidade em seus respectivos tipos, tendo em vista os fins a que se destinam e deverão estar de acordo com as normas e padrões indicados nesta especificação.
- b) Os materiais usados na construção dos relés não deverão ser higroscópicos e as peças externas deverão ser adequadamente protegidas contra corrosão. Os projetos deverão ser tais que as peças dos relés sejam facilmente intercambiáveis.
- c) As conexões externas de corrente deverão possuir terminais tipo olhal.
- d) Cada relé deverá ser equipado com dispositivos de proteção contra danos internos em componentes e contra operações indevidas, causados por surtos originários do sistema de potência. Estes dispositivos devem fazer parte integrante dos relés e devem existir em todo e qualquer ponto de entrada da caixa dos relés (qualquer entrada de cabos).
- e) Deverá se levar em consideração que os cabos instalados para conexão dos relés não são blindados e que a COPEL não utiliza canaletas e/ou eletrodutos exclusivos para os cabos de controle e serviços auxiliares. Portanto os relés deverão ser adequados a esta situação.
- f) Cada relé de proteção deverá ser protegido contra sobretensões induzidas, tanto fora do relé, pela cablagem conectada, como dentro dele, causadas pela interrupção de circuitos indutivos e/ou capacitivos.
- g) Cada relé de proteção deverá ser construído de modo a permitir a execução de testes quando estiver montado em painel sem a necessidade de retirada completa ou de partes e sem que seja preciso a desconexão de cablagem.
- h) Cada relé deverá possuir, obrigatoriamente, isolamento galvânica em todos as suas entradas ou saídas.
- i) Todos os relés de proteção deverão ser apropriados para montagem em painéis.
- j) Todos os relés de proteção deverão ser de tecnologia digital.
- k) Como os relés digitais executam uma combinação de funções de proteção, controle, comunicação e outras, as funções de proteção deverão poder ser ativadas ou desativadas de forma independente e de maneira que nenhuma função tenha sua operacionalidade influenciada pela ativação ou desativação de qualquer elemento interno.
- l) Todos os relés deverão possuir teclado e display frontal de forma a permitir que todos os ajustes possam ser implantados diretamente nos relés sem qualquer necessidade de utilização de microcomputadores externos (laptop, PCs, etc.). Deverão também ser equipados com LEDs rearmáveis manualmente para a sinalização local de atuação das funções principais.
- m) Os relés deverão possuir capacidade de medição em tempo real de grandezas analógicas (corrente, tensão, frequência, potência ativa e reativa e energia) que deverão ser acessíveis através do display frontal e via portas de comunicação.
- n) Todos os relés deverão possuir número de entradas e saídas independentes em número e características conforme definido no item 4.0.
- o) Todos os relés deverão possuir, pelo menos, quatro portas de comunicação sendo:

Duas portas físicas traseiras padrão ethernet óptica, 100BASE-FX , operando em hot-standby, para comunicação DNP 3.0 L2 sobre UDP/ IP e TCP/IP e IEC 61850, com

	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE SUBESTAÇÕES - DESE	Revisão: <p style="text-align: right;">R10</p>
	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Data: <p style="text-align: right;">14/12/09</p>
	00000- 20302- 0110/11	Folha: <p style="text-align: right;">12/56</p>

conector fêmea tipo ST fêmea para fibra óptica multimodo 62.5/125 μ m e comprimento de onda de 1300nm. Outros conectores poderão ser aceitos desde que sejam fornecidos adaptadores (conectores/cordões) para ST.

Uma porta frontal e uma traseira padrão EIA-232 utilizando conectores DB-9 ou DB-25. Estas portas deverão ter capacidade para fornecer alimentação, através de seus pinos de sinais, para modems ou conversores eletro-ópticos do tipo auto-alimentado que serão conectados às mesmas. Caso o relé exija a instalação de módulos extensores de contatos, deverão existir três portas traseiras padrão EIA 232.

- p) Poderá ser aceito como porta de comunicação frontal, a critério da COPEL, outro tipo de porta desde que esta não exija a utilização de cabos confeccionados exclusivamente para o tipo de relé que faz parte do fornecimento.
- q) Deverão ser fornecidos cabos de comprimento mínimo 2 m para comunicação entre o relé, através de sua porta frontal, e um computador portátil. O fornecedor deverá prever cabos conversores, sendo que de um lado desse cabo deverá haver uma porta serial EIA 232 e do lado oposto uma entrada USB para conexão com microcomputadores. O fabricante deverá garantir a compatibilidade do cabo/conversor com seus equipamentos e softwares. A quantidade desses cabos deverá ser conforme instrução a seguir:
- De 1 a 5 relés: 3 cabos
De 6 a 10 relés: 5 cabos
De 11 a 20 relés: 8 cabos
Acima de 20 relés:10 cabos
- r) A porta frontal do relé será utilizada para comunicação local com o relé com o objetivo de parametrização, aquisição de dados de oscilografia e registros de eventos, bem como para leitura de medidas de grandezas analógicas.
- s) A dupla porta ethernet 100BASE-FX traseira será conectada a um sistema SCADA através de fibras ópticas multimodo utilizando do protocolo DNP 3.0 L2 sobre UDP/ IP e TCP/IP e IEC 61850, Para o protocolo DNP 3.0 deverá ser fornecida a documentação do perfil deste protocolo assim como o método de mapeamento dos pontos, os quais deverão ser configurados livremente, conforme necessidades da COPEL em cada uma de suas instalações. Deverá ser fornecida uma tabela de objetos, contendo os objetos suportados bem como as variações, descrições, "function codes" e "qualifier codes", para requisição e resposta, conforme tabela abaixo, onde são definidos os requisitos mínimos aceitáveis.

	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE SUBESTAÇÕES - DESE	Revisão: R10
	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Data: 14/12/09
	00000- 20302- 0110/11	Folha: 13/56

Tabela de objetos

Objeto			Requisição		Resposta	
Obj	Variação	Descrição	Function Codes (dec)	Qualifier Codes (hex)	Function Codes (dec)	Qualifier Codes (hex)
1	0	Binary Input – All Variations	1	0,1,6,7,8		
1	2	Binary Input with Status	1	0,1,6,7,8	129	0,1
2	0	Binary Input Change - All Variations	1	6,7,8		
2	2	Binary Input Change with Time	1	6,7,8	129,130	17,28
12	1	Control Relay Output Block	3,4,5,6	17,28	129	echo of request
20	0	Binary Counter - All Variations	1	0,1,6,7,8		
22	0	Counter Change Event - All Variations	1	6,7,8		
30	0	Analog Input – All Variations	1	0,1,6,7,8		
30	1	32-Bit Analog Input	1	0,1,6,7,8	129	0,1
30	2	16-Bit Analog Input	1	0,1,6,7,8	129	0,1
32	0	Analog Change Event - All Variations	1	6,7,8		
50	1	Time and Date	2	7		
60	1	Class 0 Data	1	6		
60	2	Class 1 Data	1	6,7,8		
60	3	Class 2 Data	1	6,7,8		
60	4	Class 3 Data	1	6,7,8		
80	1	Internal Indications	2	0		

- t) Por meio do protocolo DNP 3.0 L2, deverão ser disponibilizadas informações de partida de unidades, registro de eventos, entradas digitais, saídas digitais, medidas analógicas de corrente, tensão, potência e frequência, distância da falta, etc. O tamanho de cada fila de eventos a serem reportados via protocolo DNP-3 L2 deverá ser maior ou igual a 100 eventos. Todos os sinais deverão acompanhar os estados das funções ou entradas digitais monitoradas, com precisão SOE de 1 ms, não sendo permitidos sinais digitais tipo “latch” com rearme por comando.
- u) A segunda porta traseira deverá poder ser usada para a comunicação remota com o relé, via modem, para a aquisição de registros de oscilografia e eventos e, eventualmente, parametrização do mesmo, utilizando o software próprio do relé.

	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE SUBESTAÇÕES - DESE	Revisão: <p style="text-align: right;">R10</p>
	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Data: <p style="text-align: right;">14/12/09</p>
	00000- 20302- 0110/11	Folha: <p style="text-align: right;">14/56</p>

- v) Os relés deverão estar aptos a efetuar a comunicação de todas as portas de comunicação, de forma independente e simultânea, exceto para as portas ethernet operando em hot-standby.
- w) Os relés deverão gerar registros oscilográficos de faltas que contenham, no mínimo, a data e horário de cada ocorrência, assim como correntes, tensões, frequência, estado das entradas/saídas e variáveis de estado do relé durante um período parametrizável de pré e pós falta.
- x) Os relés deverão também armazenar em memória não volátil, por meio de registros de eventos seqüenciais, no mínimo os últimos 500 eventos estampados com o horário da ocorrência.
- y) O relógio interno usado para a estampagem de tempo da ocorrência dos eventos seqüenciais e das faltas deve ter uma resolução igual ou melhor que 1 milissegundo, isto é, o formato do tempo estampado deve ser hh:mm:ss.sss. Além disso, a exatidão ("accuracy") do tempo estampado deve ser melhor que 5 milissegundos, o que nessa especificação técnica significa que a diferença entre o tempo estampado e o tempo absoluto da ocorrência do evento não deve ser superior a 5 milissegundos.
- z) Os relés de proteção deverão poder ser sincronizados por GPS. A sincronização de tempo deverá ser com sinal IRIG-B não modulado, contudo os relés deverão também admitir sincronização via protocolo DNP-3.
- aa) Os relés de proteção deverão possuir pelo menos 04 (quatro) grupos de ajustes independentes que deverão ser armazenados na memória não volátil do relé. O usuário deverá poder ativar o grupo selecionado através do teclado, da comunicação remota ou das entradas digitais dos relés. Em cada grupo de ajuste deverão poder ser parametrizados todos os elementos de proteção e controle (religamento automático e verificação de sincronismo) disponíveis no relé, de forma independente.
- bb) Deverá ser fornecido, para cada modelo de relé que faz parte do escopo do fornecimento, um conjunto de todos e quaisquer programas computacionais (softwares) de suporte para instalação em microcomputadores que possuam sistema operacional Windows 95/98/NT/XP. Não deverá haver limite para o número de computadores onde os programas computacionais deverão ser instalados, sendo que a licença de instalação dos mesmos, se existir, deverá ser de uso corporativo. Tais programas deverão permitir ao usuário a parametrização de todos os elementos de proteção, lógicas internas, elementos de controle, portas de comunicação, registros de eventos e oscilografia. A geração de arquivos de ajuste deverá poder ser executada sem a necessidade de conexão com o relé de proteção. O programa de comunicação com os relés deverá permitir a leitura, edição e transferência de ajustes do relé ou para este. Ferramentas computacionais para visualização e construção gráfica de lógicas internas aos relés de proteção, se existirem, também deverão ser fornecidos. Os programas deverão também permitir a visualização de grandezas analógicas (correntes, tensões, etc.), os estados das saídas e das entradas digitais, das variáveis internas, e também da ativação e desativação de elementos internos, além da seqüência de eventos (SOE). Os programas computacionais devem ainda permitir ao usuário visualizar os registros oscilográficos gerados pelo relé, em formato gráfico, onde além das formas de onda de correntes e tensões de entrada do relé se possam incluir sinais digitais. Deverá ser possível a visualização de fasores e da composição harmônica das grandezas analógicas. Os registros oscilográficos deverão também ser disponibilizados em arquivos de dados, na forma do padrão "COMTRADE", de forma a permitir que a COPEL possa utilizá-los em software próprio. Caso os registros oscilográficos gerados pelo relé não atendam este padrão, deverá ser fornecida ferramenta computacional que permita a sua conversão. Toda e qualquer atualização de software que venha a ocorrer deverá ser enviada a COPEL, através de mecanismos computacionais automáticos via internet, sem qualquer ônus adicional a

	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE SUBESTAÇÕES - DESE	Revisão: R10
	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Data: 14/12/09
	00000- 20302- 0110/11	Folha: 15/56

COPEL. Caso existam duas ou mais versões de software, para desempenhar as funções acima descritas. A COPEL reserva-se o direito de escolha daquele me melhor a ela convier.

Fica reservado à COPEL, o direito de solicitar amostras dos relés propostos e/ou os respectivos softwares, para submetê-los a ensaios e testes durante a análise das propostas.

3.2 CONDIÇÕES AMBIENTAIS

Os relés deverão ser adequados para operar nas seguintes condições ambientais:

- a) Altitude: até 1000m
- b) Temperatura máxima anual: 55°C
- c) Temperatura mínima anual: 0°C
- d) Temperatura média em 24h: 30°C
- e) Umidade relativa: até 95%, sem condensação.

Deverá ser dada ênfase ao fato que o clima é altamente favorável à corrosão e formação de fungos.

3.3 TENSÕES DE ALIMENTAÇÃO

- a) Tensão nominal: 125VDC
- b) Tensão mínima: 105VDC
- c) Tensão máxima: 137,5VDC

3.4 VALORES NOMINAIS DOS TCS E TPS

- a) Tensão secundária nominal de TPs: 115V (fase-fase)
66.4V (fase-neutro)
- b) Corrente secundária nominal de TCS: 5A

3.5 CAPACIDADE TÉRMICA

Todos os relés ligados a secundários de transformadores de corrente deverão possuir, pelo menos, as seguintes características:

- a) Capacidade térmica em regime permanente: $\geq 10A$ (em qualquer ajuste)
- b) Capacidade térmica de curta duração (1s): $\geq 250A$ (em qualquer ajuste)
- c) Capacidade dinâmica (0,5 ciclo): $\geq 750A$ (pico)

	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE SUBESTAÇÕES - DESE	Revisão: R10
	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Data: 14/12/09
	00000- 20302- 0110/11	Folha: 16/56

4.0 REQUISITOS ESPECÍFICOS DOS RELÉS

Em caso de divergência entre informações descritas nos itens 3.0 e 4.0, prevalecerão aquelas do último item.

4.1 RELÉ DE DISTÂNCIA 21 PARA APLICAÇÃO EM LINHAS DE 69KV E 138KV

O esquema de proteção de um circuito de linha de transmissão típico de tensão em 69 kV ou 138 kV é composto por dois relés de proteção distintos, porém idênticos, denominados de proteção principal e proteção alternada.

Os relés de distância 21 para aplicação nos circuitos de proteção de linhas de transmissão com tensão de 69 kV e 138 kV do sistema COPEL, tanto os utilizados no esquema de proteção principal quanto os aplicados para o esquema de proteção alternada deverão possuir, no mínimo, os elementos de proteção e características constantes na relação a seguir:

- a) O sistema de proteção fornecido deverá ser seletivo e adequado para a eliminação de todo e qualquer tipo de falta ao longo da linha de transmissão;
- b) Não serão admitidos relés que utilizem elementos de distância com compensação de seqüência zero para a seleção de fases;
- c) Trip tripolar;
- d) Elementos de distância: o relé deverá ser adequado para proteger linhas de transmissão em sistemas de 69 kV ou 138 kV com neutro solidamente aterrado e deverá possuir pelo menos 4 (quatro) zonas com característica mho ou poligonal para detecção de faltas entre fases (função 21) e, pelo menos 4 (quatro) zonas de proteção com característica mho ou poligonal para detecção de faltas envolvendo a terra (função 21N). Pelo menos uma das zonas de proteção de distância de fase e de terra deverá poder operar em sentido reverso. Os ajustes dos elementos de proteção de distância para faltas entre fases e para faltas envolvendo a terra deverão ser independentes;
- e) Tempo típico de operação das zonas de proteção instantâneas: máximo de 35 ms;
- f) Bloqueio por oscilação de potência - out-of-step blocking (função 68): este elemento deverá bloquear a atuação dos elementos de distância
- g) Disparo por perda de sincronismo - out-of-step tripping (função 78);
- h) Teleproteção: o relé deverá possibilitar a escolha do esquema de proteção assistido por canal de comunicação a critério do usuário. Os elementos direcionais de sobrecorrente residual (67N) e de seqüência negativa (67Q) deverão estar disponíveis e serem em número suficiente, para utilização nos esquemas de teleproteção. Entre os esquemas disponíveis no relé deverão estar incluídos, no mínimo os esquemas listados a seguir:
 - h.1) Bloqueio por comparação direcional (“directional comparison blocking” - DCB);
 - h.2) Desbloqueio por comparação direcional (directional comparison unblocking” - DCUB);
 - h.3) Transferência de disparo permissivo por subalcance (“permissive underreach transfer-trip” - PUTT);
 - h.4) Transferência de disparo permissivo por sobrealcance (“permissive overreach transfer-trip” - POTT);
 - h.5) Transferência de disparo direto (“direct transfer-trip” - DTT);

	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE SUBESTAÇÕES - DESE	Revisão: R10
	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Data: 14/12/09
	00000- 20302- 0110/11	Folha: 17/56

- i) Deverá possuir lógica interna para ser habilitada quando a linha for conectada a barramento onde se configure a condição de fonte fraca (“weak-infeed”);
- j) Bloqueio por perda ou falta de potencial (“fuse failure detection”);
- k) Elemento de sobrecorrente direcional de terra ou residual: o relé deverá possuir elementos de sobrecorrente direcional de neutro e/ou residual. Devem existir no relé pelo menos um elemento instantâneo e um de tempo inverso. A polarização do elemento direcional poderá ser feita por grandezas de seqüência negativa (V_2/I_2) ou de seqüência zero ($3V_0/3I_0$);
- l) Elemento de sobrecorrente direcional de seqüência negativa: o relé deverá possuir elemento de sobrecorrente de seqüência negativa. Devem existir no relé pelo menos um elemento instantâneo e um de tempo inverso.
- m) Elementos de sobrecorrente de fase: o relé deverá possuir elementos de sobrecorrente de fase que possam ter aplicação conjunta com elemento direcional ou ter sua partida controlada por elemento interno ou externo, conforme definição do usuário. Devem existir no relé, pelo menos, um elementos instantâneo, um de tempo definido e um de tempo inverso;
- n) Elemento de sobretensão (59): o relé deverá possuir pelo menos dois elementos de sobretensão sendo que um deles deverá usar como grandeza de partida a tensão entre fases enquanto que o outro elemento deverá usar como grandeza de partida a tensão entre fase e terra de cada uma das fases. Ambos os elementos deverão possuir temporizadores ajustáveis de forma independente;
- o) Esquema de fechamento sob falta (“line pickup/switch onto fault”): o relé deverá possuir um esquema que possibilite a correta eliminação de uma falta sólida que produza uma tensão nula nos terminais do relé para aplicações em que se faz uso de transformadores de potencial instalados no lado da linha de transmissão;
- p) Elemento de falha de disjuntor (“breaker failure”): o relé deverá possuir esquema de falha de disjuntor interno ou lógicas que permitam a sua fácil implementação. Este elemento deverá possuir lógicas de operação que permitam a supervisão do estado do disjuntor através de corrente e através de contato auxiliar do mesmo;
- q) Religamento automático: o relé deverá possuir esquema de religamento automático que possibilite, pelo menos uma tentativa de fechamento do disjuntor. Esse elemento deverá operar em conjunto com um elemento de verificação de sincronismo que definirá as condições em que se dará o fechamento do disjuntor;
- r) Verificação de sincronismo: o relé deverá possuir um elemento de verificação de sincronismo com ajustes para defasagem angular, diferença de módulo das tensões e escorregamento de freqüência. O comando de fechamento emitido deverá considerar o tempo de operação do disjuntor. Este elemento também deverá verificar as condições de tensão de barra e linha para definir a condição em que se dará o fechamento do disjuntor. São necessários ajustes independentes de ângulo de defasagem e condições de fechamento para aplicação em esquemas de religamento automático tripolar e comando de fechamento manual do disjuntor;
- s) Lógica programável: o relé deverá permitir a programação de funções lógicas em adição aos esquemas de proteção e controle pré-programados, combinando as variáveis internas, entradas, saídas e operadores lógicos. Não serão aceitos relés que exijam a utilização de contatos de saída como variáveis auxiliares e nem os que exigem ligações externas ao relé para a construção das lógicas internas;
- t) Localização de faltas;

	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE SUBESTAÇÕES - DESE	Revisão: R10
	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Data: 14/12/09
	00000- 20302- 0110/11	Folha: 18/56

- u) Oscilografia: o relé deverá ser capaz de armazenar os valores de corrente e tensões das três fases as quais está conectado, bem como os estados das variáveis internas, entradas e saídas durante o processo de atuação do relé. Os períodos de pré e pós falta deverão poder ser configurados nos relés com critérios adotados pela COPEL. A taxa de amostragem dos sinais apresentados nos registros oscilográficos não deverá ser inferior a 16 amostras por ciclo, sendo que o relé deverá ser capaz de armazenar pelo menos 4 (quatro) registros com duração mínima de 1 (um) segundo cada.;
- v) Entradas: cada relé deverá possuir pelo menos 22 (vinte e duas) entradas digitais independentes, sendo aceitos módulos de ampliação de entradas externos ao relé. Relés que possuam entradas digitais agrupadas serão analisados para verificar sua compatibilidade com as necessidades dos projetos da COPEL; esta análise de compatibilidade implicará na aceitação ou não do relé;
- w) Saídas: cada relé deverá possuir pelo menos 25 (vinte e cinco) contatos de saída independentes, sendo aceitos módulos externos de ampliação de contatos externos ao relé, sendo que o cabo óptico deverá estar incluso no fornecimento. Relés que possuam contatos agrupados serão analisados para verificar sua compatibilidade com as necessidades dos projetos da COPEL, sendo que essa análise de compatibilidade implicará na aceitação ou não do relé. As características mínimas dos contatos do relé estão listadas abaixo:
- | | | |
|------|---|-------|
| v.1) | Condução contínua: | 5A |
| v.2) | Fechamento e condução em 0,5 s: | 30A |
| v.3) | Interrupção com carga $L/R \leq 40\text{ms}$ em 125Vcc: | 0,25A |

	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE SUBESTAÇÕES - DESE	Revisão: R10
	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Data: 14/12/09
	00000- 20302- 0110/11	Folha: 19/56

RELÉ DE DISTÂNCIA 21 PARA APLICAÇÃO EM LINHAS DE 230KV

O esquema de proteção de um circuito de linha de transmissão típico de tensão de 230 kV é composto por dois relés de proteção distintos, porém idênticos, denominados de proteção principal e proteção alternada.

Os relés de distância 21 para aplicação nos circuitos de proteção de linhas de transmissão com tensão de 230 kV do sistema COPEL, tanto os utilizados no esquema de proteção principal quanto os aplicados para o esquema de proteção alternada deverão possuir, no mínimo, os elementos de proteção e características constantes na relação a seguir:

- a) O sistema de proteção fornecido deverá ser seletivo e adequado para a eliminação de todo e qualquer tipo de falta ao longo da linha de transmissão;
- b) Não serão admitidos relés que utilizem elementos de distância com compensação de seqüência zero para a seleção de fases;
- c) Trip monopolar e tripolar que atuem e possam ser ativados ou bloqueados de forma independente. Os elementos direcionais de sobrecorrente residual (67N) e de seqüência negativa (67Q) deverão possibilitar o disparo monopolar;
- d) Elementos de distância: o relé deverá ser adequado para proteger linhas de transmissão em sistemas de 230 kV com neutro solidamente aterrado e deverá possuir pelo menos 4 (quatro) zonas com característica mho ou poligonal para detecção de faltas entre fases (função 21) e, pelo menos 4 (quatro) zonas de proteção com característica mho ou poligonal para detecção de faltas envolvendo a terra (função 21N). Pelo menos uma das zonas de proteção de distância de fase e de terra deverá poder operar em sentido reverso. Os ajustes dos elementos de proteção de distância para faltas entre fases e para faltas envolvendo a terra deverão ser independentes;
- e) Tempo típico de operação das zonas de proteção instantâneas: máximo de 35 ms;
- f) Bloqueio por oscilação de potência - out-of-step blocking (função 68): este elemento deverá bloquear a atuação dos elementos de distância;
- g) Disparo por perda de sincronismo - out-of-step tripping (função 78);
- h) Teleproteção: o relé deverá possibilitar a escolha do esquema de proteção assistido por canal de comunicação a critério do usuário. Os elementos direcionais de sobrecorrente residual (67N) e de seqüência negativa (67Q) deverão estar disponíveis e serem em número suficiente, para utilização nos esquemas de teleproteção. Entre os esquemas disponíveis no relé deverão estar incluídos, no mínimo os esquemas listados a seguir:
 - h.6) Bloqueio por comparação direcional ("directional comparation blocking" - DCB);
 - h.7) Desbloqueio por comparação direcional (directional comparation unblocking" - DCUB);
 - h.8) Transferência de disparo permissivo por subalcance ("permissive underreach tranfer-trip" - PUTT);
 - h.9) Transferência de disparo permissivo por sobrealcance ("permissive overreach transfer-trip" - POTT);
 - h.10) Transferência de disparo direto ("direct transfer-trip" - DTT);
- i) Deverá possuir lógica interna para ser habilitada quando a linha for conectada a barramento onde se configure a condição de fonte fraca ("weak-infeed").
- j) Bloqueio por perda ou falta de potencial ("fuse failure detection").

	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE SUBESTAÇÕES - DESE	Revisão: R10
	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Data: 14/12/09
	00000- 20302- 0110/11	Folha: 20/56

Elemento de sobrecorrente direcional de terra ou residual: o relé deverá possuir elementos de sobrecorrente direcional de neutro e/ou residual. Devem existir no relé pelo menos um elemento instantâneo e um de tempo inverso. A polarização do elemento direcional poderá ser feita por grandezas de seqüência negativa (V_2/I_2) ou de seqüência zero ($3V_0/3I_0$);

- k) Elemento de sobrecorrente direcional de seqüência negativa: o relé deverá possuir elemento de sobrecorrente de seqüência negativa. Devem existir no relé pelo menos um elemento instantâneo e um de tempo inverso.
- l) Elementos de sobrecorrente de fase: o relé deverá possuir elementos de sobrecorrente de fase que possam ter aplicação conjunta com elemento direcional ou ter sua partida controlada por elemento interno ou externo, conforme definição do usuário. Devem existir no relé, pelo menos, um elementos instantâneo, um de tempo definido e um de tempo inverso;
- m) Elemento de sobretensão (59): o relé deverá possuir pelo menos dois elementos de sobretensão sendo que um deles deverá usar como grandeza de partida a tensão entre fases enquanto que o outro elemento deverá usar como grandeza de partida a tensão entre fase e terra de cada uma das fases. Ambos os elementos deverão possuir temporizadores ajustáveis de forma independente.
- n) Esquema de fechamento sob falta ("line pickup/switch onto fault"): o relé deverá possuir um esquema que possibilite a correta eliminação de uma falta sólida que produza uma tensão nula nos terminais do relé para aplicações em que se faz uso de transformadores de potencial instalados no lado da linha de transmissão.
- o) Elemento de falha de disjuntor ("breaker failure"): o relé deverá possuir esquema de falha de disjuntor interno ou lógicas que permitam a sua fácil implementação. Este elemento deverá possuir lógicas de operação que permitam a supervisão do estado do disjuntor através de corrente e através de contato auxiliar do mesmo.
- p) Religamento automático: o relé deverá possuir esquema de religamento automático que possibilite, pelo menos uma tentativa de fechamento do disjuntor. Esse elemento deverá operar em conjunto com um elemento de verificação de sincronismo que definirá as condições em que se dará o fechamento do disjuntor.
- q) Verificação de sincronismo: o relé deverá possuir um elemento de verificação de sincronismo com ajustes para defasagem angular, diferença de módulo das tensões e escorregamento de frequência. O comando de fechamento emitido deverá considerar o tempo de operação do disjuntor. Este elemento também deverá verificar as condições de tensão de barra e linha para definir a condição em que se dará o fechamento do disjuntor. São necessários ajustes independentes de ângulo de defasagem e condições de fechamento para aplicação em esquemas de religamento automático tripolar e comando de fechamento manual do disjuntor.
- r) Lógica programável: o relé deverá permitir a programação de funções lógicas em adição aos esquemas de proteção e controle pré-programados, combinando as variáveis internas, entradas, saídas e operadores lógicos. Não serão aceitos relés que exijam a utilização de contatos de saída como variáveis auxiliares e nem os que exigem ligações externas ao relé para a construção das lógicas internas.
- s) Localização de faltas;
- t) Oscilografia: o relé deverá ser capaz de armazenar os valores de corrente e tensões das três fases as quais está conectado, bem como os estados das variáveis internas, entradas e saídas durante o processo de atuação do relé. Os períodos de pré e pós falta deverão poder ser configurados nos relés com critérios adotados pela COPEL. A taxa de amostragem dos sinais apresentados nos registros oscilográficos não deverá ser inferior a 16 amostras por ciclo, sendo

	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE SUBESTAÇÕES - DESE	Revisão: R10
	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Data: 14/12/09
	00000- 20302- 0110/11	Folha: 21/56

que o relé deverá ser capaz de armazenar pelo menos 4 (quatro) registros com duração mínima de 1 (um) segundo cada.

- v) Entradas: cada relé deverá possuir pelo menos 23 (vinte e três) entradas digitais independentes, sendo aceitos módulos de ampliação de entradas externos ao relé. Relés que possuam entradas digitais agrupadas serão analisados para verificar sua compatibilidade com as necessidades dos projetos da COPEL; esta análise de compatibilidade implicará na aceitação ou não do relé.
- w) Saídas: cada relé deverá possuir pelo menos 32 (trinta e duas) contatos de saída independentes, sendo aceitos módulos externos de ampliação de contatos externos ao relé, sendo que o cabo óptico deverá estar incluso no fornecimento. Relés que possuam contatos agrupados serão analisados para verificar sua compatibilidade com as necessidades dos projetos da COPEL, sendo que essa análise de compatibilidade implicará na aceitação ou não do relé. As características mínimas dos contatos do relé estão listadas abaixo:
- | | |
|--|-------|
| v.1) Condução contínua: | 5A |
| v.2) Fechamento e condução em 0,5 s: | 30A |
| v.3) Interrupção com carga $L/R \leq 40\text{ms}$ em 125Vcc: | 0,25A |

	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE SUBESTAÇÕES - DESE	Revisão: <p style="text-align: right;">R10</p>
	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Data: <p style="text-align: right;">14/12/09</p>
	00000- 20302- 0110/11	Folha: <p style="text-align: right;">22/56</p>

4.3 RELÉ DIFERENCIAL DE TRANSFORMADOR 87T

O relé diferencial de transformador deverá possuir, no mínimo, os elementos de proteção e requisitos constantes da relação abaixo:

- a) Elemento diferencial com característica de restrição percentual que não deve operar indevidamente para altos valores de corrente passante pelo transformador resultantes de faltas externas à sua zona de operação. Esse elemento do relé deverá ser capaz de proteger um transformador trifásico ou banco de transformadores, tanto de dois quanto de três enrolamentos;
- b) O relé deve incorporar sistema de bloqueio ou restrição por harmônicos que evite operações indevidas pela corrente de magnetização (“inrush”) que aparece na energização de transformadores através de detecção das componentes de segundo harmônico desta. O relé também deverá permanecer estável em condições de sobreexcitação do transformador através de detecção das componentes de quinto harmônico das correntes de entrada;
- c) O relé deverá possuir a função de bloqueio cruzado (“cross-blocking”) que bloqueie o elemento diferencial percentual das três fases sempre que o nível de segunda harmônica proveniente da corrente de energização do transformador (“inrush”), em qualquer uma das fases, estiver acima de um determinado valor ajustável. Esta característica deverá poder ser habilitada ou não, a critério do usuário;
- d) O relé deverá possuir elemento de proteção diferencial irrestrito (elemento diferencial instantâneo) para produzir atuação rápida em condições de falta severas independentemente do elemento de bloqueio de harmônicos;
- e) O relé deverá incluir completa compensação das correntes de entrada de modo a ser compatível com qualquer grupo de ligação de transformador e de conexão dos enrolamentos secundários dos transformadores de corrente;
- f) O relé deverá possuir pelo menos um elemento de sobrecorrente de fase instantâneo e um elemento de sobrecorrente de fase de tempo inverso para cada um dos enrolamentos do transformador protegido;
- g) O relé deverá possuir pelo menos um elemento de sobrecorrente residual instantâneo e um elemento de sobrecorrente residual de tempo inverso para cada um dos enrolamentos do transformador protegido;
- h) O relé deverá possuir pelo menos um elemento de subtensão (funções 27), um elemento de sobretensão (função 59) e um elemento de sobretensão residual (função 64 ou 59G). O relé deverá poder ser alimentado pelas tensões das três fases originárias de transformadores de potencial instalados em pelo menos um dos enrolamentos do transformador;
- i) Elemento de falha de disjuntor (“breaker failure”): o relé deverá possuir esquema de falha de disjuntor interno ou lógicas que permitam a sua fácil implementação. Este elemento deverá possuir lógicas de operação que permitam a supervisão do estado do disjuntor através de corrente e através de contato auxiliar do mesmo;
- j) Lógica programável: o relé deverá permitir a programação de funções lógicas em adição aos esquemas de proteção e controle pré-programados, combinando as variáveis internas, entradas, saídas e operadores lógicos. Não serão aceitos relés que exijam a utilização de contatos de saída como variáveis auxiliares e nem os que exigem ligações externas ao relé para a construção das lógicas internas;
- k) Oscilografia: o relé deverá ser capaz de armazenar os valores das correntes nas três fases de todos os enrolamentos do transformador protegido, as tensões de entrada nas três fases, bem como os estados das variáveis internas, entradas e saídas durante o processo de atuação do

	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE SUBESTAÇÕES - DESE	Revisão: R10
	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Data: 14/12/09
	00000- 20302- 0110/11	Folha: 23/56

relé. Os períodos de pré e pós falta deverão poder ser configurados nos relés com os critérios adotados pela COPEL. A taxa de amostragem dos sinais apresentados nos registros oscilográficos não deverá ser inferior a 16 amostras por ciclo, sendo que o relé deverá ser capaz de armazenar pelo menos 4 (quatro) registros com duração mínima de 1 segundo cada;

- l) Entradas: cada relé deverá possuir pelo menos 14 (catorze) entradas digitais independentes, sendo aceitos módulos de ampliação de entradas externos ao relé. Relés que possuam entradas digitais agrupadas serão analisados para verificar sua compatibilidade com as necessidades dos projetos da COPEL; esta análise de compatibilidade implicará na aceitação ou não do relé;
- m) Saídas: cada relé deverá possuir pelo menos 20 (vinte) contatos de saída independentes. Relés que possuam contatos agrupados serão analisados para verificar sua compatibilidade com as necessidades dos projetos da COPEL; esta análise de compatibilidade implicará na aceitação ou não do relé. As características mínimas dos contatos do relé estão listadas abaixo
- | | |
|--|-------|
| m.1) Condução contínua: | 5A |
| m.2) Fechamento e condução em 0,5 s: | 30A |
| m.3) Interrupção com carga $L/R \leq 40\text{ms}$ em 125Vcc: | 0,25A |

	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE SUBESTAÇÕES - DESE	Revisão: <p style="text-align: right;">R10</p>
	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Data: <p style="text-align: right;">14/12/09</p>
	00000- 20302- 0110/11	Folha: <p style="text-align: right;">24/56</p>

4.4 RELÉ DE SOBRECORRENTE PARA PROTEÇÃO DE TRANSFORMADORES

O relé de sobrecorrente deverá possuir, no mínimo, os elementos de proteção e requisitos constantes da relação abaixo:

- a) Elementos de sobrecorrente de fase: o relé deverá possuir pelo menos um elemento instantâneo, um de tempo definido e um de tempo inverso ajustáveis de forma independente;
- b) Elementos de sobrecorrente residual e de terra: o relé deverá possuir pelo menos um elemento instantâneo, um de tempo definido e um de tempo inverso ajustáveis de forma independente;
- c) Elementos de sobrecorrente de seqüência negativa: o relé deverá possuir pelo menos um elemento instantâneo, um de tempo definido e um de tempo inverso ajustáveis de forma independente;
- d) Os elementos de sobrecorrente instantâneos, de tempo definido e de tempo reverso deverão ser bloqueáveis de forma independente;
- e) O relé deverá possuir faixa de ajustes para os elementos de sobrecorrente de fase de tempo inverso e de tempo definido, no mínimo, entre 0,5 e 6A em valores secundários;
- f) O relé deverá possuir faixa de ajustes para os elementos de sobrecorrente instantâneos de fase, no mínimo, entre 5,0A e 50A, em valores secundários;
- g) O relé deverá possuir faixa de ajustes para os elementos de sobrecorrente residuais e de terra de tempo inverso e de tempo definido, no mínimo, entre 0,5A a 2,0A em valores secundários;
- h) O relé deverá possuir faixa de ajustes para os elementos instantâneos residuais e de terra, no mínimo, entre 5,0A e 50,0A em valores secundários;
- i) Os elementos de proteção de sobrecorrente de tempo inverso deverão ter a possibilidade de emular a temporização de rearme de disco eletromecânico ("disk emulation"). A função de emulação de disco de indução deverá poder ser desativada, conforme aplicação a que se destina;
- j) Elemento de sobrecorrente direcional de fase: o relé deverá possuir pelo menos um elemento de sobrecorrente instantâneo, um de tempo definido e um de tempo inverso que operem com grandezas de fase e sejam controlados por um elemento direcional de fase. Não serão aceitos relés cujo controle direcional seja realizado a partir de elementos de distância;
- k) Elementos de sobrecorrente direcional residual e de terra: o relé deverá possuir pelo menos um elemento instantâneo, um de tempo definido e um de tempo inverso que operem com grandezas de seqüência zero e sejam controlados por um elemento direcional. A polarização do elemento direcional deverá ser feita por grandezas de seqüência zero ou negativa. Deverá, ainda, haver a possibilidade de polarizar os relés através de corrente de seqüência zero originária do neutro dos transformadores da instalação (polarização por corrente);
- l) Elemento de sobretensão (59): o relé deverá possuir pelo menos dois elementos de sobretensão sendo que um deles deverá usar como grandeza de partida a tensão entre fases enquanto que o outro elemento deverá usar como grandeza de partida a tensão entre fase e terra de cada uma das fases. Ambos os elementos deverão possuir temporizadores ajustáveis de forma independente;
- m) Elemento de subtensão (27): o relé deverá possuir pelo menos dois elementos de subtensão sendo que um deles deverá usar como grandeza de partida a tensão entre fases enquanto que o outro elemento deverá usar como grandeza de partida a tensão entre fase e terra de cada uma das fases. Ambos os elementos deverão possuir temporizadores ajustáveis de forma independente;

	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE SUBESTAÇÕES - DESE	Revisão: R10
	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Data: 14/12/09
	00000- 20302- 0110/11	Folha: 25/56

- n) Elemento de sobretensão residual (64 ou 59G): o relé deverá possuir elemento de sobretensão que deverá usar como grandeza de partida a tensão residual (3V0) calculada a partir da medição das tensões das três fases. Este elemento deverá possuir temporizador próprio e deverá poder ser configurado de forma a somente gerar alarmes. Não serão aceitos relés que exijam alimentação de TPs conectados em delta aberto para a medição desta tensão;
- o) Elemento de frequência (81): o relé deverá possuir pelo menos dois elementos de sobrefrequência e dois de subfrequência capazes de operar para frequências entre 55 e 65Hz. Cada um dos elementos de frequência deverá possuir temporizador ajustável de forma independente dos demais. Os elementos de frequência deverão ser monitorados por um elemento de subtensão que iniba a operação destes para tensões abaixo de valor definido pelo usuário;
- p) Elemento de falha de disjuntor (“breaker failure”): o relé deverá possuir esquema de falha de disjuntor interno ou lógicas que permitam a sua fácil implementação. Este elemento deverá possuir lógicas de operação que permitam a supervisão do estado do disjuntor através de corrente e através de contato auxiliar do mesmo;
- q) Verificação de sincronismo: o relé deverá possuir um elemento de verificação sincronismo com ajustes para defasagem angular, diferença de módulo das tensões e escorregamento de frequência. O comando de fechamento emitido deverá considerar o tempo de operação do disjuntor. Este elemento também deverá verificar as condições de tensão de barra e linha para definir a condição em que se dará o fechamento do disjuntor;
- r) Lógica programável: o relé deverá permitir a programação de funções lógicas em adição aos esquemas de proteção e controle pré-programados, combinando as variáveis internas, entradas, saídas e operadores lógicos. Não serão aceitos relés que exijam a utilização de contatos de saída como variáveis auxiliares e nem os que exigem ligações externas ao relé para a construção das lógicas internas;
- s) Oscilografia: o relé deverá ser capaz de armazenar os valores das correntes nas três fases, bem como a corrente residual e de terra e as tensões nas três fases, além dos estados das variáveis internas, entradas e saídas durante o processo de atuação do relé. Os períodos de pré e pós falta deverão poder ser configurados nos relés com os critérios adotados pela COPEL. A taxa de amostragem dos sinais apresentados nos registros oscilográficos não deverá ser inferior a 16 amostras por ciclo, sendo que o relé deverá ser capaz de armazenar pelo menos 4 (quatro) registros com duração mínima de 1 segundo cada;
- t) Entradas: cada relé deverá possuir pelo menos 14 (quatorze) entradas digitais independentes quando utilizados em esquemas de proteção de circuitos de transformadores de distribuição (tensão primária até 138kV) e, no mínimo 22 (vinte e duas) entradas digitais quando o relé for aplicado especificamente em esquemas de proteção de circuitos primário de transformadores de interligação (tensão $\geq 230\text{kV}$), sendo aceitos módulos de ampliação de entradas externos ao relé. Relés que possuam entradas digitais agrupadas serão analisados para verificar sua compatibilidade com as necessidades dos projetos da COPEL. Tal análise de compatibilidade implicará na aceitação ou não do relé. A aplicação do relé deverá ser definida no pedido.
- u) Saídas: cada relé deverá possuir pelo menos 20 (vinte) contatos de saída independentes quando utilizados em esquemas de proteção de circuitos de transformadores de distribuição (tensão primária até 138kV) e, no mínimo 28 (vinte e oito) contatos de saída independentes quando o relé for aplicado especificamente em esquemas de proteção de circuitos primário de transformadores de interligação (tensão $\geq 230\text{kV}$), sendo aceitos módulos de ampliação de contatos externos ao relé. A aplicação do relé deverá ser definida no pedido. Relés que possuam contatos agrupados serão analisados para verificar sua compatibilidade com as

 COPEL	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE SUBESTAÇÕES - DESE	Revisão: R10
	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Data: 14/12/09
	00000- 20302- 0110/11	Folha: 26/56

necessidades dos projetos da COPEL. Tal análise de compatibilidade implicará na aceitação ou não do relé. As características mínimas dos contatos do relé estão listadas abaixo:

- u.1) Condução contínua: 5A
 - u.2) Fechamento e condução em 0,5 s: 30A
 - u.3) Interrupção com carga $L/R \leq 40\text{ms}$ em 125Vcc: 0,25A
-

	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE SUBESTAÇÕES - DESE	Revisão: R10
	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Data: 14/12/09
	00000- 20302- 0110/11	Folha: 27/56

4.5 RELÉ DE PROTEÇÃO DE BARRA

A proteção diferencial de barra deverá atender os requisitos mínimos listados abaixo:

- a) Deve ser aplicável para instalações de 230kV e 138kV, numa frequência de 60Hz, com arranjos de barra típicos e padronizados, conforme definido abaixo:
 - a.1) Tipo 1: Arranjo barra principal e transferência com transformadores de corrente instalados internamente a zona de “by-pass”, conforme diagrama 1 do anexo 1;
 - a.2) Tipo 2: Arranjo barra principal e transferência com transformadores de corrente instalados externamente a zona de “by-pass” conforme diagrama 2 do anexo 1;
 - a.3) Tipo 3: Arranjo barra principal e transferência com transformadores de corrente instalados de forma mista(externos ao baipasse em circuitos de transformador e internos ao baipasse em circuitos de linha de transmissão) conforme diagrama 3 do anexo 1;
 - a.4) Tipo 4: Arranjo barra dupla à quatro chaves com transformadores de corrente instalados de forma mista (externos ao baipasse em circuitos de transformador e internos ao baipasse em circuitos de linha de transmissão) conforme diagrama 4 do anexo 1;

A quantidade de circuitos a serem integrados à proteção diferencial de barra, assim como o tipo de arranjo dos barramentos protegidos, encontram-se definidos no modelo de formulário da proposta;
- b) Deve ser de baixa impedância, baseada no princípio diferencial com restrição percentual;
- c) Deve eliminar instantaneamente qualquer tipo de faltas entre fases e entre uma fase e a terra que possam ocorrer na sua zona de atuação, provocando o disparo e bloqueio de fechamento de todos os disjuntores associados;
- d) Deve ser estável para faltas externas à zona de proteção mesmo com a saturação completa de um ou mais transformadores de corrente;
- e) Deve ser seletivo por fase, possuindo pelo menos duas zonas de proteção que tornem o relé apto a se adaptar às configurações operativas da barra protegida;
- f) A proteção poderá ser do tipo concentrado ou distribuído. No tipo concentrado as unidades de entrada de corrente originárias dos transformadores de corrente deverão estar concentradas em uma mesma “caixa” ou, no máximo, em uma “caixa” por fase. No tipo distribuído as unidades de aquisição de corrente originária dos transformadores de corrente (unidades de “bay”) deverão poder ser instaladas no mesmo painel de proteção em que está instalada a unidade central;
- g) Deve ser de tecnologia digital (numérica), sendo que relés de outras tecnologias não serão aceitos;
- h) Deve ser adequado para conexão a secundários de transformadores de corrente de diferentes características e relações, sem a necessidade de utilização de transformadores de corrente auxiliares. A corrente nominal dos secundários dos transformadores de corrente empregados pela COPEL é de 5 A;
- i) Deve possuir facilidades de parametrização que permitam bloquear a atuação do elemento diferencial para a realização de testes ou para atender situações operacionais sem a necessidade de desconexão de entradas ou saídas;
- j) Deve se adaptar à configuração operativa da subestação sem a necessidade de chaveamentos de corrente nos circuitos secundários de transformadores de corrente;

	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE SUBESTAÇÕES - DESE	Revisão: R10
	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Data: 14/12/09
	00000- 20302- 0110/11	Folha: 28/56

- k) Deve possuir um sistema de supervisão que detecte aberturas acidentais dos secundários dos transformadores de corrente e possibilite o bloqueio do elemento diferencial caso isto ocorra;
- l) Deve operar para faltas internas em um tempo menor que 20 ms;
- m) Deve possuir esquema de falha de disjuntor com acionamento independente para cada um dos circuitos conectado ao barramento protegido;
- n) O software para configuração completa do relé diferencial de barras deve ser fornecido. O fornecedor deverá prover treinamento e recursos para que o usuário possa realizar a parametrização completa do relé, sem necessidade de suporte ou a presença do fabricante toda vez que for necessário a modificação dos ajustes do relé ou a configuração do relé para uma nova subestação.
- o) Oscilografia: O relé deverá ser capaz de armazenar os valores das correntes de todos os circuitos conectados ao barramento protegido, bem como os estados das variáveis internas, entradas e saídas durante o processo de atuação do relé. Os períodos de pré e pós falta deverão poder ser configurados nos relés com os critérios adotados pela COPEL. A taxa de amostragem dos sinais apresentados nos registros oscilográficos não deverá ser inferior a 16 amostras por ciclo, sendo que o relé deverá ser capaz de armazenar pelo menos 4 (quatro) registros com duração mínima de 1 segundo cada;
- p) Entradas: cada relé deverá possuir entradas digitais independentes e em número suficiente para a monitoração do estado das seccionadoras conectadas ao barramento principal e ao barramento de transferência e do disjuntor de cada um dos circuitos conectados ao barramento da subestação através de contatos normalmente abertos (tipo a) e normalmente fechados (tipo b). O número total de entradas digitais deverá ser definido em função do número total de circuitos conectados ao barramento da subestação e do seu arranjo típico, conforme indicado no item a) anterior, prevendo-se futuras ampliações. Relés que possuam entradas digitais agrupadas serão analisados para verificar sua compatibilidade com as necessidades dos projetos da COPEL. Tal análise de compatibilidade implicará na aceitação ou não do relé;
- q) Saídas: cada relé deverá possuir pelo menos 2 (dois) contatos de saída independentes para cada circuito conectado ao barramento protegido, sendo que o número total de contatos de saída deverá ser definido em função do número total destes circuitos, prevendo-se futuras ampliações. Relés que possuam contatos agrupados serão analisados para verificar sua compatibilidade com as necessidades dos projetos da COPEL. Tal análise de compatibilidade implicará na aceitação ou não do relé. As características mínimas dos contatos do relé estão listadas abaixo:
- p.1) Condução contínua: 5A
- p.2) Fechamento e condução em 0,5 s: 30A
- p.3) Interrupção com carga $L/R \leq 40\text{ms}$ em 125Vcc: 0,25A

	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE SUBESTAÇÕES - DESE	Revisão: R10
	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Data: 14/12/09
	00000- 20302- 0110/11	Folha: 29/56

4.6 MÓDULO DE TRANSFERÊNCIA DE COMANDOS E/OU SINAIS

O módulo de transferência de comandos é um par de equipamentos destinados a transmitir um conjunto de sinais digitais originados no lado fonte (sinais de atuação de proteção e alarmes) para o destino através de um par de fibras ópticas dedicadas. Os requisitos mínimos destes equipamentos encontram-se descritos abaixo.

- a) Os equipamentos dos dois terminais deverão compartilhar entradas e saídas, isto é, ao acionamento de uma entrada de um dos equipamentos deverá corresponder o fechamento de um único contato no terminal oposto;
- b) Os transmissores e receptores ópticos deverão ser dimensionados para um circuito óptico constituído por 2 fibras dedicadas de tipo monomodo (9/125 micrometros) na faixa de 1310nm. Os transmissores e receptores ópticos deverão estar dimensionados para um alcance de, no mínimo, 70km (setenta quilômetros);
- c) Quando solicitado na requisição, o módulo deverá ser dimensionado para comunicação através de um multiplexador com interface ITU G.703 codirecional 64 kbits/s, neste caso deverá ser fornecido um conversor de interface de fibra óptica para ITU G.703, sendo que neste caso a interface óptica do módulo deve ser dimensionada para uma distância de até 2 km entre o módulo e o conversor.
- d) O canal de comunicação deverá ser automonitorado pelo próprio equipamento, sendo gerado alarme em caso de rompimento, danificação ou desconexão da fibra óptica ou em caso de perda de comunicação causada por falha no módulo. Este alarme deverá causar o fechamento de contato destinado especificamente para esta finalidade e independente dos exigidos para a transferência de comandos;
- e) O módulo não precisará possuir comunicação via protocolo DNP 3.0;
- f) Não haverá necessidade de portas de comunicação seriais, salvo exista a possibilidade de parametrização de funções através de software;
- g) As entradas e saídas digitais do módulo de transferência de comandos deverão estar dimensionadas para operar com uma tensão auxiliar de 125V em corrente contínua;
- h) A alimentação do módulo será feita com uma tensão de 125V em corrente contínua;
- i) O tempo de reconhecimento de alteração do estado das entradas digitais deverá ser de 2ms ou menos;
- j) Entradas: cada módulo deverá possuir pelo menos 8 (oito) entradas digitais independentes;
- k) Saídas: cada módulo deverá possuir pelo menos 8 (oito) contatos de saída independentes. As características mínimas dos contatos do módulo de transferência de comandos estão listadas abaixo:
 - j.1) Condução contínua: 5A
 - j.2) Fechamento e condução em 0,5 s: 30A
 - j.3) Interrupção com carga $L/R \leq 40\text{ms}$ em 125Vcc: 0,25A

	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE SUBESTAÇÕES - DESE	Revisão: R10
	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Data: 14/12/09
	00000- 20302- 0110/11	Folha: 30/56

4.7 RELÉ DE PROTEÇÃO DE ALIMENTADORES PARA USO EM CUBÍCULOS 15 KV

- a) O relé de proteção de alimentadores de carga deverá possuir, no mínimo, os elementos de proteção e requisitos constantes da relação abaixo: O relé de proteção deve possuir função temporizada de sobrecorrente para as três fases e de neutro (51/51N), cada qual com características inversa, muito inversa, extremamente inversa e tempo definido, com ajustes independentes de corrente de “pick-up” e curvas que atendam os valores da tabela do item 7.6;
- b) O relé de proteção deve possuir função instantânea de sobrecorrente de fase e de neutro (50/50N), de abertura instantânea (“high current trip”/“instantaneous trip”), com ajustes independentes de fase e de neutro e com múltiplos da corrente de disparo de fase e de neutro de acordo com os valores constantes na tabela do item 7.6. Além disso deve ser possível a ativação de apenas na operação de abertura selecionada;
- c) O relé deve possuir a função 51GS de sobrecorrente de neutro sensível para curtos-circuitos fase-fase de alta impedância (“sensitive earth fault” - SEF ou “sensitive ground fault” - SGF), com ajustes de corrente de “pick-up” e curvas de tempo definido, conforme constante na tabela do item 7.6;
- d) O relé deve possuir a função de sobre e sub-freqüência (81);
- e) O relé deve possuir a função de sobrecorrente direcional de fase e de neutro (67);
- f) O relé deve possuir a função de sobretensão (59) e subtensão (27);
- g) A atuação do relé para as funções de sobrecorrente, tanto para as correntes de curto-circuito entre fases ou fase-terra deve ser , necessariamente, para 100% do valor ajustado (múltiplo = 1). O relé deve possuir, tanto para curtos-circuitos entre fases como entre fase-terra, pelo menos 2 (duas) curvas características tempo x corrente de abertura tipo “abertura rápida” e 3 (três) do tipo “abertura lenta”;
- h) O relé de proteção deve possuir as funções de modificação de curvas rápidas e lentas para as curvas instantâneas e temporizadas, ajustáveis para fase e neutro, conforme abaixo:
 - h.1) Tempo mínimo de resposta (“minimum response time”);
 - h.2) Fator multiplicador (“vertical multiplier”/“time dial”);
 - h.3) Adicional de tempo (“constant time adder”).
- i) O relé deve possuir função de religamento automático (79) com ajustes de tempos de religamentos variáveis e independentes entre si. O relé deve ser automático e capaz de interromper e religar o disjuntor com uma seqüência pré-determinada de operações de abertura e fechamento, seguido de rearme ou bloqueio. O relé deve rearmar-se automaticamente se a falta desaparecer antes do bloqueio. A temporização do rearme deverá iniciar após o religamento, desde que a corrente esteja abaixo do valor de “pick-up”. O tempo de rearme também deve ser ajustável. O relé deve permitir um número mínimo de 4 (quatro) operações até ocorrer o bloqueio. O relé deve permitir que as seqüências de operações possam ser fixadas de modo a se ter somente aberturas instantâneas, somente lentas, ou uma combinação dessas, independentes, para defeitos fase-fase e fase-terra. O número de operações rápidas de fase deve ser independente do número de operações rápidas de neutro. Se a corrente de fase ou a corrente de terra alcançar ou exceder o valor mínimo necessário para a abertura, o relé deverá primeiramente temporizar, e, em seguida, energizar a bobina de abertura no instante correto. Após a abertura, começará a contagem de tempo ao final do qual deverá ocorrer o religamento, de acordo com o valor pré-determinado através dos ajustes no relé;

	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE SUBESTAÇÕES - DESE	Revisão: <p style="text-align: right;">R10</p>
	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Data: <p style="text-align: right;">14/12/09</p>
	00000- 20302- 0110/11	Folha: <p style="text-align: right;">31/56</p>

- j) O relé de proteção deve possuir no mínimo 1 (um) grupo de ajuste alternativo além do normal. No caso de mudança de um grupo de ajustes para outro, o controle deve possibilitar a alteração automática de todos os ajustes de proteção (fase, neutro , SEF, etc.);
- k) O relé de proteção deve possuir uma função para evitar abertura devido a carga fria, com ajustes de tempo e pick-up de fase e neutro. (“cold load pick-up”).
- l) O relé de proteção deve possuir uma função de localização de faltas, com indicação da distância em quilômetros do provável local da falta em relação à subestação.
- m) O relé de proteção deve possuir a função de bloqueio do religamento do disjuntor por alta corrente (“high current lockout / instantaneos lockout”), com ajustes separados de fase e de neutro com múltiplos da corrente de ajuste conforme folha de características técnicas;
- n) O relé de proteção deve possuir contador de operação obrigatório, com indicação do número de disparos acumulados, sendo que esse deverá ser acessíveis via teclado e display no painel frontal e rearmados através de senha.
- o) O Proteção elementos de falha de disjuntor (“breaker failure”): o relé deverá possuir esquema de falha de disjuntor interno ou lógicas que permitam a sua fácil implementação, supervisionando se os pólos do disjuntor se abrem após o envio de sinal de “pick-up” do relé;
- p) Devem estar disponíveis nas portas seriais as seguintes listas de funções e pontos de entrada e saída:
- p.1) Telesupervisão de estados:
- p.1.1) Estado do disjuntor - 52a e 52b (aberto/fechado);
 - p.1.2) Estado da chave local/remota;
 - p.1.3) Estado do bloqueio de religamento;
 - p.1.4) Estado do bloqueio de neutro; p.1.5) Estado do bloqueio de SEF ou SGF; p.1.6) Alarme de falta de alimentação CC; p.1.7) Abertura por fase - 50/51F;
 - p.1.8) Abertura por neutro - 50/51N;
 - p.1.9) Abertura pelo SEF ou SGF (ajuste sensível de neutro). As atuações de fase , neutro e SEF devem sinalizar quando houver abertura no disjuntor, e não a cada vez que a corrente atingir o valor de pick-up sem necessariamente provocar a abertura do circuito;
 - p.1.10) Estado do grupo de ajuste normal (ativado/desativado);
 - p.1.11) Estado do grupo de ajustes alternativo 1 (ativado/desativado);
 - p.1.12) Bloqueio por fim de seqüência de religamento;
 - p.1.13) Problema no relé de proteção;
 - p.1.14) Falha de abertura do mecanismo por sobrecurrrete (50BF);
 - p.1.15) Estado do bloqueio da proteção.
- p.2) Telecomandos:
- p.2.1) Comando de abertura;
-

	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE SUBESTAÇÕES - DESE	Revisão: R10
	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Data: 14/12/09
	00000- 20302- 0110/11	Folha: 32/56

- p.2.2) Comando de fechamento;
 - p.2.3) Comando de bloqueio/desbloqueio da proteção;
 - p.2.4) Comando de bloqueio/desbloqueio de religamento;
 - p.2.5) Comando de bloqueio/desbloqueio de neutro;
 - p.2.6) Comando de bloqueio/desbloqueio do ajuste de neutro sensível (SGF ou SEF);
 - p.2.7) Mudança de grupos de ajuste.
- p.3) Telesupervisão de medidas analógicas (supervisão remota de grandezas analógicas):
- p.3.1) Corrente na fase A (valor instantâneo de 15 em 15 minutos);
 - p.3.2) Corrente na fase B (valor instantâneo de 15 em 15 minutos);
 - p.3.3) Corrente na fase C (valor instantâneo de 15 em 15 minutos);
 - p.3.4) Tensão nas 3 fases (barra fase-fase) (valor instantâneo de 5 em 5 minutos);
 - p.3.5) Potência ativa (valor instantâneo de 15 em 15 minutos);
 - p.3.6) Potência reativa (valor instantâneo de 15 em 15 minutos);
 - p.3.7) Potência ativa - demanda (valor integralizado de 15 em 15 minutos);
 - p.3.8) Potência reativa - demanda (valor integralizado de 15 em 15 minutos);
 - p.3.9) Frequência.
- q) O relé de proteção deve disponibilizar através de indicação por LEDs em seu painel frontal, ou disponibilidade de instalação de sinaleiros no cubículo blindado, em português, os seguintes estados:
- q.1) Estado do disjuntor - 52a e 52b (aberto/fechado);
 - q.2) Estado da chave local/remota;
 - q.3) Estado do bloqueio de religamento;
 - q.4) Estado do bloqueio de neutro;
 - q.5) Estado do bloqueio de SEF ou SGF;
 - q.6) Estado do bloqueio da proteção (operação do disjuntor como chave);
 - q.7) Alarme de falta de alimentação CC;
 - q.8) Abertura por fase - 50/51F;
 - q.9) Abertura por neutro - 50/51N;
 - q.10) Abertura pelo SEF ou SGF (ajuste sensível de neutro). As atuações de fase, neutro e SGF devem sinalizar quando houver abertura no disjuntor, e não a cada vez que a corrente atingir o valor de pick-up sem necessariamente provocar a abertura do circuito;
 - q.11) Estado do grupo de ajuste normal (ativado/desativado);
 - q.12) Estado do grupo de ajustes alternativo 1 (ativado/desativado);
 - q.13) Bloqueio por fim de seqüência de religamento;
 - q.14) Problema no controle.
-

	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE SUBESTAÇÕES - DESE	Revisão: R10
	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Data: 14/12/09
	00000- 20302- 0110/11	Folha: 33/56

- r) O relé de proteção deve disponibilizar através de botão de acesso direto no painel frontal do próprio relé, ou permitir a configuração desses botões no “display” frontal do relé, ou disponibilizar o acesso por meio de botoeira a ser instalada no painel de comando do cubículo blindado no qual o relé será montado, com gravação em português, os seguintes comandos: r.1) Comando de abertura;
- r.2) Comando de fechamento;
- r.3) Comando de bloqueio/desbloqueio de religamento;
- r.4) Comando de bloqueio/desbloqueio de neutro;
- r.5) Comando de bloqueio/desbloqueio do ajuste de neutro sensível (SGF ou SEF); r.6) Chave local / remoto;
- r.7) Mudança de grupos de ajuste;
- r.8) Comando de bloqueio /desbloqueio da proteção (utilização do disjuntor como chave).
- s) O relé de proteção deve disponibilizar através de indicação direta dos valores no “display” do painel frontal, em português, as seguintes grandezas analógicas:
- s.1) Corrente na fase A;
- s.2) Corrente na fase B;
- s.3) Corrente na fase C;
- s.4) Corrente no neutro.
- t) Oscilografia: o relé deverá ser capaz de armazenar os valores das correntes nas três fases e de neutro, bem como os estados das variáveis internas, entradas e saídas durante o processo de atuação do relé. Os períodos de pré e pós falta deverão poder ser configurados nos relés com os critérios adotados pela COPEL. A taxa de amostragem dos sinais apresentados nos registros oscilográficos não deverá ser inferior a 16 amostras por ciclo, sendo que o relé deverá ser capaz de armazenar pelo menos 4 (quatro) registros com duração mínima de 1 segundo cada;
- u) Entradas: cada módulo deverá possuir pelo menos 6 (seis) entradas digitais independentes;
- v) Saídas: cada módulo deverá possuir pelo menos 4 (quatro) contatos de saída independentes. As características mínimas dos contatos do módulo de transferência de comandos estão listadas abaixo:
- v.1) Condução contínua: 5A
- v.2) Fechamento e condução em 0,5 s: 30A
- v.3) Interrupção com carga $L/R \leq 40\text{ms}$ em 125Vcc: $0,25^A$

	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE SUBESTAÇÕES - DESE	Revisão: R10
	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Data: 14/12/09
	00000- 20302- 0110/11	Folha: 34/56

4.8 RELÉ DE DESEQUILÍBRIO PARA BANCOS DE CAPACITORES

O relé de desequilíbrio para bancos de capacitores deverá possuir, no mínimo, os elementos de proteção e requisitos constantes da relação abaixo:

- a) Elementos de sobrecorrente: o relé deverá possuir elementos instantâneos, de tempo definido e de tempo inverso ajustáveis de forma independente;
- b) Os elementos de sobrecorrente instantâneos deverão ser bloqueáveis de forma independente dos elementos de tempo inverso e de tempo definido;
- c) Faixa de ajustes para os elementos de sobrecorrente de tempo inverso e de tempo definido de 0,5A a 6A em valores secundários;
- d) Faixa de ajustes para os elementos de sobrecorrente instantâneos de 20A a 50A em valores secundários;
- e) Os elementos de proteção de sobrecorrente de tempo inverso deverão ter a possibilidade de emular a temporização de rearme de disco eletromecânico ("disk emulation"). A função de emulação de disco de indução poderá ser desativada, conforme aplicação a que se destina;
- f) Registro de eventos: o relé deverá ser capaz de armazenar os valores da corrente, bem como os estados das variáveis internas, entradas e saídas durante o processo de atuação do relé. A taxa de amostragem dos sinais apresentados nos registros de eventos não deverá ser inferior a 16 amostras por ciclo, sendo que o relé deverá ser capaz de armazenar pelo menos 2 (dois) registros;
- g) Entradas: cada relé deverá possuir pelo menos 1 (uma) entrada digital;
- h) Saídas: cada relé deverá possuir pelo menos 2 (dois) contatos de saída independentes para sinalizar atuações do relé e um contato adicional para sinalização de falhas internas ao mesmo (contato de alarme). Relés que possuam contatos agrupados serão analisados para verificar sua compatibilidade com as necessidades dos projetos da COPEL. Tal análise de compatibilidade implicará na aceitação ou não do relé. As características mínimas dos contatos do relé estão listadas abaixo:
 - h.1) Condução contínua: 5A
 - h.2) Fechamento e condução em 0,5 s: 30A
 - h.3) Interrupção com carga $L/R \leq 40\text{ms}$ em 125Vcc: 0,25A

	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE SUBESTAÇÕES - DESE	Revisão: R10
	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Data: 14/12/09
	00000- 20302- 0110/11	Folha: 35/56

5.0 INSPEÇÃO E ENSAIOS

5.1 CONDIÇÕES GERAIS

A COPEL, se reserva o direito de inspecionar e ensaiar o relé abrangido por esta especificação quer no período de fabricação, quer na época do embarque ou a qualquer momento que julgar necessário.

O Fornecedor deverá avisar a COPEL, com antecedência de 15 (quinze) dias para o fornecedor nacional e de 30 (trinta) dias para o fornecedor estrangeiro, sobre as datas em que os relés estarão disponíveis para inspeção.

O período para inspeção deve ser dimensionado pelo Fornecedor de tal forma a não comprometer os prazos de entrega estabelecidos em contrato.

O Fornecedor tomará, às suas expensas, todas as providências para que a inspeção dos relés, por parte da COPEL, se realize em condições adequadas, de acordo com as normas aplicáveis e com esta especificação técnica. Assim, o Fornecedor deverá propiciar todas as facilidades para o livre acesso aos laboratórios, às dependências onde estão sendo fabricados os relés em questão, ao local de embalagem, etc., bem como fornecer pessoal habilitado a prestar informações e executar os ensaios, além de todos os dispositivos, instrumentos etc., para realizá-los.

Caso o Fornecedor do todo ou de parte do fornecimento seja estrangeiro, deverá estabelecer um representante técnico, ou uma filial, em território nacional, capaz de propiciar a execução dos ensaios de recebimento constantes da presente especificação. Este representante deverá conhecer perfeitamente o produto, possuir os equipamentos de ensaios em laboratório adequado e executar todos os ensaios requeridos. Caso algum item seja rejeitado, caberá a este representante o envio ao Fabricante, sem qualquer ônus para a COPEL.

5.2 ENSAIOS DE RECEBIMENTO DE RELÉS

Todos os relés de proteção deverão ser ensaiados nas instalações do seu Fabricante ou representante. O plano de inspeção e testes (PIT) deve ser aprovado antecipadamente pela COPEL.

Após receber o PIT dos ensaios de aceitação dos relés em fábrica, a COPEL analisará e o aprovará, caso este atenda às necessidades da COPEL.

Antes de os ensaios em fábrica serem iniciados, a COPEL verificará os certificados de calibração dos instrumentos de medição que serão utilizados. O início dos ensaios fica condicionado a estarem as calibrações desses instrumentos dentro das tolerâncias admissíveis e dos prazos de validade.

Segundo o PIT, deverão ser verificadas todas as funções do relé descritas no manual do Fabricante, mesmo aquelas não requeridas por estas especificações. Ao final dos ensaios, será registrado em documento próprio se o relé foi aprovado ou não aprovado.

Caso haja a necessidade de se executar a inspeção em mais de um período, com exceção feita a casos de interesse da COPEL ou pela forma de contrato, principalmente em casos de reinspeção, as despesas referentes a hospedagem e deslocamentos correrão por conta do Fornecedor, que deverão ser efetuadas de acordo com as normas administrativas da COPEL.

Os relés serão submetidos aos seguintes ensaios, que serão assistidos e assinados pelo inspetor da COPEL:

- a) Verificação das dimensões, espessuras, cor e disposição dos componentes conforme projeto e catálogos;

	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE SUBESTAÇÕES - DESE	Revisão: R10
	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Data: 14/12/09
	00000- 20302- 0110/11	Folha: 36/56

- b) Ensaio funcional: todos os relés serão testados com aplicação de sinais de CA e CC de forma a se verificar todas as funções exigidas nesta especificação e operação conforme as características propostas. As demais funções constantes nos catálogos e manuais do fabricante também serão ensaiadas para verificação de conformidade com as características técnicas indicadas nos mesmos.
- c) Ensaio de tensão aplicada: todos os relés de proteção fornecidos serão submetidos a ensaios de tensão aplicada ao dielétrico, conforme IEC 60255-5, na tensão de 2kV, 60Hz, exceção feita ao tempo de aplicação dessa tensão, o qual deverá ser de 1 minuto.

O ensaio de tensão aplicada acima descrito no item c) será realizado a critério único e exclusivo da COPEL.

Caso o ensaio de tensão aplicada, conforme descrito no item c) acima descrito, seja parte da rotina de testes da linha de produção do fabricante, a COPEL terá o direito de enviar inspetor às instalações do fabricante a fim de acompanhar a sua execução nos relés que fazem parte do fornecimento. A convocação para este tipo de ensaio deverá se dar com, pelo menos, quinze dias úteis de antecedência.

O Fabricante deverá disponibilizar equipamentos de ensaio de relés tipo fonte ativa, cronômetros e medidores de precisão para aplicação de grandezas de atuação. Também deverá prever microcomputadores e todo o software necessário para a verificação das funções de oscilografia, parametrização e comunicação remota.

Para a realização do ensaio funcional dos relés o Fornecedor deverá prover meios para que este ensaio possa ser realizado simultaneamente com a aquisição de dados pelo software de supervisão de protocolo DNP 3.0 através da porta de comunicação traseira. Os dados aquisitados por esse sistema supervisorio deverão ser verificados para comprovar sua compatibilidade com os demais dados do ensaio funcional.

5.3 RELATÓRIOS DE ENSAIOS

O Fornecedor deverá apresentar 2 (duas) vias dos relatórios de ensaios realizados em cada sistema de proteção. Estes relatórios deverão conter o nome da COPEL e do Fornecedor, o número da Ordem de Compra e da Ordem de Fabricação, local e data dos ensaios, número de série do relé, características e quantidades dos relés submetidos a ensaios e os resultados destes.

Todas as vias dos relatórios deverão ser assinadas pelo encarregado dos ensaios, por um funcionário categorizado do Fornecedor e pelo inspetor da COPEL.

No caso da COPEL dispensar a presença do inspetor na inspeção e ensaios, o Fornecedor deverá apresentar, além dos referidos relatórios, a garantia da autenticidade dos resultados. Esta garantia poderá ser dada num item do relatório ou através de um certificado devidamente assinado por funcionário categorizado.

Em qualquer dos casos, o Fornecedor deverá apresentar um certificado atestando que o relé satisfaz a todos os requisitos desta especificação e que esta de acordo com as modificações ou acréscimos apresentados na proposta ou na Ordem de Compra.

5.4 ACEITAÇÃO

Caso menos de 5% do número de cada tipo de relé que faz parte do fornecimento indicarem falhas quanto ao atendimento desta especificação, durante a execução dos ensaios de recebimento, estes equipamentos deverão ser substituídos por outros novos e ensaiados sem custo adicional à COPEL.

	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE SUBESTAÇÕES - DESE	Revisão: R10
	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Data: 14/12/09
	00000- 20302- 0110/11	Folha: 37/56

Se mais de 5% de cada tipo de relé que faz parte do fornecimento apresentar falha, a COPEL rejeitará todo o lote desse tipo de relé.

Para os relés diferencias de barra , se um relé do lote apresentar falhas deverá ser substituído e novamente testado. Se no segundo teste falhas forem detectadas, todo o lote será rejeitado incondicionalmente.

A aceitação dos relés pela COPEL, seja pela comprovação dos valores, seja por eventual dispensa de inspeção, não eximirá o Fornecedor de sua responsabilidade em fornecê-lo em plena concordância com a Ordem de Compra e com esta especificação, nem invalidará ou comprometerá qualquer reclamação que a COPEL venha a fazer baseada na existência de material inadequado ou defeituoso, mesmo que a constatação venha a ser dar posteriormente.

5.5 REJEIÇÃO

Se a rejeição tornar impraticável a entrega na data prometida ou se o Fornecedor for incapaz de satisfazer os requisitos, a COPEL reserva-se do direito de rescindir todas as suas obrigações e adquirir o relé em outra fonte, sendo o Fornecedor considerado como infrator da Ordem de Compra, estando sujeito às penalidades aplicáveis ao caso.

	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE SUBESTAÇÕES - DESE	Revisão: R10
	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Data: 14/12/09
	00000- 20302- 0110/11	Folha: 38/56

6.0 INFORMAÇÕES A SEREM FORNECIDAS COM A PROPOSTA

Deverão ser fornecidas, obrigatoriamente, as informações requeridas nestas especificações, conforme relação abaixo, e outras julgadas de interesse pelo Proponente.

As informações poderão ser apresentadas na forma julgada mais conveniente pelo Proponente, porém cada página deverá ser autenticada pela assinatura de um funcionário autorizado.

No mínimo, deverão ser fornecidas as seguintes publicações ou informações quando aplicáveis:

- a) Atestados de conformidade de acordo com o requerido no item 2.3;
- b) Comprovação de fornecimentos anteriores conforme requerido no item 2.4;
- c) Comprovação da existência em território nacional de laboratório, para execução dos ensaios de recebimento de acordo com o item 5.0, relacionando os equipamentos de ensaio disponíveis;
- d) Relação dos softwares, incluindo suas versões, que fazem parte do escopo do fornecimento, conforme descrito no item 3.1;
- e) Relação de ferramentas e materiais especiais recomendáveis e necessários conforme item 2.9;
- f) Cópias dos relatórios de todos os ensaios de tipo efetuados no relé proposto em laboratórios oficiais devidamente credenciados ou que tenham a capacitação comprovada para executá-los. Deverão ser apresentados todos os ensaios constantes do item “2.3 COMPROVAÇÃO DE CONFORMIDADE” desta especificação;
- g) Manuais de instruções completos dos relés propostos. Esses manuais deverão conter informações detalhadas sobre as características técnicas, descrição dos elementos de proteção existentes, lógicas internas e lógicas definidas pelo usuário, informações para instalação, operação e manutenção dos equipamentos, além de recomendações para execução e inspeção e testes a serem executados nos mesmos.
- h) Programa de treinamento de acordo com item 2.10;
- i) Plano de inspeção e testes (PIT), de acordo com item 5.2;
- j) Especificamente para o item 4.7, que diz respeito ao fornecimento de relés para proteção de alimentadores, desenhos com curvas “tempo x corrente” para curtos-circuitos fase-fase e fase-terra, em escala log-log no formato padrão COPEL. Tal formato será fornecido pela COPEL somente ao contratado em período posterior a emissão da ordem de compra, assim com todos os detalhes necessários para a confecção dos mesmos, tais como tamanho, escritas, cores, etc.. Uma vez aprovados os desenhos das curvas deverão ser enviados em sua forma definitiva na quantidade de um desenho por relé desse tipo fornecido. Deverão também ser fornecidos os arquivos de pontos de todas as curvas “tempo x corrente” em arquivo magnético

A COPEL se reserva o direito de desqualificar as propostas em que não constem as informações acima requeridas, e que não possibilitem a perfeita avaliação das características do equipamento exigidas na presente especificação.

Os documentos acima relacionados servirão de referência para a execução dos ensaios de recebimento.

A COPEL reserva-se o direito de solicitar outra documentação, além da relacionada acima, por ocasião da proposta ou na fase de fornecimento, a qual poderá comprovar os requisitos técnicos constantes nessa especificação.

	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE SUBESTAÇÕES - DESE	Revisão: R10
	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Data: 14/12/09
	00000- 20302- 0110/11	Folha: 39/56

6.1 FOLHAS DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

É obrigatória a apresentação das folhas de características técnicas, devidamente preenchidas, que se encontram nesta especificação.

6.1.1 Preenchimento

Deverá ser preenchida a coluna PROPOSTA, que deverá conter:

- a) As características reais do relé proposto, mesmo que difiram das características especificadas;
- b) Número ou referência dos Certificados de Ensaio, nas linhas reservadas aos ensaios de tipo;
- c) Nos itens onde aparecem a palavra "NECESSÁRIO" (que possua) na coluna "Especificação COPEL" o Proponente deverá preencher a coluna "Especificação Proposta" com as palavras "POSSUI" ou "NÃO POSSUI", conforme as características reais do relé;

Nos casos em que houver referência do tipo "vide catálogo", "vide proposta" etc., deverão ser indicados os números do item e da página, respectivos, onde se encontram os dados referidos.

A falta de preenchimento de alguma linha será interpretada pela COPEL como "item não atendido". Caso determinadas características especificadas não se apliquem ao relé proposto, o Proponente deverá anotar no local correspondente a sigla "NA" (Não Aplicável).

Na eventualidade dos valores de algumas características propostas serem baseadas em normas diferentes das especificadas o Proponente deverá anotar junto aos valores a norma de referência.

6.1.2 Aceitação das características propostas

Não serão aceitos pela COPEL itens da proposta que não forem acompanhados das correspondentes cópias das folhas de características técnicas constantes nestas especificações.

A aceitação de características técnicas inferiores às especificadas ficará a critério exclusivo da COPEL, porém, será dada preferência ao relé com valores ou características iguais ou superiores ao especificado.

6.1.3 Garantia das características propostas

As características indicadas pelo Proponente nas folhas de características técnicas serão consideradas como garantia técnica da proposta e prevalecerão sobre qualquer desenho, manual, catálogo ou publicação que sejam anexados à proposta.

As ressalvas às características especificadas deverão ser devidamente indicadas e esclarecidas; caso contrário prevalecerão as características desta especificação

	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE SUBESTAÇÕES - DESE	Revisão: R10
	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Data: 14/12/09
	00000- 20302- 0110/11	Folha: 40/56

7.0 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO RELÉ DE PROTEÇÃO

7.1 RELÉ DE DISTÂNCIA 21 PARA LINHAS DE TRANSMISSÃO DE 69 KV E 138KV

ITEM	CARACTERÍSTICA	ESPECIFICAÇÃO	
		COPEL	PROPOSTA
1	Fabricante	Informar	
2	Tipo/Modelo	Informar	
3	Proteção de distância: 4 (quatro) zonas de alcance para detecção de falhas entre fases e terra sendo pelo menos 1 zona reversível	Necessário	
4	Tempo típico de operação das zonas de proteção instantâneas	$\leq 35\text{ms}$	
5	Bloqueio por oscilação de potência (68)	Necessário	
6	Disparo por perda de sincronismo (78)	Necessário	
7	Teleproteção: possui lógicas de DCB, DCUB, PUTT, POTT	Necessário	
8	Esquema de fraca alimentação (weak infeed)	Necessário	
9	Bloqueio por falta de potencial	Necessário	
10	Proteção de sobrecorrente direcional de neutro residual ou de terra (elementos instantâneo e temporizado)	Necessário	
11	Proteção de sobrecorrente de fase e neutro (elemento instantâneo e temporizado)	Necessário	
12	Esquema de fechamento sob falta	Necessário	
13	Proteção de falha de disjuntor (Breaker Failure)	Necessário	
14	Localização de faltas	Necessário	
15	Grupos de ajustes	≥ 4 grupos	
16	Religamento automático: número de tentativas	≥ 4	
17	Verificação de sincronismo	Necessário	
18	Lógica programável	Necessário	
19	Entradas binárias configuráveis	≥ 22	

	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE SUBESTAÇÕES - DESE	Revisão: R10
	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Data: 14/12/09
	00000- 20302- 0110/11	Folha: 41/56

20	Saídas configuráveis		
	- Condução contínua	$\geq 5 \text{ A}$	
	- Fechamento e condução em 0,5s	$\geq 30 \text{ A}$	
	- Interrupção com carga L/R $\leq 40\text{ms}$	$\geq 0,25 \text{ A}$	
	- Quantidade de saídas configuráveis independentes	≥ 25	
21	Teclado e Display Frontal	Necessário	
22	Leitura no display de grandezas elétricas (corrente,tensão,potência, freqüência,etc)	Necessário	
23	Porta serial frontal (RS-232 ou alternativa)	≥ 1	
24	Porta serial traseira (RS-232)	≥ 1	
25	Portas ethernet 100BASE FX traseiras	≥ 2	
26	Porta traseira para conexão direta a cabo de fibra óptica para implementação de esquemas de teleproteção	Informar	
27	Conversores e conectores incluídos para atendimento aos requisitos das portas de comunicação	Informar	
28	Monitoração de disjuntor	Informar	
29	Oscilografia: tempo total de armazenamento de arquivos oscilográficos em memória não volátil	$\geq 4\text{seg}$	
30	Registrador de eventos seqüenciais: número de eventos armazenados em memória não volátil	≥ 500	
31	Protocolo da interface ethernet DNP 3.0 e IEC 61850	Necessário	
32	Sincronização com sinal IRIG-B não modulado	Necessário	

	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE SUBESTAÇÕES - DESE	Revisão: R10
	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Data: 14/12/09
	00000- 20302- 0110/11	Folha: 42/56

7.2 RELÉ DE DISTÂNCIA 21 PARA LINHAS DE TRANSMISSÃO DE 230 KV

ITEM	CARACTERÍSTICA	ESPECIFICAÇÃO	
		COPEL	PROPOSTA
1	Fabricante	Informar	
2	Tipo/Modelo	Informar	
3	Proteção de distância: 4 (quatro) zonas de alcance para detecção de falhas entre fases e terra sendo pelo menos 1 zona reversível	Necessário	
4	Tempo típico de operação das zonas de proteção instantâneas	$\leq 35\text{ms}$	
5	Desligamento mono e tripolar	Necessário	
6	Bloqueio por oscilação de potência (68)	Necessário	
7	Disparo por perda de sincronismo (78)	Necessário	
8	Teleproteção: possui lógicas de DCB, DCUB, PUTT, POTT	Necessário	
9	Esquema de fraca alimentação (weak infeed)	Necessário	
10	Bloqueio por falta de potencial	Necessário	
11	Proteção de sobrecorrente direcional residual ou de terra (elementos instantâneo e temporizado)	Necessário	
12	Proteção de sobrecorrente de fase e neutro (elemento instantâneo e temporizado).	Necessário	
13	Esquema de fechamento sob falta	Necessário	
14	Proteção de falha de disjuntor (Breaker Failure)	Necessário	
15	Localização de faltas	Necessário	
16	Grupos de ajustes	≥ 4 grupos	
17	Religamento automático monopolar e tripolar	Necessário	
18	Verificação de sincronismo	Necessário	
19	Lógica programável	Necessário	
20	Entradas binárias configuráveis	≥ 23	

	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE SUBESTAÇÕES - DESE	Revisão: R10
	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Data: 14/12/09
	00000- 20302- 0110/11	Folha: 43/56

21	Saídas configuráveis		
	- Condução contínua	$\geq 5A$	
	- Fechamento e condução em 0,5s	$\geq 30A$	
	- Interrupção com carga L/R $\leq 40ms$	$\geq 0,25A$	
	- Quantidade de saídas configuráveis independentes	≥ 32	
22	Teclado e Display Frontal	Necessário	
23	Leitura no display de grandezas elétricas (corrente,tensão,potência, frequência,etc)	Necessário	
24	Porta serial frontal (RS-232 ou alternativa)	≥ 1	
25	Portas seriais traseiras (RS-232)	≥ 1	
25	Portas ethernet 100BASE FX traseiras	≥ 2	
27	Porta traseira para conexão direta a cabo de fibra óptica para implementação de esquemas de teleproteção	Informar	
28	Conversores e conectores incluídos para atendimento aos requisitos das portas de comunicação	Informar	
29	Monitoração de disjuntor	Informar	
30	Oscilografia: tempo total de armazenamento de arquivos oscilográficos em memória não volátil	$\geq 4seg$	
31	Registrador de eventos sequenciais: número de eventos armazenados em memória não volátil	≥ 500	
32	Protocolo da interface ethernet IEC 61850 e DNP 3.0	Necessário	
33	Sincronização com sinal IRIG-B não modulado	Necessário	

	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE SUBESTAÇÕES - DESE	Revisão: R10
	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Data: 14/12/09
	00000- 20302- 0110/11	Folha: 44/56

7.3 RELÉ DIFERENCIAL DE TRANSFORMADOR 87T

ITEM	CARACTERÍSTICA	ESPECIFICAÇÃO	
		COPEL	PROPOSTA
1	Fabricante	Informar	
2	Tipo/Modelo	Informar	
3	Proteção diferencial percentual para 3 enrolamentos	Necessário	
4	Bloqueio de 2° e 5° harmônicos	Necessário	
5	Funções de sobrecorrente de fase instantânea e temporizada para os 3 enrolamentos	Necessário	
6	Proteção diferencial de terra (proteção de terra restrita)	Informar	
7	Proteção de sobre e subtensão	Necessário	
8	Proteção de sobreexcitação (volts/hertz)	Informar	
9	Grupos de ajustes	≥ 4 grupos	
10	Entradas binárias configuráveis : quantidade	≥ 14	
11	Saídas configuráveis		
	- Condução contínua	≥ 5A	
	- Fechamento e condução em 0,5 s	≥ 30A	
	- Interrupção com carga L/R=40ms	≥ 0,25A	
	- Quantidade	≥ 20	
12	Oscilografia: tempo total de armazenamento de arquivos oscilográficos em memória não volátil	≥ 5s	
13	Registrador de eventos sequenciais: número de eventos armazenados em memória não volátil	≥ 500	
14	Sincronização com sinal IRIG-B não modulado	Necessário	
15	Portas seriais frontais (RS-232 ou alternativa)	≥ 1	
16	Portas seriais traseiras (RS-232)	≥ 1	
17	Portas ethernet 100BASE FX traseiras	≥ 2	
18	Protocolo da interface ethernet DNP 3.0 e IEC 61850	Necessário	
19	Conversores e conectores incluídos para atendimento aos requisitos das portas de comunicação	Informar	
20	Teclado e display frontal	Necessário	

	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE SUBESTAÇÕES - DESE	Revisão: R10
	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Data: 14/12/09
	00000- 20302- 0110/11	Folha: 45/56

7.4 RELÉ DE SOBRECORRENTE PARA PROTEÇÃO DE TRANSFORMADORES

ITEM	CARACTERÍSTICA	ESPECIFICAÇÃO	
		COPEL	PROPOSTA
1	Fabricante	Informar	
2	Tipo/Modelo	Informar	
3	Proteção de sobrecorrente (instantânea, de tempo definido e de tempo inverso) para as correntes de fase	Necessário	
4	Proteção de sobrecorrente (instantânea, de tempo definido e de tempo inverso) para as correntes residual e de neutro	Necessário	
5	Proteção de sobrecorrente (instantânea, de tempo definido e de tempo inverso) para a corrente de seqüência negativa	Necessário	
6	Proteção de sobrecorrente direcional (instantânea, de tempo definido e de tempo inverso) para as correntes de fase	Necessário	
7	Proteção de sobrecorrente direcional (instantânea, de tempo definido e de tempo inverso) para as correntes residual e de neutro	Necessário	
8	Proteção de sobre e sub-tensão	Necessário	
9	Proteção de sobre e sub-freqüência	Necessário	
10	Verificação de sincronismo	Necessário	
11	Falha de disjuntor (Breaker Failure)	Necessário	
12	Grupos de ajustes	≥ 4 grupos	
13	Quantidade de entradas binárias configuráveis: - Transformador interligador: - Transformador de distribuição:	≥ 22	
		≥ 14	
14	Saídas configuráveis - Condução contínua - Fechamento e condução em 0,5 s - Interrupção com carga L/R=40ms - Quantidade de saídas configuráveis: - Transformador interligador: - Transformador de distribuição	≥ 5 ^A	
		≥ 30A	
		≥ 0,25A	
		≥ 28	
		≥ 20	

	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE SUBESTAÇÕES - DESE	Revisão: R10
	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Data: 14/12/09
	00000- 20302- 0110/11	Folha: 46/56

15	Oscilografia: tempo total de armazenamento de arquivos oscilográficos em memória não volátil	$\geq 4s$	
16	Registrador de eventos sequenciais : número de eventos armazenados em memória não volátil	≥ 500	
17	Sincronização com sinal IRIG-B não modulado	Necessário	
18	Portas seriais frontais (RS-232 ou alternativa)	≥ 1	
19	Portas seriais traseiras (RS-232)	≥ 1	
20	Portas ethernet 100BASE FX traseiras	≥ 2	
21	Protocolo da interface ethernet DNP 3.0 e IEC 61850	Necessário	
22	Conversores e conectores incluídos para atendimento aos requisitos das portas de comunicação	Informar	
23	Teclado e display frontal	Necessário	

	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE SUBESTAÇÕES - DESE	Revisão: R10
	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Data: 14/12/09
	00000- 20302- 0110/11	Folha: 47/56

7.5 RELÉ DE PROTEÇÃO DE BARRA

ITEM	CARACTERÍSTICA	ESPECIFICAÇÃO	
		COPEL	PROPOSTA
1	Fabricante	Informar	
2	Tipo/Modelo	Informar	
3	Relé de baixa impedância baseado no princípio diferencial percentual.	Necessário	
4	Seletivo por fase.	Necessário	
5	Tipo concentrado ou distribuído.	Informar	
6	Tecnologia digital (numérica).	Necessário	
7	Elemento de falha de disjuntor.	Necessário	
8	Zonas de proteção diferencial.	≥ 2	
9	Não utilização de TCs auxiliares.	Necessário	
10	Adaptação à configuração da subestação através de lógica interna.	Necessário	
11	Tempo de operação do elemento diferencial.	$\leq 20\text{ms}$	
12	Número de entradas binárias configuráveis	Informar	
13	Saídas configuráveis		
	- Condução contínua	$\geq 5\text{ A}$	
	- Fechamento e condução em 0,5 s	$\geq 30\text{ A}$	
	- Interrupção com carga L/R=40ms	$\geq 0,25\text{ A}$	
	- Quantidade	\geq informar	
14	Oscilografia: número de registros disponíveis com taxa de amostragem mínima de 16 amostras por ciclo e com duração mínima de 1s	≥ 4	
15	Registrador de eventos seqüenciais: número de eventos armazenados em memória não volátil	≥ 500	

	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE SUBESTAÇÕES - DESE	Revisão: R10
	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Data: 14/12/09
	00000- 20302- 0110/11	Folha: 48/56

16	Sincronização com demodulação IRIG B	Necessário	
17	Portas seriais frontais (RS-232 ou alternativa)	≥ 1	
18	Portas seriais traseiras (RS-232)	≥ 1	
19	Portas ethernet 100BASE FX traseiras	≥ 2	
20	Protocolo da interface ethernet DNP 3.0 e IEC 61850	Necessário	
21	Conversores e conectores incluídos para atendimento aos requisitos das portas de comunicação	Informar	
22	Teclado e display frontal	Necessário	

	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE SUBESTAÇÕES - DESE	Revisão: R10
	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Data: 14/12/09
	00000- 20302- 0110/11	Folha: 49/56

7.6 RELÉ DE PROTEÇÃO DE ALIMENTADORES

ITEM	CARACTERÍSTICA	ESPECIFICAÇÃO	
		COPEL	PROPOSTA
1	Fabricante	Informar	
2	Tipo/Modelo	Informar	
3	Frequência	60 Hz	
4	Tensão nominal de alimentação	125 Vcc	
5	Corrente nominal secundária	5 ^A	
6	Função 51 de fase	0,25 a 15A passos de 0,01A	
7	Função 51 de neutro	0,02 a 15A passos de 0,01A	
8	Função 51GS de neutro sensível (SEF/SEG)	0,005 a 1,500A passos de 0,005A	
9	Função 50 de fase ("high current trip"/"instantaneous trip")	0,25 a 100A passos de 0,01A	
10	Função 50 de neutro ("high current trip"/"instantaneous trip")	0,01 a 100A passos de 0,01A	
11	Função de bloqueio por altas correntes de fase ("high current lockout"/"instantaneous lockout")	0,25 a 100A passos de 0,01A	
12	Função de bloqueio por altas correntes de neutro ("high current lockout"/"instantaneous lockout")	0,01 a 100A passos de 0,01A	
13	Função de sobre e sub-frequência (81)	Necessário	
14	Função de sobretensão (59)	Necessário	
15	Função de subtensão (27)	Necessário	
16	Função de sobrecorrente direcional de fase e neutro (67)	Necessário	
17	Função de religamento (79)	Necessário	
18	Função de partida de carga fria ("cold load pick-up")	Necessário	
19	Localização de faltas	Necessário	
20	Teclado e display frontal	Necessário	
21	Grupo de ajustes	≥ 2 grupos	

	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE SUBESTAÇÕES - DESE	Revisão: R10
	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Data: 14/12/09
	00000- 20302- 0110/11	Folha: 50/56

22	Número máximo de operações para bloqueio	4	
23	Tempos de religamento ajustáveis e independentes	1 ^o - 0 a 15s 2 ^o e 3 ^o - 0 a 100s	
24	Seqüência de operação	o-t-co-t-co-t-co	
25	Contador de operação	Necessário	
26	Curvas tempo corrente para curtos-circuitos - Fase-fase - Fase-terra - Fase-terra	(anexo 2) DT-058 fl. 1/3 DT-058 fl. 2/3 DT-058 fl. 3/3	
27	Modificadores de curvas - Tempo mínimo de resposta - Fator multiplicador - Adicional de temp	Necessário Necessário Necessário	
28	Medição com indicação no relé de grandezas instantâneas e demanda e última ocorrência (corrente, tensão, potência ativa e reativa, freqüência, etc.)	Necessário	
29	Oscilografia	Necessário	
30	Monitoração de disjuntor - Falha de abertura - Falha de fechamento	Necessário Necessário	
31	Protocolo de interface ethernet DNP 3.0 e IEC 61850	Necessário	
32	Lógica programável	Necessário	
33	Entradas configuráveis	≥ 6	
34	Saídas configuráveis - Condução contínua - Fechamento e condução em 0,5 s - Interrupção com carga L/R=40ms - Quantidade	≥ 5A	
		≥ 30A	
		≥ 0,25A	
		≥ 4	
35	Portas seriais frontais RS 232	≥ 1	
36	Portas seriais traseiras RS 232	≥ 1	
37	Portas ethernet 100BASE FX traseiras	≥ 2	
38	Conversores e conectores incluídos para atendimento a requisitos de comunicação	Informar	

	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE SUBESTAÇÕES - DESE	Revisão: R10
	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Data: 14/12/09
	00000- 20302- 0110/11	Folha: 51/56

39	Sincronização com demodulação IRIG-B	Necessário	
40	Oscilografia: tempo total de armazenamento de arquivos oscilográficos em memória não volátil	$\geq 2s$	
41	Registrador de eventos seqüenciais: número de eventos armazenados em memória não volátil	≥ 500	
42	Sincronização com sinal IRIG-B não modulado	Necessário	
43	Conversores e conectores incluídos para atendimento aos requisitos das portas de comunicação	Informar	
44	Teclado e display frontal	Necessário	

	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE SUBESTAÇÕES - DESE	Revisão: R10
	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Data: 14/12/09
	00000- 20302- 0110/11	Folha: 52/56

8.0 ANEXOS

8.1 ANEXO 1

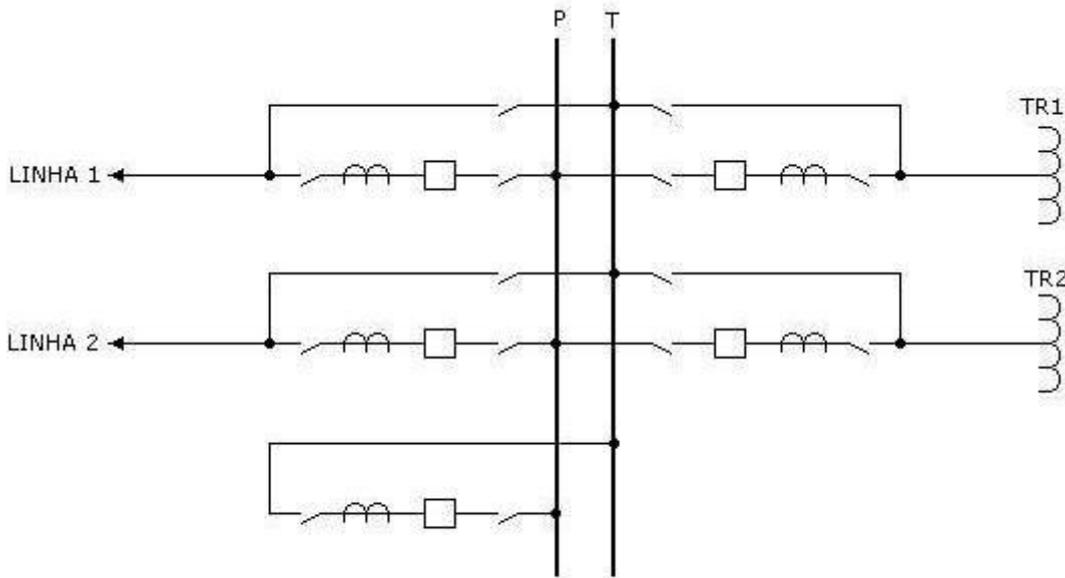


DIAGRAMA 1 - ARRANJO BP + BT COM TCs INTERNOS

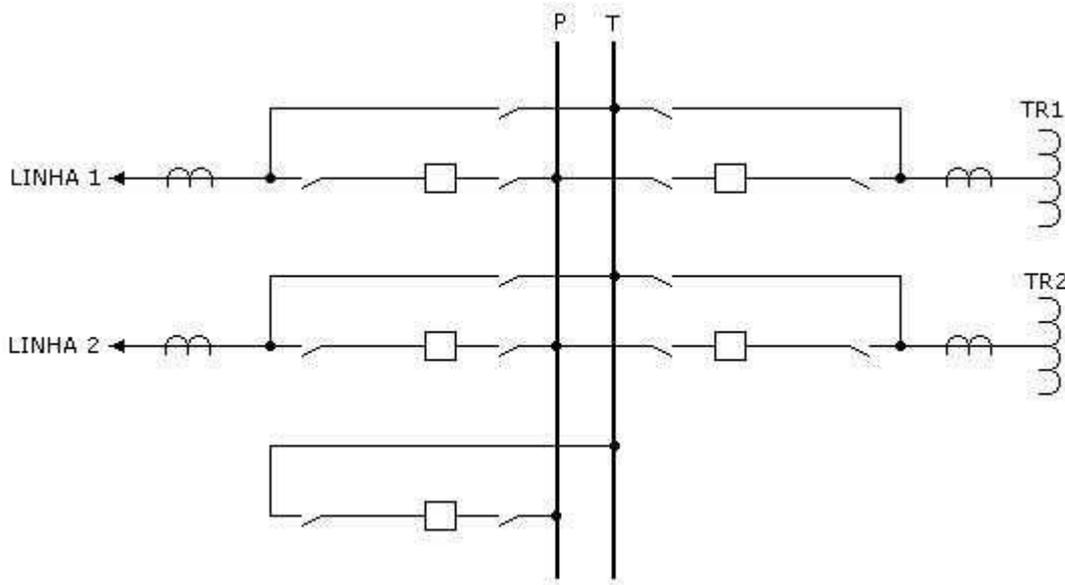


DIAGRAMA 2 - ARRANJO BP + BT COM TCs EXTERNOS

	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE SUBESTAÇÕES - DESE	Revisão: R10
	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Data: 14/12/09
	00000- 20302- 0110/11	Folha: 53/56

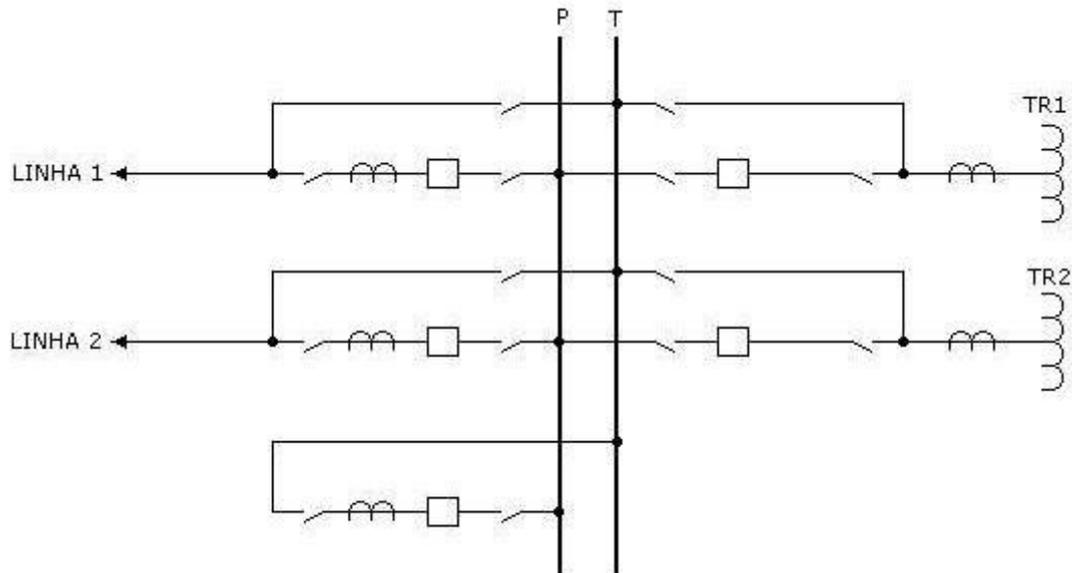


DIAGRAMA 3 - ARRANJO BP + BT COM TCs DE FORMA MISTA

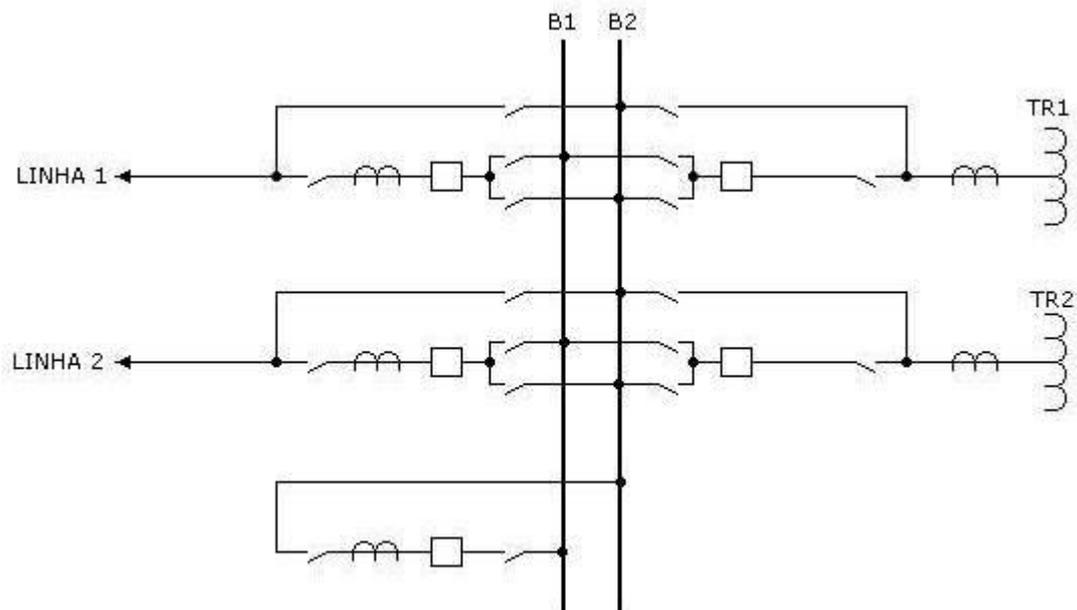


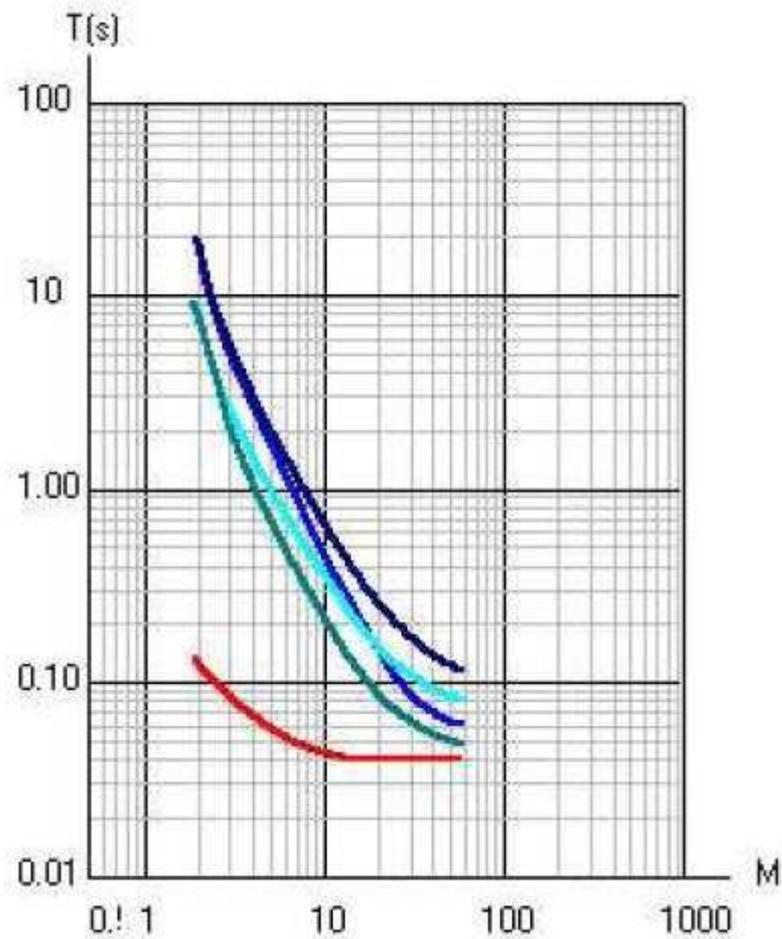
DIAGRAMA 4 - ARRANJO BARRA DUPLA A QUATRO CHAVES

	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE SUBESTAÇÕES - DESE	Revisão: R10
	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Data: 14/12/09
	00000- 20302- 0110/11	Folha: 54/56

8.2 ANEXO 2

8.2.1 Desenho técnico DT-058 - folha 1/3

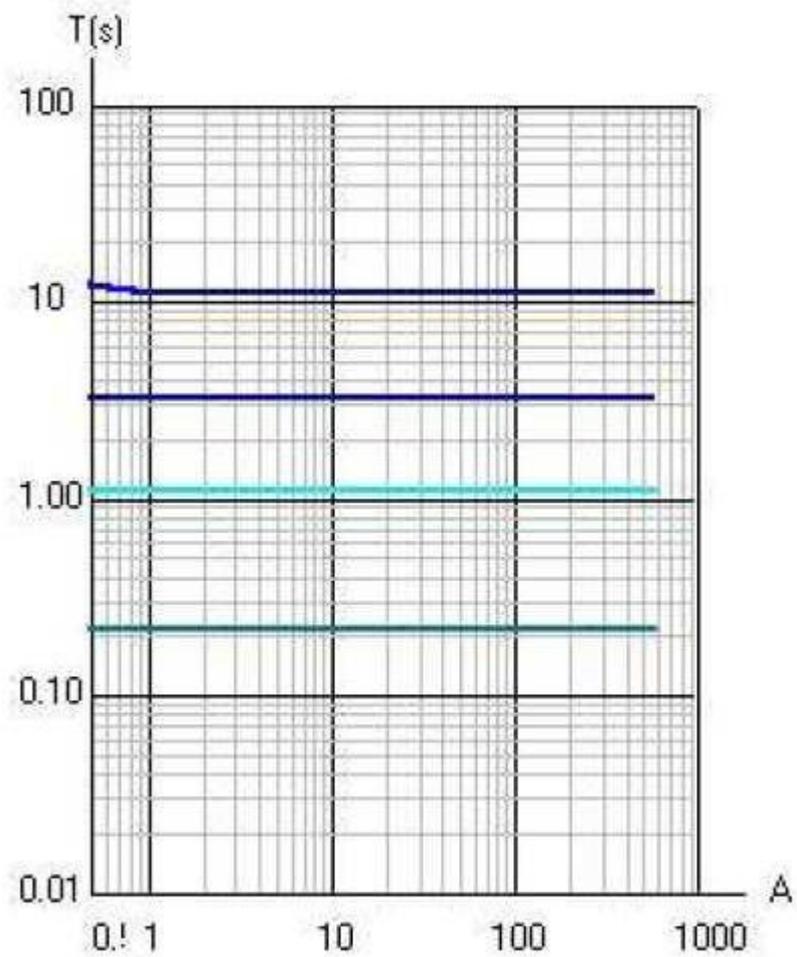
Curvas de disparo por defeito fase-fase - tempo muito inverso



	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE SUBESTAÇÕES - DESE	Revisão: R10
	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Data: 14/12/09
	00000- 20302- 0110/11	Folha: 55/56

8.2.2 Desenho técnico DT-058 - folha 2/3

Curvas de disparo por defeito fase-terra - tempo definido



	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE SUBESTAÇÕES - DESE	Revisão: R10
	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	Data: 14/12/09
	00000- 20302- 0110/11	Folha: 56/56

8.2.3 Desenho técnico DT-058 - folha 1/3

Curvas de disparo por defeito fase-terra - tempo inverso

