



**Universidade Federal de Campina Grande**

**Centro de Engenharia Elétrica e Informática**

Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

KARENINE DE ALMEIDA JAPIASSU ALVES

**ESTUDO DOS RELÉS NUMÉRICOS SIPROTEC**

Campina Grande – PB  
Novembro de 2012

KARENINE DE ALMEIDA JAPIASSU ALVES

## ESTUDO DOS RELÉS NUMÉRICOS SIPROTEC

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao  
Departamento de Engenharia Elétrica da  
Universidade Federal de Campina Grande  
como parte dos requisitos necessários para a  
obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.*

Área de Concentração: Proteção de Sistemas Elétricos

Orientador:

Professor Francisco das Chagas Fernandes Guerra, D.Sc

Campina Grande – PB

Novembro de 2012

KARENINE DE ALMEIDA JAPIASSU ALVES

## ESTUDO DOS RELÉS NUMÉRICOS SIPROTEC

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Proteção de Sistemas Elétricos

Aprovado em     /     /

**Professor Avaliador**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Avaliador

**Professor Francisco das Chagas Fernandes Guerra, D.Sc**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho aos meus pais e a todos os meus familiares que me ajudaram tanto nessa caminhada. Às minhas amadas Katrina, Penélope e Bia, que sempre se fazem presente, proporcionando momentos tão felizes.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que me proporcionou o dom da vida e a saúde para que fosse possível concluir este trabalho.

Agradeço aos meus pais, Antônio e Eliônea, pelo grande desafio que foi guiar e educar a mim e às minhas irmãs.

Agradeço também ao meu tio José que me ajudou bastante com todo o seu conhecimento nessa fase final do curso.

Ao meu orientador, professor Chagas, por toda sua atenção e conhecimento.

Não poderia deixar de citar os meus grandes companheiros de estudo e sofrimento, Daniel Ferreira e Roana d'Ávila, e o meu maior incentivo, meu namorado Wesley Galdino, sem eles definitivamente não teria concluído este curso.

E às minhas companheiras amadas e dedicadas, Katrina, Penélope e Bia, por seu amor incondicional e pela força que conseguem transmitir apenas com um olhar.

*"A corrida não é sempre para o mais rápido ... mas para aquele que continua  
correndo."  
(Autor Desconhecido)*

# SUMÁRIO

<b>Resumo</b> .....	ix
ABSTRACT .....	x
<b>Lista de Figuras</b> .....	xi
<b>Lista de Tabelas</b> .....	xii
1 INTRODUÇÃO .....	1
2 RELÉ.....	2
2.1 DEFINIÇÃO .....	2
2.2 Classificação dos relés .....	3
3 Relés Numéricos .....	5
3.1 Vantagens dos relés numéricos .....	6
3.2 Desvantagens dos relés numéricos .....	7
3.3 Funcionalidades dos Relés Numéricos .....	8
4 Relés SIPROTEC .....	9
4.1 Famílias SIPROTEC .....	9
4.1.1 SIPROTEC 4 .....	9
4.1.2 SIPROTEC Compact .....	11
4.1.3 SIPROTEC 5 .....	12
4.2 Configuração dos Relés SIPROTEC .....	13
5 PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO .....	15
5.1 IEC 61850: .....	15
6 Parametrização .....	16
6.1 Estudo do software DIGSI .....	17
6.2 Exemplo de parametrização no DIGSI .....	25
7 Exemplo de um cálculo de ajuste de um relé SIPROTEC .....	28
7.1 Proteção diferencial de gerador – 87G .....	29
7.2 Características do gerador e transformador elevador.....	32
7.3 Transformadores de potencial e transformadores de corrente .....	34
7.4 PARAMETRIZAÇÃO DO RELÉ 7UM621 .....	34

7.4.1	PARAMETRIZAÇÃO DAS FUNÇÕES – DEVICE CONFIGURATION .....	34
7.4.2	PARAMETRIZAÇÃO DOS DADOS DO SISTEMA - POWER SYSTEM DATA 1 .....	35
7.4.3	PARAMETRIZAÇÃO DA PROTEÇÃO DIFERENCIAL DO GERADOR - 87G .....	36
7.4.4	Caso real: ajustes .....	43
7.4.5	CURVA CARACTERÍSTICA: .....	45
7.4.6	Verificação do comportamento da proteção diferencial para curtos externos .....	49
8	CONCLUSÃO .....	52
9	BIBLIOGRAFIA.....	53
10	ANEXOS .....	55

## RESUMO

Este trabalho de conclusão de curso contempla o estudo da proteção das subestações, fazendo uso do relé numérico como parte fundamental do seu funcionamento, mais especificamente dos relés SIPROTEC, como fonte de estudo e compreensão das suas características, desde a sua parametrização. É utilizado o método teórico como base no funcionamento dos relés numéricos para um melhor entendimento de suas funcionalidades, expondo de maneira simples e abrangente as características dos relés da Siemens, para uma familiarização e implantação deles em diversos usos. Ainda discute-se um exemplo prático da modernização da subestação da CHESF, a de Paulo Afonso III, como guia prático da importância desses relés, como ilustrado de maneira direta na proteção diferencial do gerador (87G).

**Palavras-chave:** Proteção de sistemas elétricos. operação. relé. DIGSI. IEC 61850. parametrização. SIPROTEC.

## ABSTRACT

This conclusion of course work includes the study of substation protection, making use of the numerical relay as a fundamental part of its operation, more specifically of SIPROTEC relays, as a source of study and understanding of its characteristics since its parameterization. Method is used as a theoretical basis for the functioning of numerical relays to a better understanding of their functionality, exposing a simple and comprehensive features of relays from Siemens for a familiarization and deploying them in various uses. Still discusses a practical example of the modernization of the substation CHESF, the Paulo Afonso III, as a practical guide to the importance of these relays, as illustrated in a straightforward manner in the generator differential protection (87G).

**Keywords:** Protection of electrical systems. operation. relay. DIGSI. IEC 61850. parameterization. SIPROTEC.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de ligação do relé com TP, em paralelo com a linha, e com o TC, em série com a linha.....	6
Figura 2. Esquemático de um relé numérico.....	8
Figura 3. Conexão direta com as chaves.....	9
Figura 4. Proteção diferencial de barra: 7SS52x.....	11
Figura 5. proteção de sobrecorrente:7SJ80.....	12
Figura 6. controlador de bay7MD86.....	13
Figura 7. Interface do equipamento com o usuário.....	14
Figura 8. Exemplo de hierarquia de projeto de subestação no DIGSI.....	18
Figura 9. Definição do MLFB no DIGSI.....	19
Figura 10. Interface do CFC.....	20
Figura 11. Matriz de configuração de pontos digitais.....	20
Figura 12. Exemplo de matriz de configuração no DIGSI.....	21
Figura 13. Versatilidade do Display Editor.....	22
Figura 14. Interface do Display Editor.....	22
Figura 15. Exemplo de tela de parametrização off-line de relé no DIGSI.....	23
Figura 16. Interface do Hardware Test.....	24
Figura 17. Exemplo de gráfico de fluxo CFC no DIGSI.....	25
Figura 18. Tela do novo projeto no DIGSI.....	26
Figura 19. Tela DeviceCatalog no DIGSI.....	26
Figura 20. MLFB do relé.....	27
Figura 21. Habitando as funções de execução do relé.....	27
Figura 22. Configurando os valores no TP, TC, etc.....	28
Figura 23. Selecionando as funções para inserir os parâmetros.....	28
Figura 24. Falta monofásica.....	29
Figura 25. Polaridades instantâneas das correntes primárias e secundárias.....	30
Figura 26. Fluxo das correntes para falta interna à zona protegida.....	30
Figura 27. Conexões para relé Diferencial Percentual.....	31
Figura 28. Relé digital com característica de inclinação variável.....	32
Figura 29. Habilitando as funções do relé.....	35
Figura 30. Parametrização dos dados do sistema.....	36
Figura 31. Seleção do relé 7UM621 no DIGSI.....	37
Figura 32. Selecionando a opção de configuração.....	37
Figura 33. Configurações do relé.....	38
Figura 34. Definições funcionais.....	38
Figura 35. Definições funcionais.....	39
Figura 36. Sistema de potência.....	40
Figura 37. Dados do gerador.....	40
Figura 38. Dados dos TCs.....	41
Figura 39. Dados dos TPs.....	41
Figura 40. Dados do disjuntor.....	42
Figura 41. Configurações do grupo.....	42
Figura 42. Definições de Correntes.....	43
Figura 43. Ajustes da proteção diferencial.....	47
Figura 44. Ajustes do I-DIFF.....	48
Figura 45. Ajustes das características.....	48
Figura 46. Curto-circuito trifásico.....	50
Figura 47. Curva característica de atuação.....	4651

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Gerador .....	32
Tabela 2. Transformador elevador.....	32
Tabela 3. Ajustes .....	46

# 1 INTRODUÇÃO

A proteção dos sistemas elétricos de potência tem um papel muito importante no funcionamento dos sistemas de energia elétrica, uma vez que as empresas concessionárias se defrontam com as perturbações e anomalias no funcionamento, principalmente os curtos-circuitos. Tais ocorrências ocasionam o surgimento de elevadas correntes e pronunciadas quedas de tensão, o que pode causar mau funcionamento e abreviação da vida útil, ou mesmo dano imediato nos circuitos e equipamentos envolvidos. Assim, é notória a importância de uma proteção adequada para os equipamentos envolvidos em uma falta.

Segundo Caminha (1977), a principal função de um sistema de proteção é a de causar rápida retirada de operação de qualquer elemento de um sistema, quando ele sofre um curto-circuito, ou quando opera em condições anormais que possa causar dano ou interferir na operação do sistema. Além disso, outra atribuição do sistema de proteção é indicar a localização e o tipo da falta, possibilitando a análise das características da proteção adotada.

Os relés de proteção constituem a parte mais importante de um esquema de proteção, pois eles são responsáveis pelo monitoramento das grandezas elétricas e são os dispositivos que determinam a operação dos disjuntores em relação à abertura ou fechamento de seus contatos, para desligar ou ligar determinado circuito ou parte dele.

A implantação de relés numéricos ou relés digitais, em subestações de energia elétrica, facilita o desenvolvimento de ferramentas computacionais que permitem aumentar a confiabilidade e eficiência na proteção e controle dos equipamentos do sistema de potência.

Este trabalho consiste no estudo dos relés numéricos, com ênfase no modelo da SIEMENS, o SIPROTEC.

## 2 RELÉ

### 2.1 DEFINIÇÃO

Relé é um dispositivo elétrico que identifica a anormalidade no sistema e em seguida comanda a retirada do elemento defeituoso, fazendo com que um equipamento elétrico seja operado quando há variações nas condições deste equipamento ou do circuito em que ele está ligado, ou em outro equipamento ou circuito associado.

Sua forma de operação baseia-se na comparação de valores pré-definidos com os valores obtidos em tempo real de um equipamento ou de um sistema, até que haja uma comparação fora dos parâmetros permitidos, onde este sinalizará, acionará o alarme ou o disjuntor, dependendo sempre da programação ou da característica após a percepção de uma anomalia.

De acordo com Kindermann (2005), 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 sistema, e promover a abertura de disjuntores de modo a isolar a falha. Assim, contabilizando suas finalidades:

- Medir as grandezas atuantes;
- Comparar os valores medidos com os valores pré-ajustados;
- Operar (ou não) em função do resultado dessa comparação;
- Acionar a operação de disjuntores ou de relés auxiliares;
- Sinalizar sua atuação via indicador de operação visual e/ou sonoro.

O relé consiste basicamente de um elemento de operação (bobina) e um jogo de contatos. O elemento de operação recebe a informação de corrente e/ou tensão através dos transformadores de instrumentos, transformadores de potencial (TPs) e transformadores de corrente (TCs), compara a grandeza medida com um ajuste pré-estabelecido e transforma o resultado num movimento dos contatos se necessário.

## 2.2 CLASSIFICAÇÃO DOS RELÉS

Os relés possuem características específicas de acordo com a sua finalidade. Assim, existem vários tipos:

a) Quanto às grandezas físicas de atuação:

- Elétricas.
- Mecânicas.
- Térmicas.
- Óticas.
- Outras.

b) Quanto à natureza da grandeza a que respondem:

- Corrente.
- Tensão.
- Potência.
- Frequência.
- Pressão.
- Temperatura.
- Outras.

c) Quanto ao tipo construtivo:

- Eletromecânico.
- Mecânico.
- Eletrônicos.
- Estáticos.
- Digitais.
- Outros.

d) Quanto à função:

- Sobrecorrente.
- Subcorrente.

- Sobretensão.
- Subtensão.
- Distância.
- Outros.

e) Quanto à forma de conexão do elemento sensor:

- Direto do circuito primário.
- Através de redutores de medida.

f) Quanto ao tipo de fonte para a atuação do elemento de controle:

- Corrente alternada.
- Corrente contínua.

g) Quanto ao grau de importância

- Principal.
- Intermediário.

h) Quanto ao posicionamento dos contatos:

- Normalmente aberto.
- Normalmente fechado.

i) Quanto à aplicação:

- Máquinas rotativas.
- Máquinas estáticas.
- Linhas aéreas.
- Linhas subterrâneas.
- Equipamentos em geral.

j) Quanto à temporização:

- Instantâneo.
- Temporizado.

### 3 RELÉS NUMÉRICOS

De acordo com a construção, os relés estão divididos em eletromecânicos e estáticos. Os relés estáticos, são assim conhecidos porque não possuem partes móveis, são constituídos por dispositivos eletrônicos.

A proteção digital de sistemas elétricos de potência surgiu nas décadas de 60 e 70, quando vários pesquisadores desenvolveram diferentes algoritmos para relés de distância para proteção de linhas de transmissão. A técnica de proteção digital está atualmente consolidada, mas continua sendo uma área de investigação ativa, tendo em vista o desenvolvimento dos microprocessadores.

Os recentes relés estáticos são microprocessadores dedicados à realização das funções de proteção, medição e controle. São os relés digitais ou numéricos. Trata-se então de relés eletrônicos gerenciados por microprocessadores. São específicos a este fim, onde os sinais de entrada das grandezas e parâmetros digitados são controlados por um software que processa a lógica da proteção através de um algoritmo.

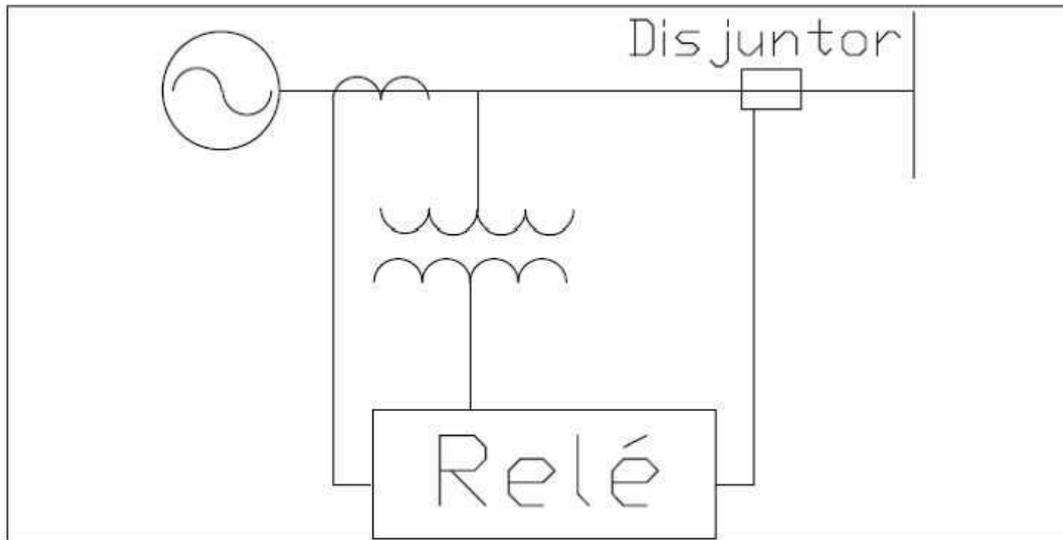
O relé digital pode simular um relé ou todos os relés existentes num só equipamento, produzindo ainda outras funções, tais como, medições de suas grandezas de entradas e/ou associadas e realizando outras facilidades, sendo por isto designado de relé de multifunção. Desta forma, além das funções de proteção, o relé digital pode ser programado para desempenhar outras tarefas, como, por exemplo, medir correntes e tensões dos circuitos.

Outra importante função deste tipo de relé é o auto-diagnóstico ou auto-teste. Esta função faz com que o relé realize uma supervisão contínua de seu hardware e software, detectando anormalidades que venham a surgir e que possam ser reparadas antes que o relé opere incorretamente ou deixe de fazê-lo na ocasião certa.

Nessa nova geração de equipamentos, diferentemente das antecessoras, a decisão de abertura do disjuntor (trip) é definida pelo resultado de operações matemáticas, o que possibilita a integração de várias funções em um único equipamento.

Para se conectarem à rede elétrica, é necessária a presença de TCs e TPs ligados à rede primária para que abaxem os níveis de corrente e tensão que iriam chegar aos relés, uma vez

que estes são equipamentos que fazem uso de microprocessadores e dispositivos eletrônicos, como mostrado na Figura 1.



**Figura 1. Esquema de ligação do relé com TP, em derivação com a linha, e com o TC, em série com a linha.**

### 3.1 VANTAGENS DOS RELÉS NUMÉRICOS

A tecnologia digital apresenta muitas vantagens em relação à convencional. Além da realização de múltiplas funções, os relés microprocessados trazem algumas vantagens adicionais como:

- Detecção e diagnóstico de faltas;
- Melhor exploração do potencial das funções de proteção;
- Permite o desenvolvimento de novas funções e métodos de proteção;
- Compartilham dados através de redes de comunicação;
- Proporciona melhor interface homem x máquina;
- Redução das interferências do meio ambiente nas condições operativas dos equipamentos;
- Adaptação aos requisitos funcionais operativos;
- Transferem e recebem dados.

Outras vantagens cabem ser citadas aqui, como a auto-verificação (auto-teste como dito anteriormente) e confiabilidade, onde o relé computadorizado pode ser programado para

monitorar continuamente os subsistemas de hardware e software, de modo a detectar possíveis falhas na operação e o consequente disparo de alertas, possibilitando sua retirada sem o comprometimento da proteção por este fornecida.

Há também a integração de sistemas e ambiente digital, onde os sistemas digitais possibilitam uma maior integração entre seus componentes, o que permite uma maior flexibilidade e velocidade na obtenção das informações registradas pelos equipamentos, além da possibilidade de troca de informações entre os dispositivos para a melhor tomada de decisão.

Existe também a flexibilidade funcional e adaptabilidade, que talvez seja uma das principais características dos relés numéricos. Trata-se da capacidade de alteração dos seus parâmetros de configuração de acordo com a topologia atual da rede, ou seja, se o relé está programado para uma determinada característica de operação do sistema elétrico, e esta muda, o relé tem a capacidade de identificar o tipo de mudança realizada e adotar parâmetros que melhor se adaptem àquela nova situação.

E, por último, as relações de custo-benefício, que com o avanço da microeletrônica e a disseminação desta na aplicação de relés de proteção, ocasionou uma redução substancial nos custos dos circuitos digitais, embora as despesas associadas com os *softwares* tenham aumentado. Todavia, é relevante observar que os relés numéricos executam diversas funções em uma mesma plataforma, o que diminui a razão do custo/benefício, diferentemente dos tradicionais relés eletromecânicos.

### 3.2 DESVANTAGENS DOS RELÉS NUMÉRICOS

Apesar das inúmeras vantagens apresentadas anteriormente, ainda há algumas falhas nesse tipo de relés:

- Vida útil reduzida (10 a 15 anos), enquanto os convencionais possuem vida longa (acima de 30 anos);
- O *hardware* dos relés digitais avança rapidamente, tornando-os obsoletos;
- Interferências eletromagnéticas;
- Predomina ainda a linguagem proprietária, o que limita a troca de programas entre diferentes relés.

### 3.3 FUNCIONALIDADES DOS RELÉS NUMÉRICOS

Os relés microprocessados ou numéricos, assim como os ditos convencionais (eletromecânicos), usam correntes e tensões provenientes do SEP (Sistema Elétrico de Potência) como sinais de entrada. Contudo, estes necessitam da representação digital dos mesmos, ou seja, que os sinais analógicos sejam amostrados e condicionados para o início do processamento do relé.

Para a proteção do sistema elétrico é necessário amostrar os sinais de corrente e tensão das três fases, além da corrente de neutro. Após estes sinais serem filtrados e amostrados, passam por um multiplexador de alta velocidade que transforma os sete canais de dados em apenas um canal de saída. Então o sinal passa por um conversor analógico/ digital, e este segue para o microprocessador do relé onde será feita toda parte de processar a informação e tomada de decisão. A Figura 2 ilustra um diagrama funcional simplificado do relé numérico, incluindo as principais etapas do fluxo da informação obtida dos transdutores, desde os filtros passa-baixa na entrada.

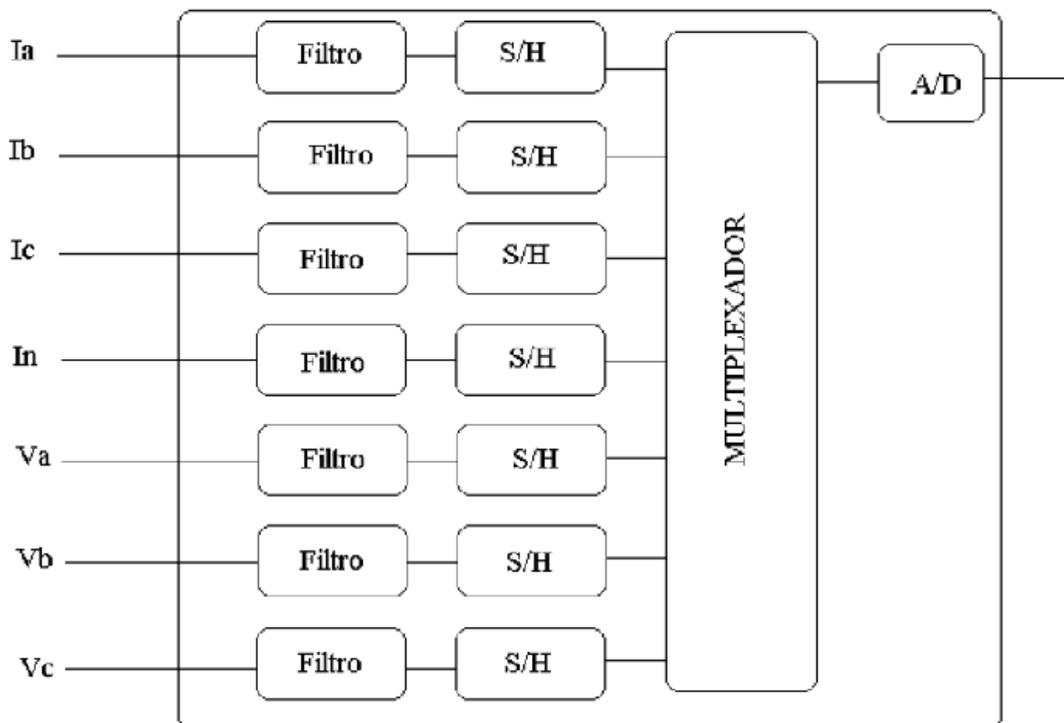


Figura 2. Esquemático de um relé numérico.

## 4 RELÉS SIPROTEC

SIPROTEC é uma linha de relés de proteção e Unidade de Controle desenvolvida pela Siemens. Com uma vasta linha de produtos, existem soluções integradas para proteção e controle em linhas de transmissão, motores e geradores. Estes relés são altamente programáveis, eficientes e confiáveis, capazes de atender toda a cadeia de energia, desde a geração, transmissão, até a distribuição, incluindo também os segmentos industriais.

A grande característica dos produtos da Siemens é que, apesar de haver uma enorme gama de relés para os mais diversos usos, apenas um *software* é utilizado para configurar (parametrizar) todos os dispositivos, o DIGSI.

### 4.1 FAMÍLIAS SIPROTEC

#### 4.1.1 SIPROTEC 4

Oferecem uma solução integrada, com possibilidades de comunicação flexíveis para uma ampla proteção e funcionalidade de controle para a proteção de linhas e geradores.

Qualidades desses dispositivos:

- Processamento abrangente de valores medidos;
- Conexão direta com as chaves como mostrado na Figura 3;

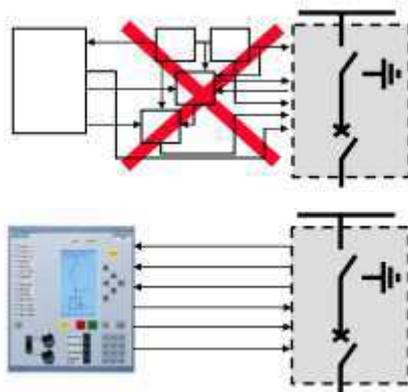


Figura 3. Conexão direta com as chaves.

- As interfaces de comunicação são flexíveis.

Observam-se as seguintes proteções:

- Proteção diferencial de barra;
- Proteção de distância;
- Gerador e motor de proteção;
- Proteção diferencial de linha;
- Sobrecorrente;
- Controladores de *bay*.

**Exemplos:** 6MD6, 7SJ6X, 7UT6, 7SA6, 7SD5, 7SD6, 7UM6, 7SS5



**Figura 4. Proteção diferencial de barra: 7SS52x**

#### 4.1.2 SIPROTEC COMPACT

Perfeitamente adequado para a proteção em sistemas de distribuição e da indústria, com o mínimo de espaço exigido pelos dispositivos, além de fornecer uma gama completa de funções numa caixa compacta e que poupa espaço. Observam-se as seguintes proteções:

- Proteção de sobrecorrente;
- Proteção do motor;
- Tensão e proteção de frequência;
- Proteção diferencial de linha.

**Exemplos:** 7SJ80, 7SJ81, 7SK80, 7SK81, 7RW80, 7SD80



**Figura 5. Proteção de sobrecorrente:7SJ80**

#### 4.1.3 SIPROTEC 5

Família mais recente dos relés da SIEMENS. Faz parte da nova geração de hardware modular, flexíveis e inteligentes dispositivos de campos digitais, o que o faz ser o novo marco para a automação, proteção e monitoramento de redes de transmissão.

Além disso, existe um alto desempenho do software DIGSI. São perfeitos para proteção, controle, monitoramento e aplicações de medição em sistemas de energia elétrica. Existem as seguintes proteções:

- Controladores de *bay*;
- Proteção diferencial de linha.

**Exemplos:** 6MD8, 7SA8, 7SJ8, 7SD8, 7SL8, 7VK8.



**Figura 6. Controlador de bay 7MD86**

#### 4.2 CONFIGURAÇÃO DOS RELÉS SIPROTEC

Na Figura 7, é mostrada a interface da linha SIPROTEC com o usuário. A maioria dos equipamentos possui a mesma descrição física. As principais diferenças são os tamanhos (podem ser 19'', 1/2 19'' e 1/3 19''), o *display* de LCD de controle e supervisão e algumas teclas de funções e atalhos.

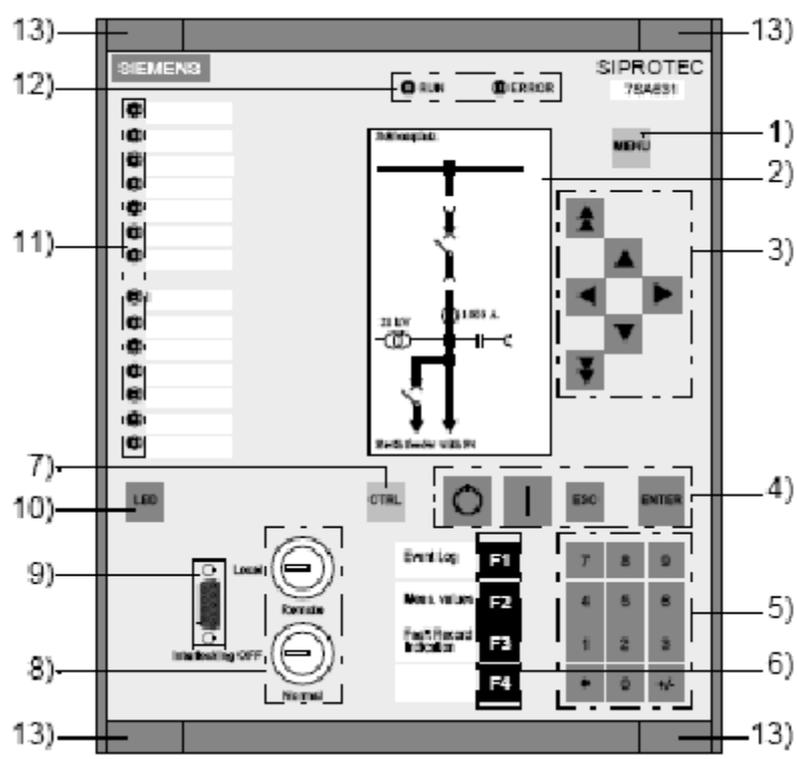


Figura 7. Interface do equipamento com o usuário

- 1) Tecla para abrir o menu principal;
- 2) Display LCD – a *display* pode conter informações como também pode ser utilizado para realizar operações, ou seja, ele pode estar no estado *Default* ou no estado de controle. Geralmente o *display* mostra a posição de chaves, disjuntores e outros elementos do processo como medições, informações de proteção, entre outros;
- 3) Teclas de navegação;
- 4) Teclas para confirmação, retorno e atalhos para comandos;
- 5) Teclas numéricas;
- 6) Teclas de funções – fornece para o usuário, de forma rápida e simples, ações pré-configuradas de acordo com a necessidade do cliente;
- 7) Entra no modo de *display* de controle;
- 8) Chaves que fornecem acesso seguro para funções de local/remoto e intertravamento de operações, eliminando o risco de pessoas não autorizadas executarem tarefas indevidas;
- 9) Porta serial para comunicação;
- 10) Tecla para teste dos Leds;
- 11) Leds configuráveis pelo usuário para visualização de informações fornecidas pelo relé;

- 12) Indicador de estado de operação;
- 13) Tampa para os parafusos que prendem o painel dianteiro.

## **5 PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO**

Estes protocolos são essenciais para o funcionamento do sistema, são por eles que todos os sistemas digitais são integrados, de relés a computadores de supervisão. Eles foram desenvolvidos com o pensamento específico em sistemas elétricos e possuem características necessárias neste meio, como a robustez e o baixo tempo de resposta.

Em relação aos relés, existe a possibilidade de comunicação por diferentes protocolos. Essa característica se torna um obstáculo, devido ao fato de haver diferentes equipamentos, com protocolos distintos, que necessitem se comunicar entre si, fazendo necessárias as conversões entre os protocolos em questão. Assim, aumenta os custos devido à impossibilidade de comunicação direta entre os equipamentos.

Com esse quadro, existe a necessidade do estabelecimento de um único padrão para as redes de comunicação e sistemas em subestações: IEC-61850. Assim, surge uma integração entre os mais variados equipamentos e ambientes digitais, o que tornou possível a checagem do status de operação do equipamento e a localização da falta remotamente.

### **5.1 IEC 61850**

Esse padrão foi criado com a finalidade de possibilitar a troca de informações entre equipamentos com fabricação diferente, garantindo a adaptação a novas tecnologias de comunicação.

O IEC61850 é um protocolo de comunicação que visa à padronização da comunicação utilizada pelos dispositivos em uma subestação. Até pouco tempo, cada fabricante utilizava o seu próprio protocolo de comunicação, o que tornava inviável o uso de relés de fabricantes diferentes em uma mesma subestação. Além disso, era necessária a instalação de conversores ou adaptadores para que a Unidade de Controle Central se comunicasse com os novos dispositivos instalados. Além de gerar um custo adicional, aumentava o risco de falha do sistema, pois inseria mais equipamentos suscetíveis de falha. Outro problema era a

manutenção e operação do sistema com vários protocolos de comunicação, pois tornava difícil treinar a equipe de trabalho nos diversos protocolos. Logo, faz-se necessária a contratação de equipe especializada do fabricante para realizar a manutenção e/ou parametrização dos dispositivos.

A norma IEC 61850 foi definida em cooperação com fabricantes e usuários para criar um uniforme, com base à prova de futuro para a proteção, comunicação e controle de subestações. Existem alguns exemplos de aplicação e subestações implementadas com o novo padrão de comunicação IEC 61850. Assim, já tem um histórico excelente como o padrão de comunicação estabelecido no mercado mundial para a automação de subestações.

A quantidade de conexões elétricas é menor com o uso desse protocolo. A composição de esquemas de controle, proteção e supervisão tornam-se mais confiáveis, devido ao mecanismo de repetição de mensagens flexíveis e refinados, também à capacidade de comunicação direta entre IEDs. O estabelecimento de um protocolo único para o sistema de automação de subestações implica em uniformidade para a integração de equipamentos, podendo pressupor menores custos para a ampliação futura da instalação. Como implicação direta dessas características, pode-se dizer que os custos de manutenção e comissionamento serão diminuídos em subestações digitalizadas sobre o padrão IEC 61850.

Assim, o objetivo da norma IEC 61850 é possibilitar a comunicação entre IEDs (Dispositivo Eletrônico Inteligente) com alta velocidade e confiabilidade elevada, possibilitando a substituição dos cabos de controle por redes de comunicação e reduzindo o custo total da instalação [10].

## **6      PARAMETRIZAÇÃO**

A parametrização de relés tem o objetivo de inserir adequadamente os ajustes de proteção definidos com base no estudo de seletividade e definição dos parâmetros dos relés.

A inserção desses parâmetros de proteção pode ser realizada de duas formas: via frontal do relé, inserindo manualmente ou através de *softwares* específicos desenvolvidos pelos seus respectivos fabricantes, neste caso o DIGSI, com cabos específicos também fornecidos pelos fabricantes.

## 6.1 ESTUDO DO SOFTWARE DIGSI

Originalmente lançado em ambiente MS-DOS, o DIGSI a partir de sua terceira versão foi evoluído para se tornar uma ferramenta fácil de usar e amigável ao administrador para configurar, comissionar e operar todos os relés de proteção da linha SIPROTEC, de qualquer versão. Ele tem como plataforma o sistema operacional MS Windows e pode ser usado tanto em PCs de mesa como em notebooks para configurar tais relés via interface de comunicação adequada (realizando o download da configuração previamente feita no DIGSI). A interface gráfica é bastante intuitiva e permite rápido aprendizado no manuseio do programa, para isto basta um computador conectado ao relé através de qualquer meio disponível de acordo com o modelo do produto.

Este *software* possui uma estrutura modular, i.e., é formado por vários outros ‘programas’ que podem ser adicionados separadamente ao programa principal, DIGSI Manager, formando um esqueleto de ferramentas para organização dos projetos e parametrização das entradas e saídas, digitais e analógicas, do relé de proteção, bem como para configuração da lógica interna do equipamento, do modo como essas entradas e saídas serão tratadas internamente.

O DIGSI possui um projeto modular e com sua versão mais básica já é possível:

- Configurar parâmetros e roteamentos;
- Configurar pontos que serão supervisionados e controlados pela Interface Homem-máquina;
- Comissionamento, controle e teste.

Na versão completa, o sistema ainda possibilita:

- Editor do *display* - Para criar e modificar os diagramas padrão de linha exibidos no equipamento;
- SIGRA - para visualizar e avaliar registros de falhas;
- DIGSI Remote - para controle remoto dos relés via modem;
- CFC (*Continuous Function Chart*) - Para criar novas funcionalidades ou mudar as já existentes;

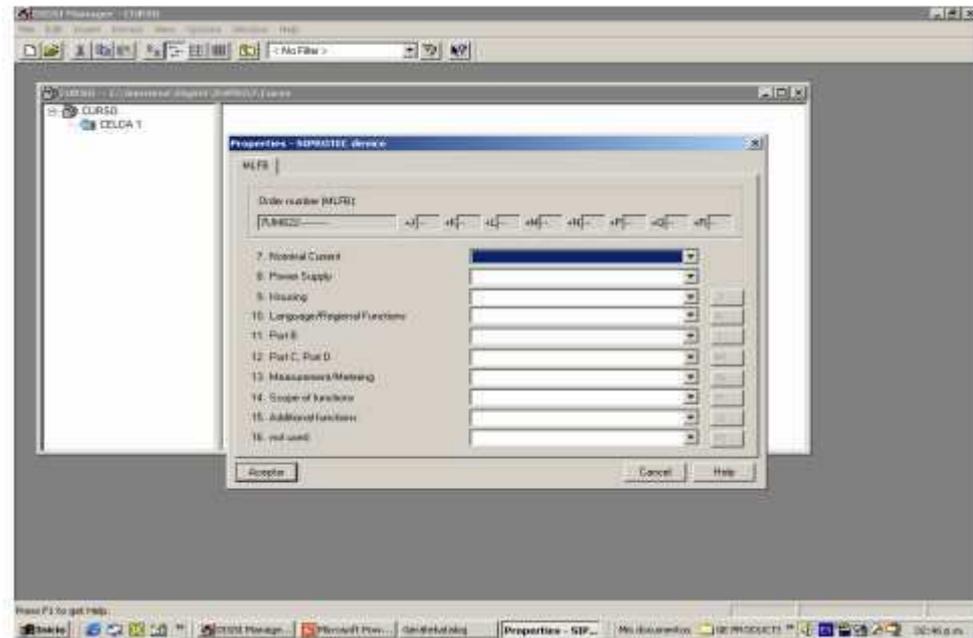
- IEC 61850 *System Configurator* - para configurar e parametrizar estações baseadas no IEC 61850. Esta ferramenta permite gerenciar sub-redes, redes de comunicação e os endereços IP.

Ele é estruturado por projetos, e cada projeto é estruturado em pastas, seguindo a filosofia do Windows Explorer. Então, podem-se criar quantos níveis de hierarquia se desejar em cada projeto. Por exemplo, pode-se criar hierarquia geográfica (e.g., Campina Grande/Bodocongó), contendo pastas indicando níveis de tensão dentro de uma subestação de energia elétrica (e.g., 69 kV , 230 kV ), em seguida, em nível mais baixo, pastas representando painéis com relés, divididos em funções. Finalmente, dentro desta última pasta/hierarquia, o IED (*Intelligent Electronic Device*) ou relé propriamente dito. A Figura 8 mostra um exemplo de projeto e sua hierarquia de pastas do lado esquerdo, no lado direito estão mostrados os equipamentos pertencentes a determinado painel.



**Figura 8.** Exemplo de hierarquia de projeto de subestação no DIGSI.

Antes da parametrização propriamente dita do dispositivo, é necessário que as características do mesmo sejam especificadas. Ao adicionar-se determinado dispositivo em umas das pastas, primeiro deve-se configurar o número de ordem, MLFB, como aparece na caixa de diálogo das propriedades do dispositivo, mostrado na Figura 9. Este número de ordem indica toda a especificação do relé: em que regime de corrente é alimentado, se pode comunicar via protocolo IEC61850, entre outras características.



**Figura 9. Definição do MLFB no DIGSI.**

Durante a programação podem ser criadas funções lógicas, modificar funções existentes ou intertravamentos, criar grupos de indicação para um processo específico, criar mensagens de alarmes, entre outras. Isso é feito no CFC (*Continuous Function Chart*) (Gráfico de Funções Contínuas), que é uma ferramenta muito poderosa do DIGSI. Geralmente são criados vários CFCs diferentes para atender às lógicas solicitadas pelo projeto. Existem CFCs para parte de proteção, intertravamentos, comandos de equipamentos, entre outros. A Figura10 mostra uma pequena lógica em diagrama de blocos. É mostrada uma lista de blocos que são disponibilizados para a construção das lógicas. As entradas e saídas dos blocos são ligadas a pontos que são previamente configurados em uma matriz onde são acrescentados novos e marcados os já existentes. Esses pontos são definidos no projeto funcional. A Figura 11 mostra a matriz de configuração.



Na outra Matriz de Configuração, exemplo mostrado na Figura 12, as pinagens de entradas e saídas são atribuídas a diferentes pontos digitais de supervisão ou controle. Também podem ser configurados quais pontos alimentarão ou serão alimentados por LEDs e *Displays* destes relés. Podem ser criados pontos inexistentes previamente na lógica interna do relé. Estes pontos podem ser enviados via protocolo de comunicação IEC61850 (marcar a opção *System Interface* na Matriz de Configuração) para um *software* SCADA para controle e supervisão. Outros pontos podem ser configurados para uso em lógica de usuário definida nos gráficos do CFC ou ainda, determinados como produtos destas lógicas ou vindos do programa supervisorio, também via protocolo IEC61850. E estes pontos podem ainda ser de tipos diferentes, sendo mais bem adaptados para funções diversas.

No.	Display text	Logic text	Type	Source			Destination											
				IB	FB	IC	BO	LEDs	S	C	D	DM						
604_INT		Seccionadora 604 - Intertravamento	OUT			X	U11											
605_INT		Seccionadora 605 - Intertravamento	OUT			X	U19											
607_INT		Seccionadora 607 - Intertravamento	OUT			X	U25											
SEL_B1BPF		Esquema Falha Div. - Seleção Barra 1	OUT			X	U21											
SEL_B2BPF		Esquema Falha Div. - Seleção Barra 2	OUT			X	U22											
SEL_B1		Seleção Barra 1	OUT			X	U35											
SEL_B2		Seleção Barra 2	OUT			X	U36											
50BF_RST		Reset - Sistema de Falha Disjuntor	OUT			X	U17											
SEC_SPS		Aber. Alum. Sec. Isol. B - Pres. SPS Dir	OUT			X	U26											
RESET06_F4		Dist. Passat Field 06L - Atividade Testado F4	IC_S			X	U30											
BT_F1_ABERTO		Bloco Teste F1 - Aberto	OUT			X	U44											
BT_F2_ABERTO		Bloco Teste F2 - Aberto	OUT			X	U28											
FT_LINKA		Falha Testado Linka	OUT			X	U41											
43N_CONS		Chave 43N - Concluido	INSP			X												
43T_CONS		Chave 43T - Concluido	INSP			X												
43E1_CONS		Chave 43E1 - Concluido	INSP			X												
LT_2P		Falha Testado No Linka	INSP			X												
43_ESTADO		Estado da Chave 43 no display	DP			X												
TESTE_US		Bloco teste aberto via LED	SP		LE1	X												
79C_MUN0		Religamento Monopolar - Concluido	SP			X												
79C_TPI		Religamento Tapolar - Concluido	SP			X												
79C_MTB		Religamento Monos/Tapolar - Concluido	SP			X												
79NC_MT		Religamento Monos/Tapolar - Inconcluido	SP			X												

Figura 12. Exemplo de matriz de configuração no DIGSI.

Alguns relés possuem uma interface gráfica para operação. Essa interface deve ser configurada no *Display Editor*, mostrado na Figura 13, de acordo com a parte do sistema que ele ficará responsável pelo monitoramento. A figura que fica normalmente visível é chamada de *Default Display*. O *Default Display* mostra valores de medição operacional dinamicamente. O *Control Display* é usado para comandar equipamentos de acordo com a manobra necessária.

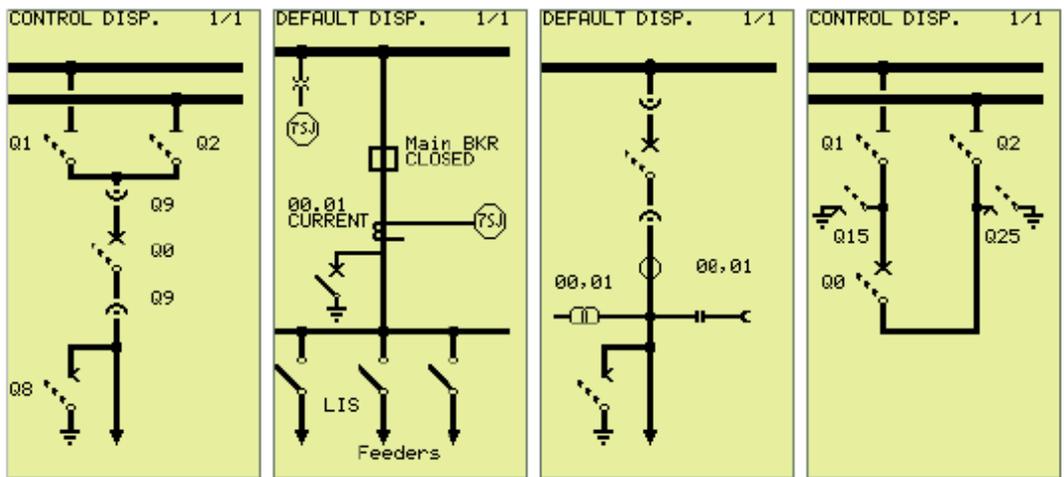


Figura 13. Versatilidade do *Display Editor*.

O programa de edição do display tem uma estrutura fácil, que facilita e torna o trabalho rápido. Os desenhos podem ser feitos utilizando as ferramentas disponibilizadas como mostrado na Figura 14.

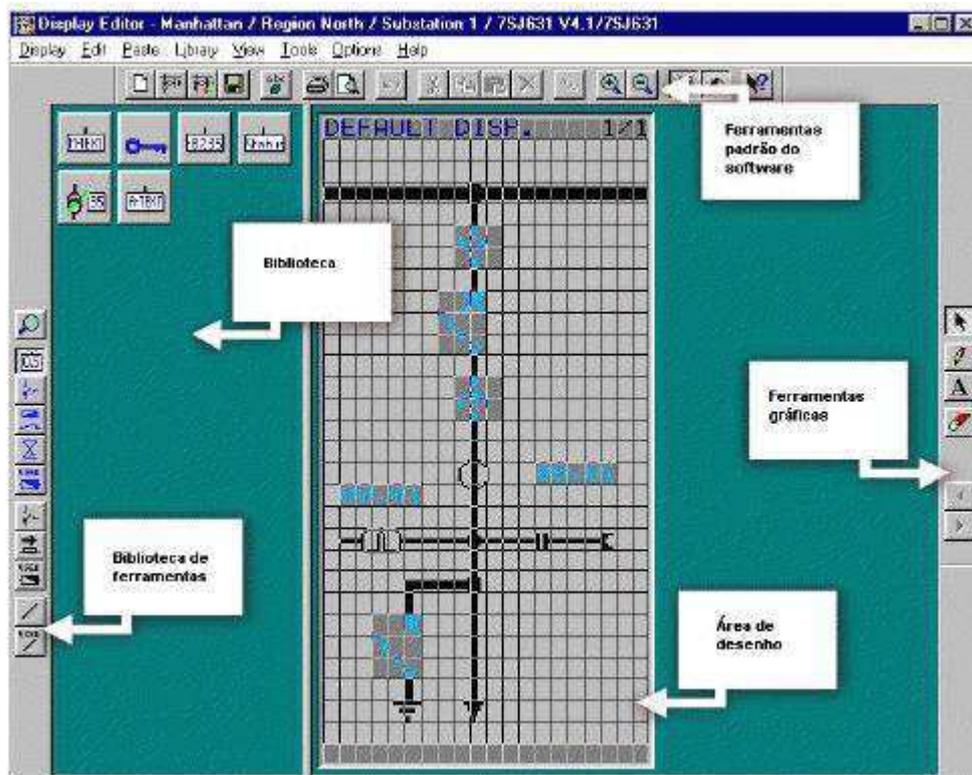
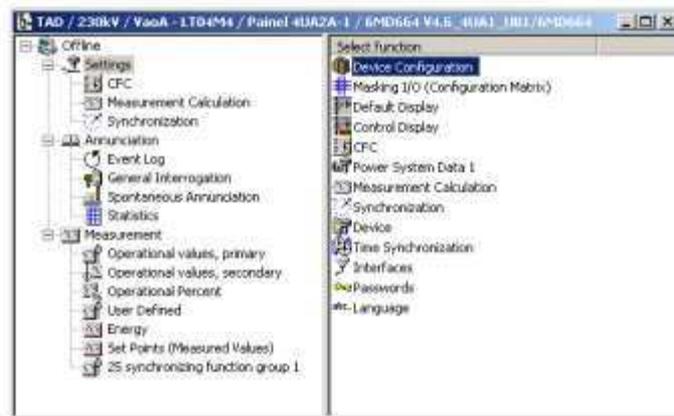


Figura 14. Interface do *Display Editor*.

Para parametrizar um relé específico, o módulo utilizado é o *DIGSISConfigureDevice*. Na tentativa de abrir o item referente a determinado relé, é perguntado se quer fazer a

configuração *off-line* ou *online*. No modo de configuração online, tem-se acesso direto ao equipamento através de algum tipo de meio de comunicação. Dessa forma, pode-se ou baixar no relé as configurações feitas no modo off-line ou ter acesso à configuração atual do relé. O DIGSI, inclusive, tem suporte a modos de teste.

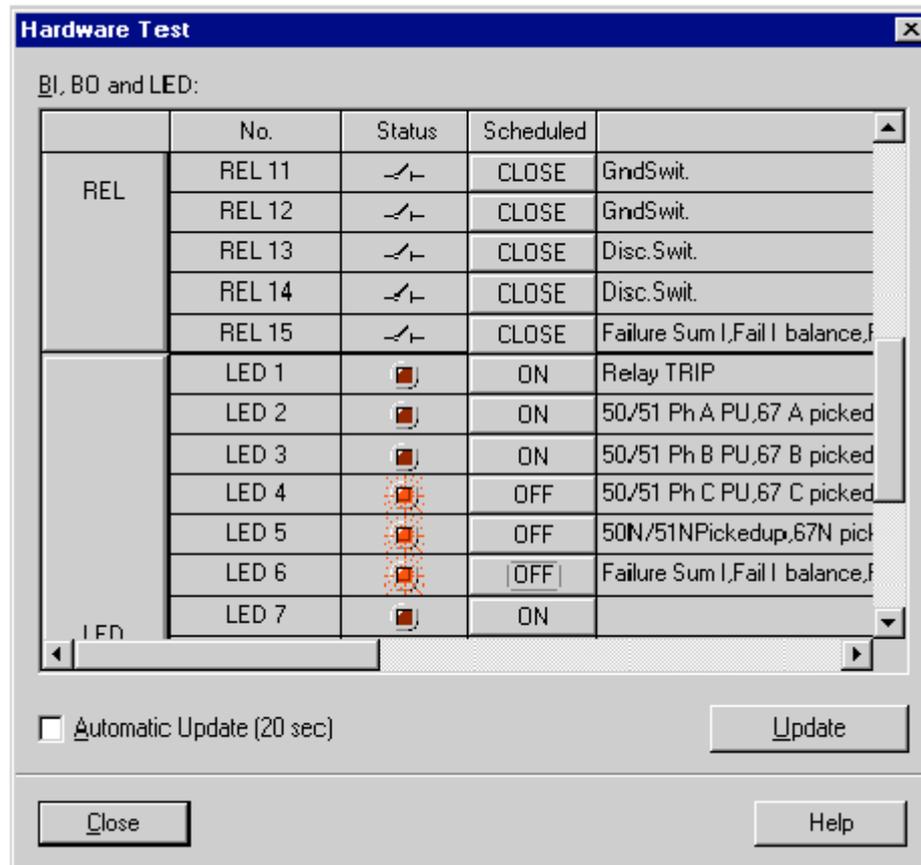
A tela de acesso *off-line* ao módulo de parametrização de um determinado relé é mostrada na Figura 15. Nela podem-se ver as *tags Settings* (Configurações), *Annunciation* (Evento) e *Measurement* (Medição). A mais importante para a parametrização é *Settings* e dentro dela, como mostrado do lado direito, são os itens *Matrix I/O (Configuration Matrix)* (Matriz de Configuração de Entradas e Saídas) e *CFC (Continuous Function Chart)* (Gráfico de Funções Contínuas).



**Figura 15.** Exemplo de tela de parametrização *off-line* de relé no DIGSI.

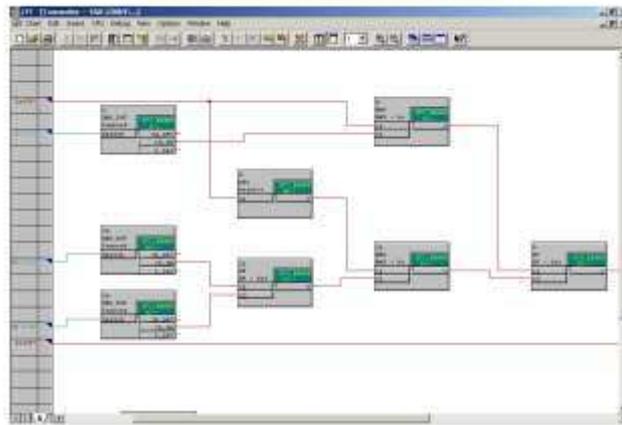
Para realização de testes reais com os relés existe um módulo chamado de *Hardware Test*, conforme exemplificado na Figura 16. Para utilizar esse módulo é necessário ficar *online* com o equipamento, ou seja, será feita uma conexão de um PC que possua o DIGSI instalado com o relé via um cabo. Nesse módulo podem ser atuadas binárias, de entrada e de saída, e leds. Os testes são realizados para poder ter a confirmação de que o relé está parametrizado da forma correta.

Todos os sinais que o relé manda e recebe quando ele está *online*, podem ser vistos no *GenerateIndications*. Todas as indicações geradas pelos testes manuais e recebidas pelo relé irão aparecer nessa lista.



**Figura 16. Interface do *Hardware Test*.**

Outra característica importante, que dá grande flexibilidade e versatilidade a estes equipamentos, é a possibilidade de criação de novas lógicas internas, através de um novo módulo, o DIGSI/CFC: *InterconnectingBlocks*. A interface do módulo é mostrada na Figura 17. Pela figura vê-se que a construção das lógicas é intuitiva e não exige prévio conhecimento de quaisquer linguagens computacionais. Tal construção é feita usando-se blocos de funções pré-existentes e pontos configurados na Matriz de Configuração para servir ou como entrada/fonte (*source*) ou como saída/destino (*destination*) no CFC. Escolhem-se os pontos de entrada na lógica que são ligados aos blocos de funções e estes entre si, respeitando certas condições, e finalmente, ligam-se as saídas aos pontos originados das lógicas. Estes pontos podem ser de comando, de intertravamento, de estado, etc.



**Figura 17. Exemplo de gráfico de fluxo CFC no DIGSI.**

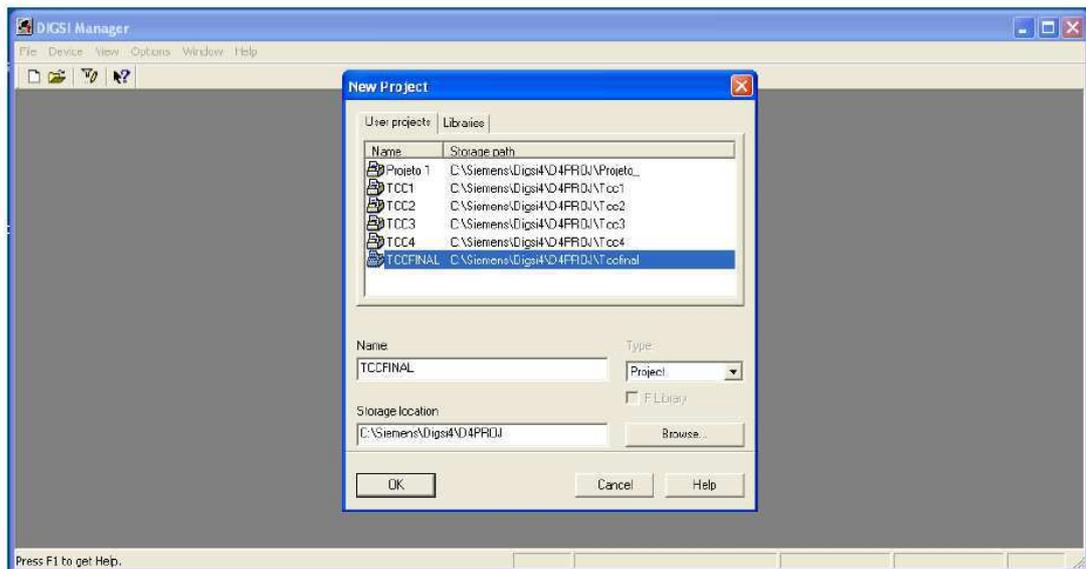
Como já mencionado anteriormente, a comunicação do relé se dá via protocolo IEC61850. A comunicação entre dispositivos da família SIPROTEC/SIEMENS também ocorre via tal protocolo. E isto é feito pelas mensagens GOOSE (*GenericObjectOrientedSubstationEvents*). GOOSE é um mecanismo de controle onde os dados de quaisquer tipos (estado, medidas) são agrupados em conjuntos e transmitidos num período de até 4ms.

Para que essa comunicação entre dispositivos aconteça é preciso que esta seja configurada, informando aos relés quais dados enviar (receber) para (de) quais relés. Esta configuração é feita, também, através do DIGSI.

## 6.2 EXEMPLO DE PARAMETRIZAÇÃO NO DIGSI

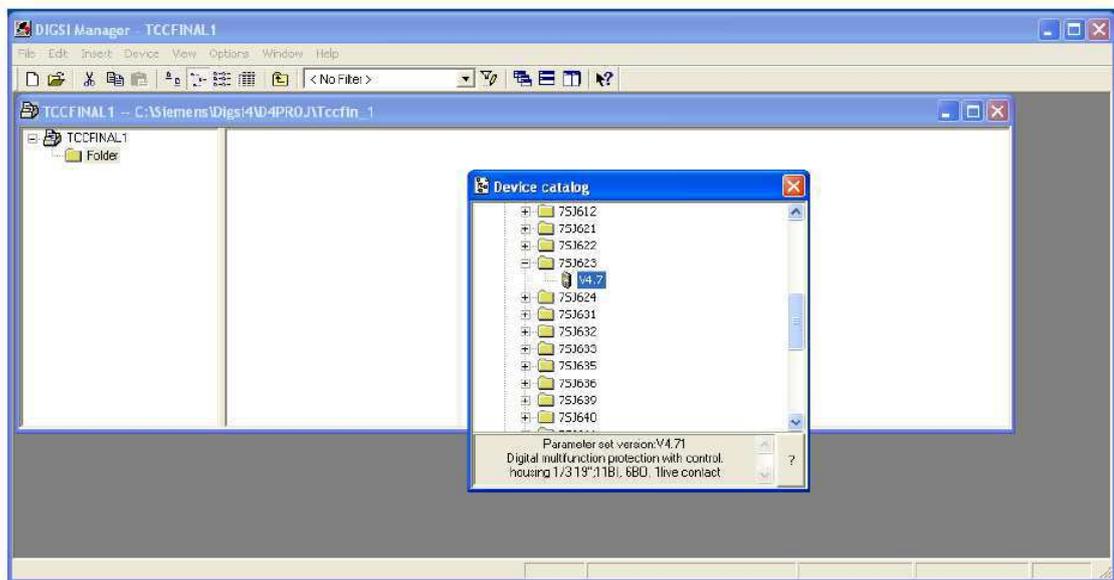
As etapas para a parametrização são descritas a seguir:

- 1) Criar um novo projeto no *software* DIGSI.



**Figura 18. Tela do novo projeto no DIGSI.**

- 2) Adicionar o *DeviceCatalog* e escolher entre os modelos de relés o que será parametrizado, no caso o 7SJ623.



**Figura 19. Tela *DeviceCatalog* no DIGSI.**

- 3) Determinar as características do relé, seu MLFB.

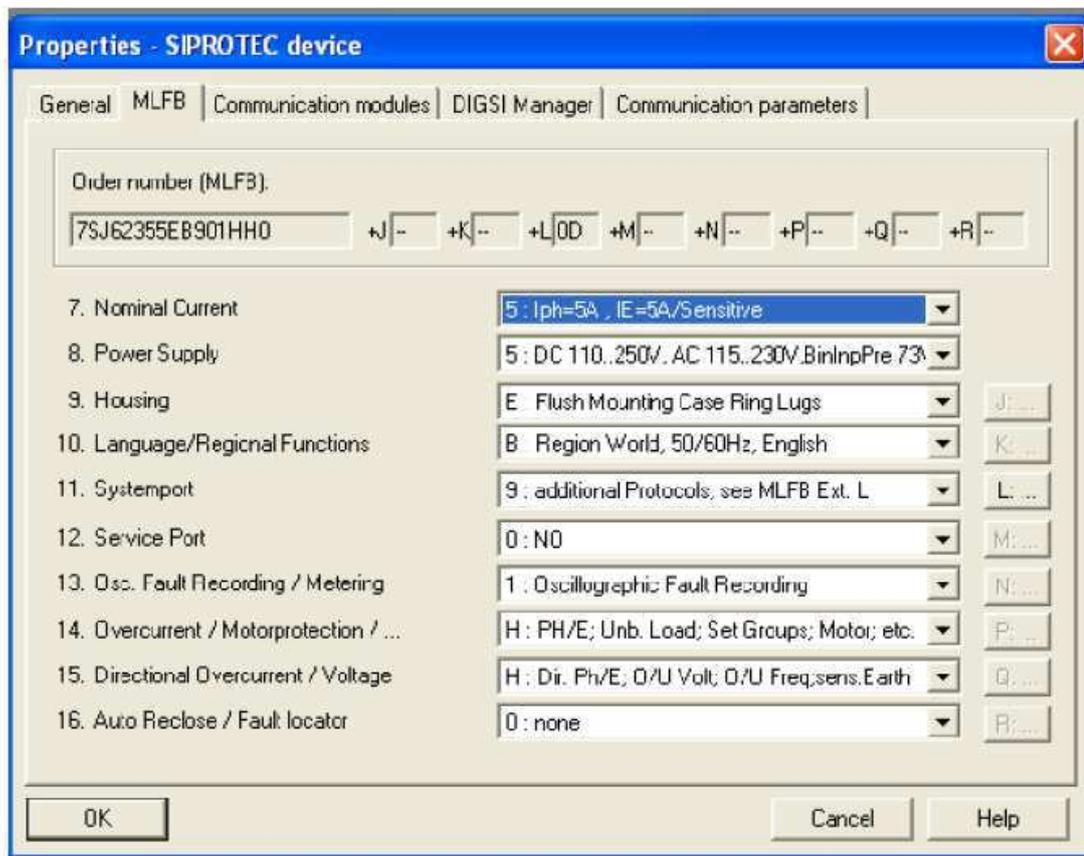


Figura 20. MLFB do relé.

- 4) Habilitar as funções que o usuário deseja, clicando no equipamento e depois no item *DeviceConfiguration*.

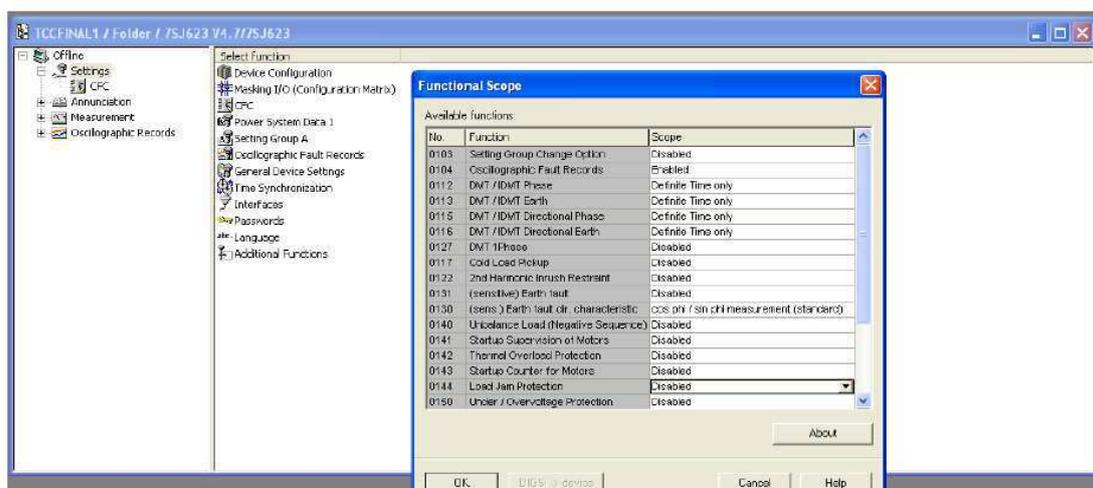


Figura 21. Habilitando as funções de execução do relé.

- 5) Depois das proteções serem determinadas, o usuário irá selecionar as características do sistema através do item *Power System Data1*, como a tensão nominal no primário e

secundário do TP, corrente nominal no primário e secundário no TC, frequência nominal, entre outros.

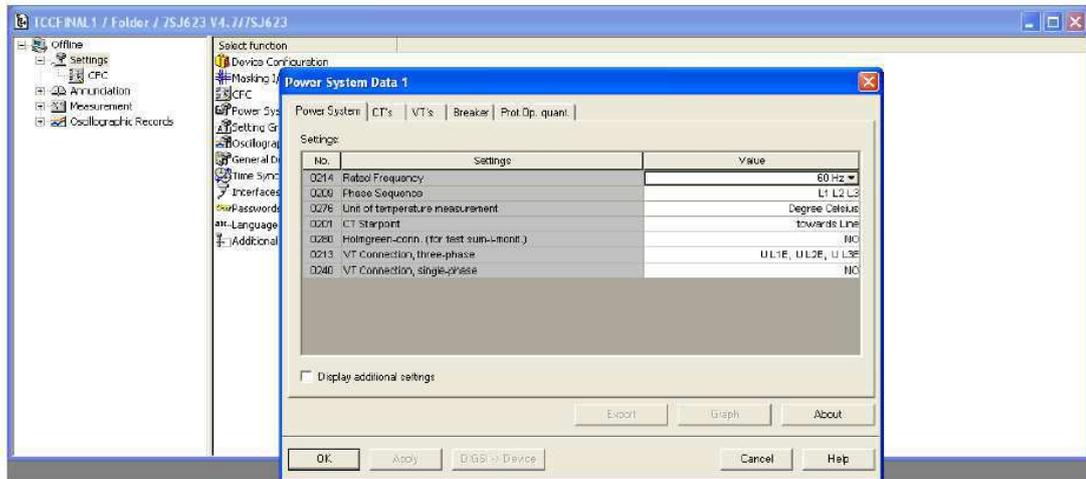


Figura 22. Configurando os valores no TP, TC, etc.

- 6) Depois de configurado todos os parâmetros, deve-se clicar no item *Setting Group A*, para que cada função de proteção seja selecionada inserindo esses parâmetros.

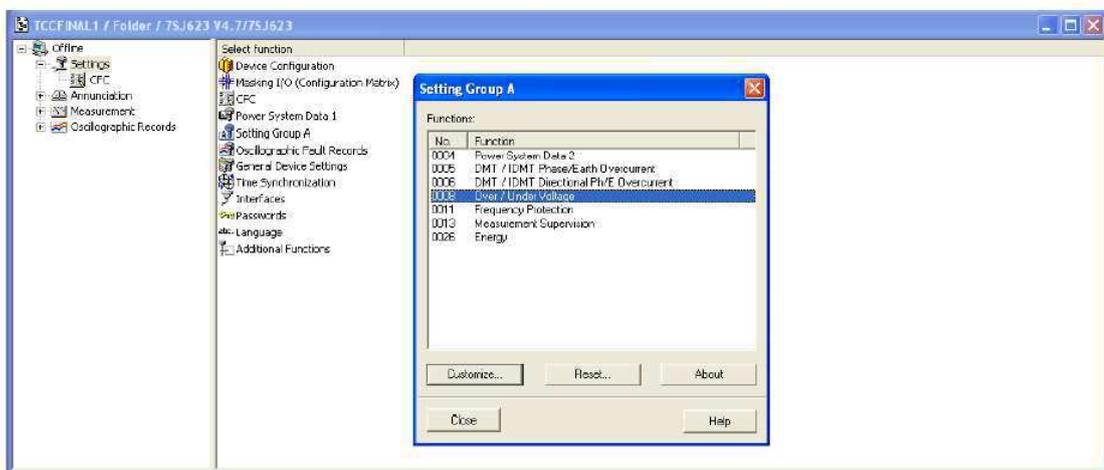


Figura 23. Selecionando as funções para inserir os parâmetros.

## 7 EXEMPLO DE UM CÁLCULO DE AJUSTE DE UM RELÉ SIPROTEC

O exemplo abaixo diz respeito ao caso real da modernização da CHESF de Paulo Afonso III, que possuía relés eletromecânicos que foram substituídos por numéricos da SIEMENS.

Os equipamentos que farão parte do estudo desse caso serão detalhados mais adiante, no caso gerador e transformador, e o próprio relé. A proteção instalada é da Siemens do modelo 7UM6215-5EB22-OBAO, pertencente à família SIPROTEC 4.

A Figura 24 ilustra, através de uma falta monofásica, o diagrama unifilar do sistema em questão.

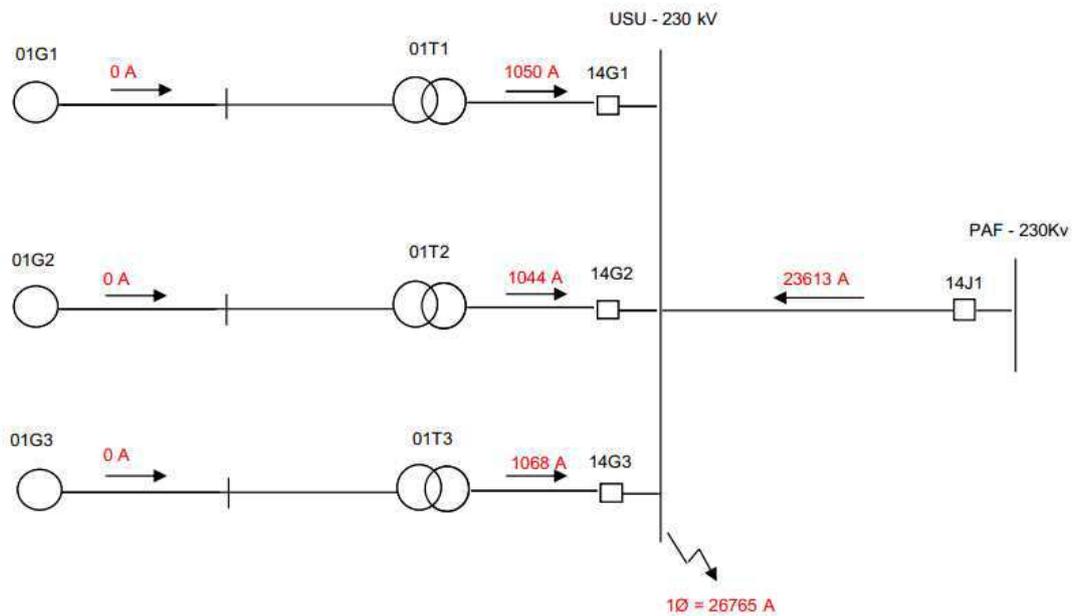
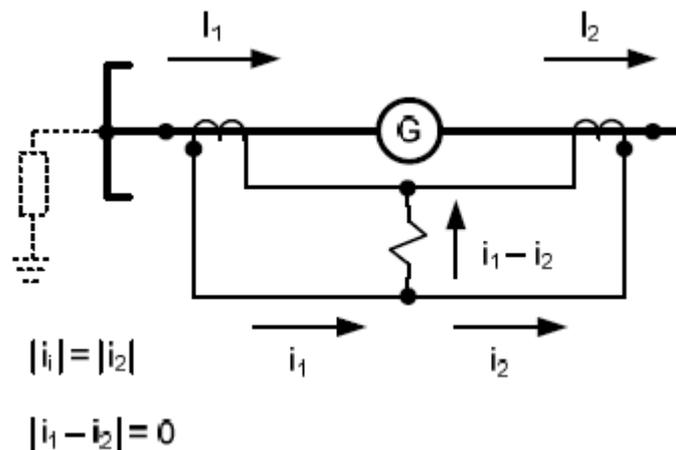


Figura 24. Falta monofásica.

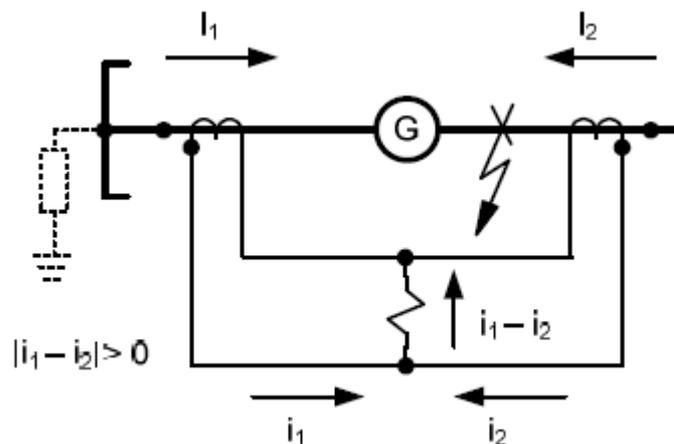
## 7.1 PROTEÇÃO DIFERENCIAL DE GERADOR – 87G

A zona protegida é determinada pela localização dos transformadores de corrente. Ele requer dois conjuntos de TCs com os seus enrolamentos secundários ligados em paralelo com o relé diferencial. Um conjunto de TCs está localizado na extremidade neutro do enrolamento do estator, e o outro nos terminais do enrolamento de fase, como mostrado na Figura 25.



**Figura 25. Polaridades instantâneas das correntes primárias e secundárias.**

A Figura 26 mostra o trajeto das correntes para uma falha interna à zona protegida. A corrente de falha do Gerador passa através do conjunto de TCs do neutro para o ponto de falha. A corrente do Sistema de potência passa através do conjunto de TCs da fase terminal para o ponto de falha. As correntes secundárias passam para fora da polaridade de ambos os conjuntos de TCs. Como resultado, há circulação de corrente através do relé diferencial, causando sua operação.



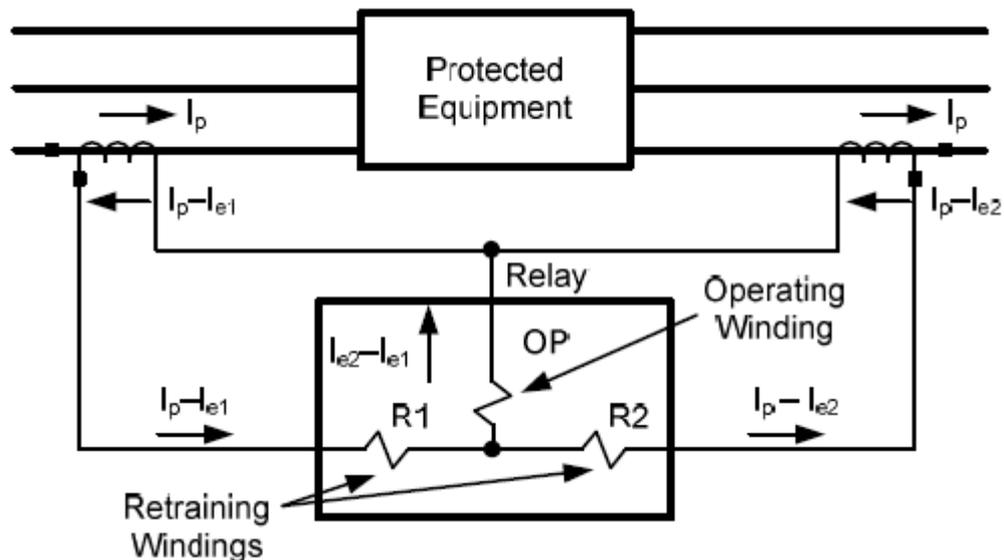
**Figura 26. Trajetória das correntes para falta interna à zona protegida.**

Se TCs ideais existissem, um simples relé de sobrecorrente instantâneo poderia ser aplicado e responderia sensível e rapidamente à corrente diferencial resultante de uma falha interna. Infelizmente, como eles não existem, durante faltas perigosas, externas à zona protegida, erros de relação provem da corrente diferencial que circula através do relé de sobrecorrente causando operação indevida. Para conseguir seletividade, com o uso de um relé

instantâneo ou iria requerer um ajuste de partida elevado ou uma unidade de retardo de tempo adicional, resultando em operação menos sensível e mais lenta.

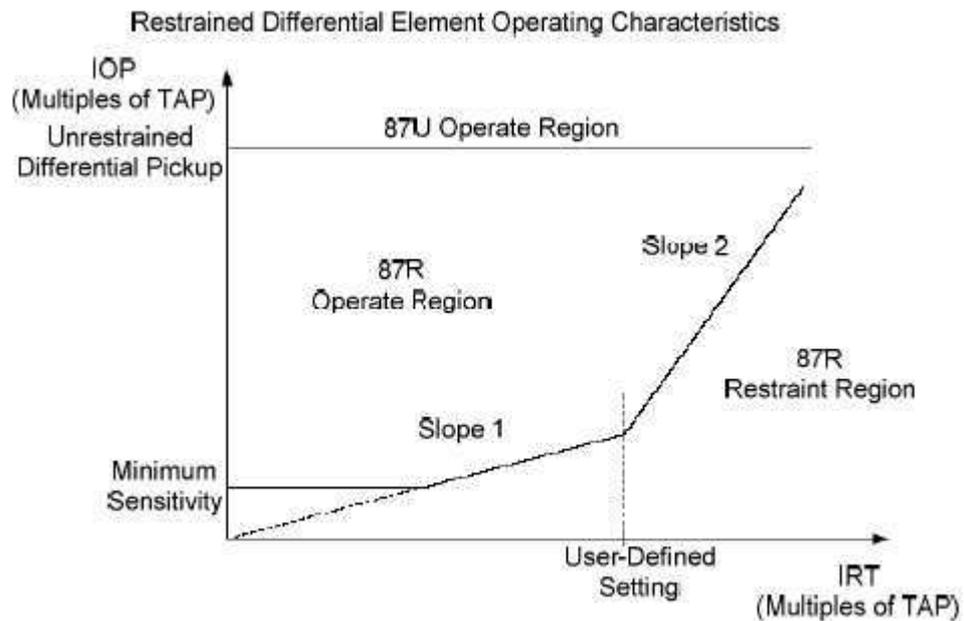
*A – Esquema diferencial percentual:*

Relés diferenciais percentuais oferecem segurança na seletividade contra faltas externas sem comprometer a sensibilidade, e ainda respondem com operação rápida para faltas internas. A Figura 27 mostra as conexões para um relé diferencial percentual.



**Figura 27. Conexões para relé Diferencial Percentual.**

O relé produz uma grandeza de restrição proporcional às correntes que circulam através das bobinas de restrição  $R1$  e  $R2$ . A grandeza de operação é proporcional à corrente que circula através da bobina  $OP$ . A grandeza de restrição dessensibiliza o relé à medida que aumenta a corrente durante faltas externas. A Figura 28 ilustra a característica de um tipo de relé diferencial percentual. A característica primordial é que com o aumento da grandeza restritiva, maior é a quantidade necessária da grandeza de operação para que o relé dispare, resultando em operação segura.



**Figura 28. Relé digital com característica de inclinação variável.**

## 7.2 CARACTERÍSTICAS DO GERADOR E TRANSFORMADOR

### ELEVADOR

A Tabela 1 traz as informações dos dados de placa dos geradores. A Tabela 2 traz as informações dos dados de placa do transformador elevador.

**Tabela 1. Gerador**

GERADORES: 01G1 - 01G2 - 01G3											
P (MW)	S (MVA)	FP	Vg (kV)	Ip (A)	RTC	Is (A)	X'd	1/X'd	X''d	X <sub>0</sub>	X <sub>2</sub>
60	61,225	0,98	13,8	2.561,47	800	3,20	0,204	4,902	0,2	0,1	0,1875

**Tabela 2. Transformador elevador.**

TRANSFORMADORES ELEVADORES - Impedâncias baseadas no relatório					
Unid	Quant	Potência	Z1=Z2=Z0 (%) em 225,5kV	TENSÃO (kV)	
		S	Base	Prim	Sec.

		(MVA)	67,5	100	-	Tap 1	Tap 2	Tap 3	Tap 4	Tap 5
01T1	3	22,5	14,30	20,26	13,8	203,5	209	214,5	220	225,5
01T2	3	22,5	14,40	20,41	13,8	203,5	209	214,5	220	225,5
01T3	3	22,5	14,07	20,05	13,8	203,5	209	214,5	220	225,5

Considerando os dados de placa,  $13,8 : \frac{220}{\sqrt{3}}$  kV; 22,5 MVA para cada unidade dos bancos de transformadores:

Ligação 13,8/225,5 kV D/Y

		A	Z=14,3%
Trafo 01T1:	Fase	B	Z=14,3%
		C	Z=14,3%
		A	Z=14,4%
Trafo 01T2:	Fase	B	Z=14,4%
		C	Z=14,4%
		A	Z=14,136%
Trafo 01T3:	Fase	B	Z=14,15%
		C	Z=14,21%

Tem-se os valores médios para todas as fases, no Tap usado (225,5 kV) para cada banco, aproximadamente:

Trafo 01T1:	Z=14,23%	para 100 MVA	→	Z=20,26%
Trafo 01T2:	Z=14,33%	para 100 MVA	→	Z=20,41%
Trafo 01T3:	Z=14,08%	para 100 MVA	→	Z=20,05%

### 7.3 TRANSFORMADORES DE POTENCIAL E TRANSFORMADORES DE CORRENTE

TPs: 14.400/120V

#### 3 - PROTEÇÃO DO GERADOR

Relé: 7UM6215-5EB22-OBAO- Siemens

MLFB do relé: 7UM62

1 -7 BI (relés de entrada), 12 BO (relés de saída)

5 - 5 A

5 - 110 a 250 VDC, 115 AC, pick-up BI 73V

E – montagem

B – 50/60Hz, característica IEC/ANSI, Inglês

2 - porta B: protocolo IEC-RS485

2 - porta C: DIGSI4 - RS485

B - funções de proteção: padrão

A - sem funções adicionais

### 7.4 PARAMETRIZAÇÃO DO RELÉ 7UM621

#### 7.4.1 PARAMETRIZAÇÃO DAS FUNÇÕES – *DEVICE CONFIGURATION*

A Figura 29 traz as informações fornecidas pela CHESF para ajustar as características dos endereços do relé no *Device Configuration*.

ENDEREÇO	FUNÇÕES	AJUSTE
103	Opção de mudança de grupo de ajustes	DISABLED
104	Valores (Instantâneo ou RMS)	Instantaneous Values
112	O/C PROT b> (51F)	SIDE 2
113	O/C PROT b>>	DISABLED
114	O/C PROT Ip (51V)	DISABLED
116	Sobrecarga Térmica (49)	DISABLED
117	Sequência Negativa (carga desbalanceada) (46)	ENABLED
120	Proteção diferencial (87G)	Generator
130	Subexcitação (perda excitação) (40)	ENABLED
131	Potência Reversa (32R)	ENABLED
132	Supervisão potência ativa (32F)	DISABLED
133	Impedância (21)	ENABLED
140	Subtensão (27)	DISABLED
141	Sobretensão (59)	ENABLED
142	Sub/Sobrefrequência (81)	DISABLED
143	Sobrexitação (Voltz/Hertz) (24)	ENABLED
144	Subtensão curva inversa Up<	DISABLED
150	Terra Estator 90% - SEF (64S)	Non Directional only Uo
151	Terra Rotor – O/C PROT lee> (64R)	with lee1
152	Terra Estator 100%-SEF 3ºHarm (64S)	ENABLED
160	Terra Rotor (64R)	ENABLED
165	Sup. partida motor	DISABLED
170	Falha Disjuntor (50BF)	SIDE 2
171	Energização Inadvertida (50/27)	ENABLED
180	FFM – monitoração falha fusível (60)	ENABLED
181	Sup. valores de medida	ENABLED
182	Sup. circuito de trip	With 1 binary input
185	Threshold Supervision	DISABLED
186	Trip externo 1	DISABLED
187	Trip externo 2	DISABLED
188	Trip externo 3	DISABLED
189	Trip externo 4	DISABLED
190	External Temperature input	DISABLED

**Figura 29. Habilitando as funções do relé.**

#### 7.4.2 PARAMETRIZAÇÃO DOS DADOS DO SISTEMA - *POWER SYSTEM DATA 1*

A Figura 30 traz as informações, fornecidas pela CHESF, para a configuração dos parâmetros do relé em questão de acordo com os dados do sistema.

ENDEREÇO	PARAMETROS	AJUSTE
270	Freqüência Nominal	60 Hz
271	Seqüência de Fase	A B C
272	Configuração esquema	UNIT TRANSFORMER
251	Tensão Nominal do Gerador	13,8 KV
252	Potência do Gerador	61,225 MVA
241	Starpoint Side 1 (aterramento TC lado transformador)	SOLID EARTHED
244	Starpoint Side 2 (aterramento TC lado neutro gerador)	SOLID EARTHED
201	STRPNT>OBJ S1 Lado aterramento TC side 1: na direção do objeto	YES
202	IN TC Side 1 (primário)	4000 A
203	IN TC Side 1 (secundário)	5 A
204	Correção de ângulo TC – Wo	0 °
205	Fator lee1 – relação TC lee1 (pri/sec)	800
210	STRPNT>OBJ S2 Lado aterramento TC	YES
211	IN TC Side 2 (primário)	4000 A
212	IN TC Side 2 (secundário)	5 A
213	Fator lee2 – relação TC lee2 (pri/sec)	800
221	UN primário	14,4 KV
222	UN secundário (fase-fase)	120 V
223	UE (conexão) (obs: p/ prot. 64S)	UE CONNECTED TO NEUTRAL TRANSFORMER
224	Fator UE – relação TP UE (pri/sec)	62,73
225A	Uph/Udelta	1,73
271	Phase Seq	L1, L2, L3
272	SCHEME	Unit transf.
273	STAR-POINT	high - reist
274	ATEX 100	Yes
280	Duração mínima comando de trip	0,15 sec
281	Corrente mínima disjuntor fechado	0,2 A
295	Transdutor 1	DEFAULT (não utilizado)
296	Transdutor 2	DEFAULT (não utilizado)
297	Transdutor 3	DEFAULT (não utilizado)

**Figura 30. Parametrização dos dados do sistema.**

#### 7.4.3 PARAMETRIZAÇÃO DA PROTEÇÃO DIFERENCIAL DO GERADOR - 87G

##### a. Gerenciamento do projeto

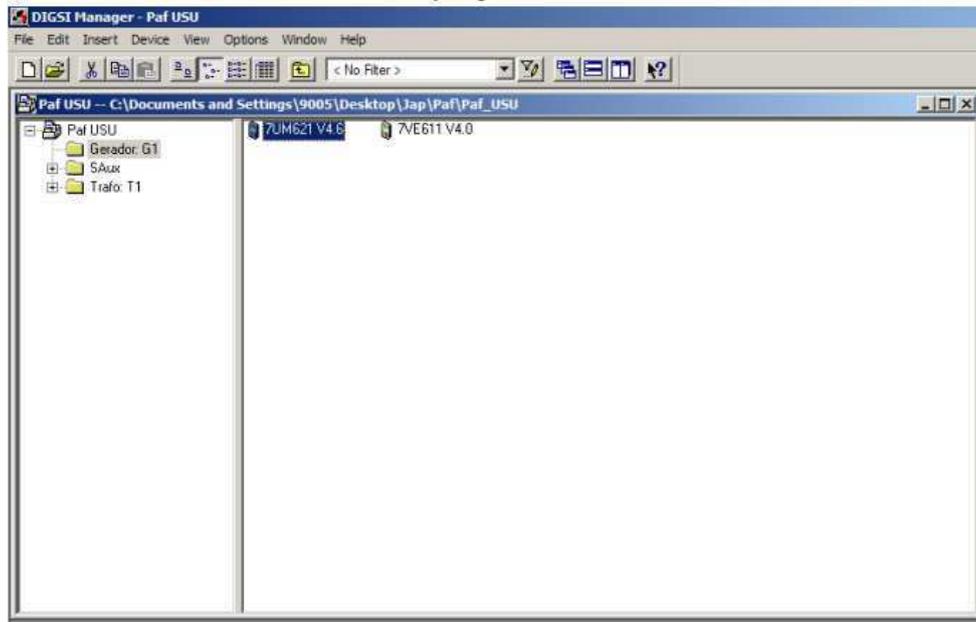


Figura 31. Seleção do relé 7UM621 no DIGSI.

b. Acesso a definições gerais para os Ajustes

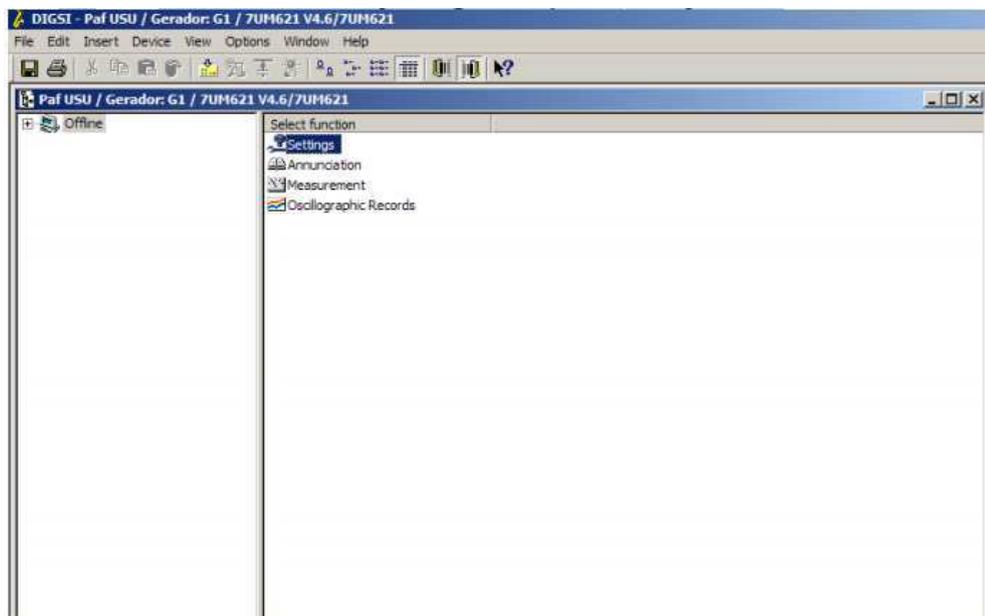


Figura 32. Selecionando a opção de configuração.

c. Configurações do dispositivo (relé multifunção)

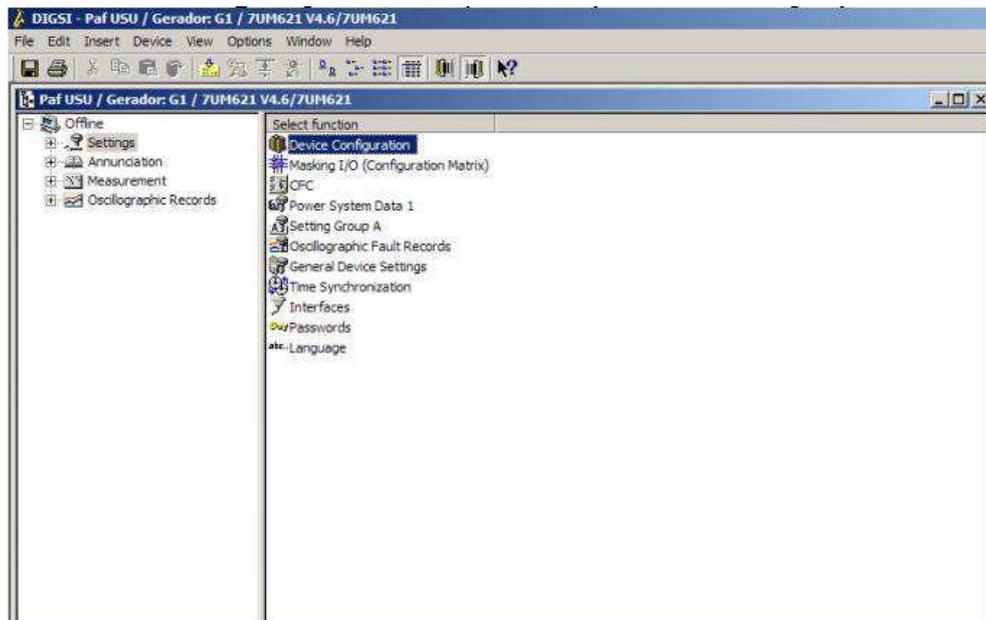


Figura 33. Configurações do relé.

d. Definições de abrangência funcional

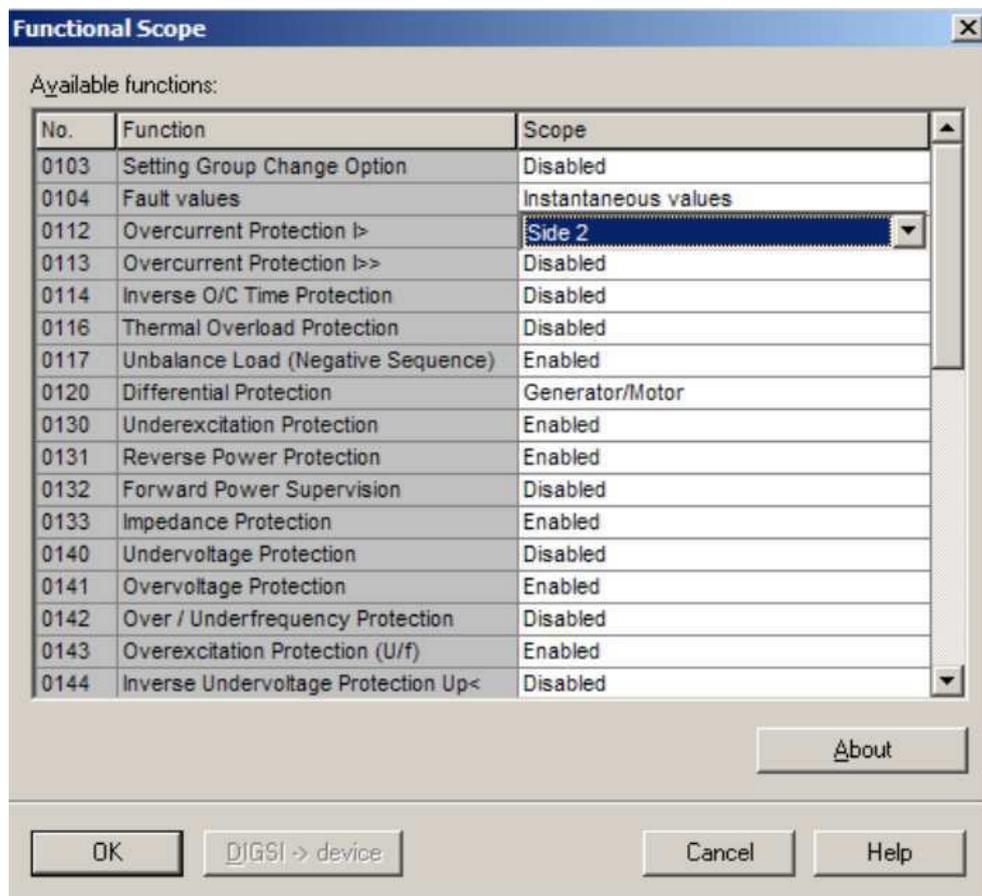


Figura 34. Definições funcionais.

## e. Definições de abrangência funcional

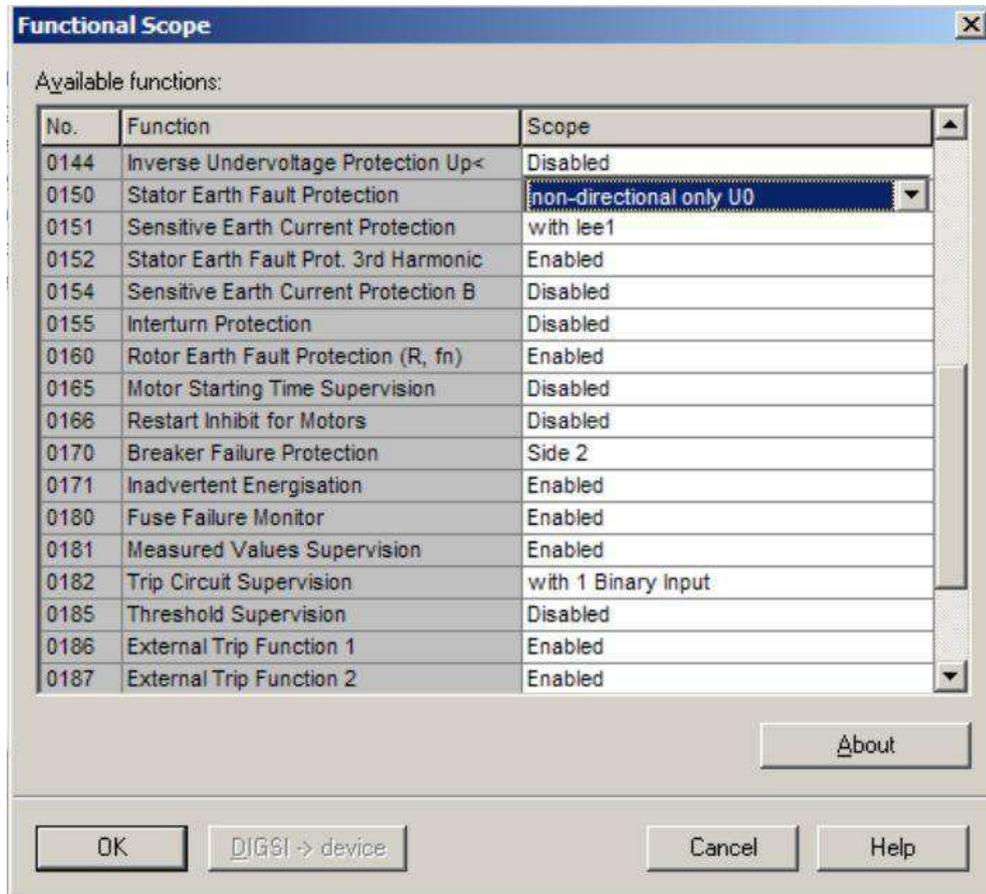


Figura 35. Definições funcionais.

## f. Dados 1 do Sistema de Potência

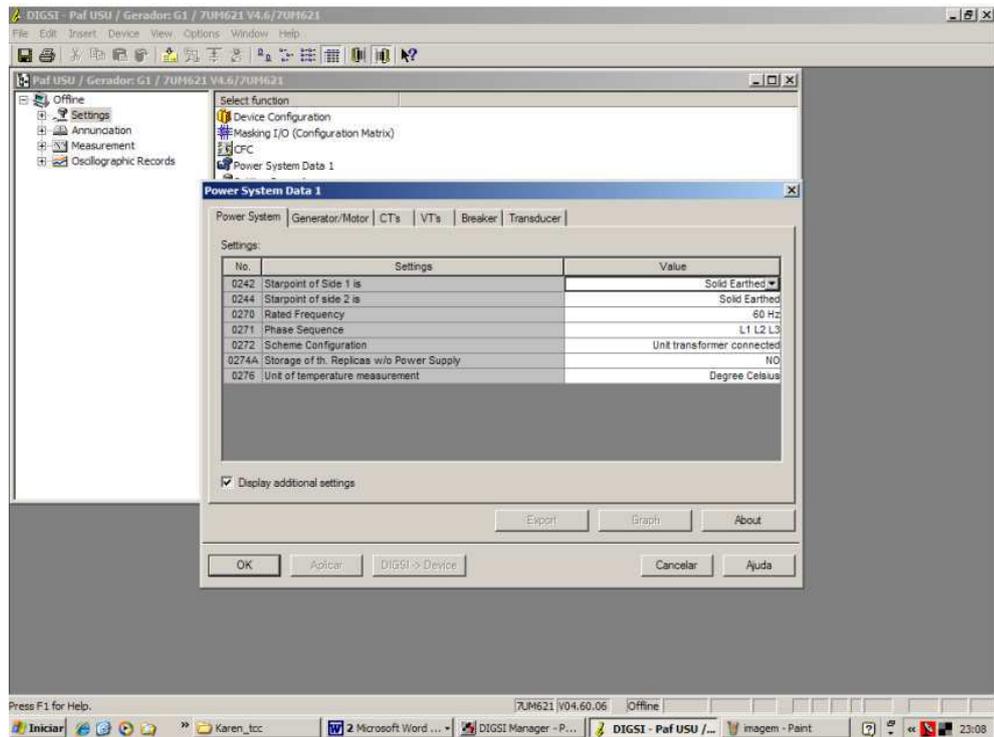


Figura 36. Sistema de potência.

## g. Dados 1 do Sistema de Potência

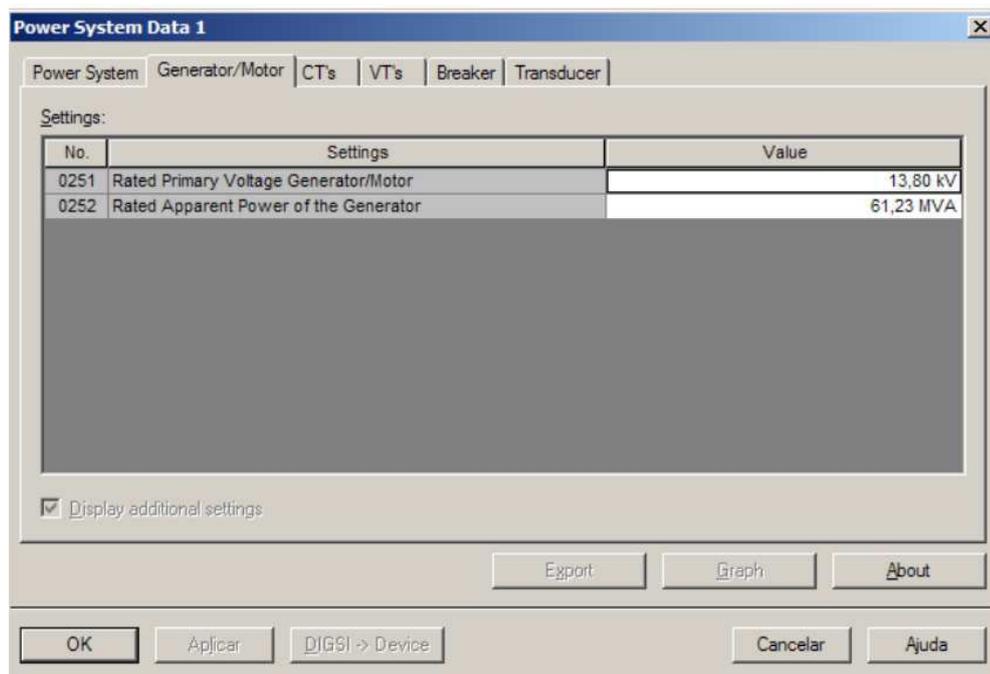


Figura 37. Dados do gerador.

## h. Dados 1 do Sistema de Potência

**Power System Data 1**

Power System | Generator/Motor | **CT's** | VT's | Breaker | Transducer

Settings:

No.	Settings	Value
0201	CT-Strpnt. Side1 in Direct. of Object	YES
0202	CT Rated Primary Current Side 1	4000 A
0203	CT Rated Secondary Current Side 1	5A
0204	Correction Angle CT W0	0,00 °
0205	CT Ratio Prim./Sec. lee1	60,0
0210	CT-Strpnt. Side2 in Direct. of Object	YES
0211	CT Rated Primary Current Side 2	4000 A
0212	CT Rated Secondary Current Side 2	5A
0213	CT Ratio Prim./Sec. lee2	60,0

Display additional settings

Export | Graph | About

OK | Aplicar | DIGSI -> Device | Cancelar | Ajuda

Figura 38. Dados dos TCs.

## i. Dados 1 do Sistema de Potência

**Power System Data 1**

Power System | Generator/Motor | CT's | **VT's** | Breaker | Transducer

Settings:

No.	Settings	Value
0221	Rated Primary Voltage	14,40 kV
0222	Rated Secondary Voltage (Ph-Ph)	120 V
0223	UE Connection	UE connected to neutral transformer
0224	VT Ratio Prim./Sec. Ue	62,7
0225A	Matching Ratio Ph.-VT to Broken-Delta-VT	1,73

Display additional settings

Export | Graph | About

OK | Aplicar | DIGSI -> Device | Cancelar | Ajuda

Figura 39. Dados dos TPs.

## j. Dados 1 do Sistema de Potência

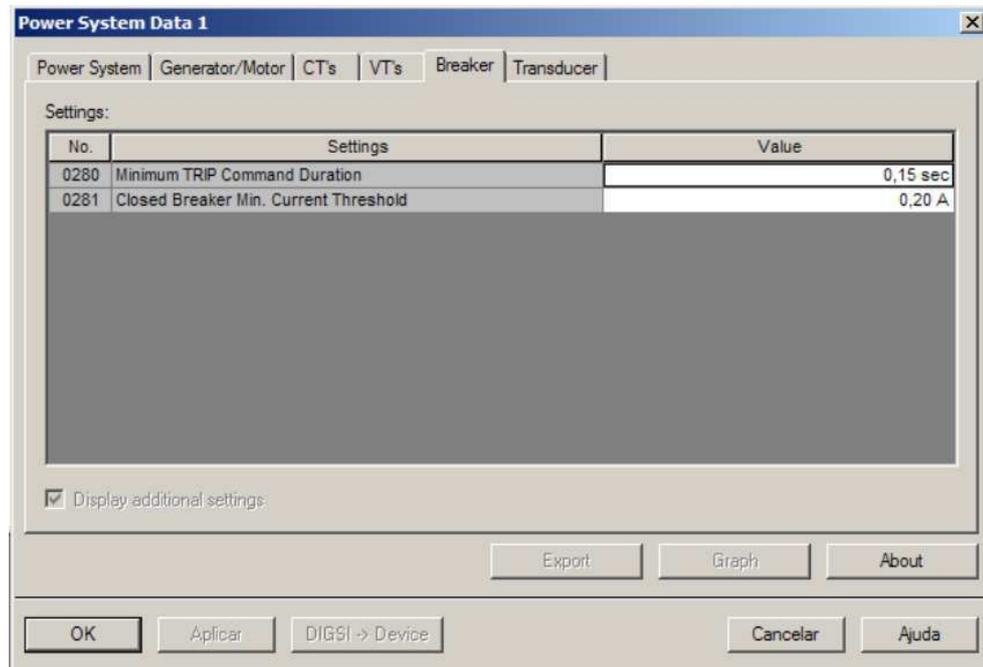


Figura 40. Dados do disjuntor.

## k. Ajustes do Grupo A

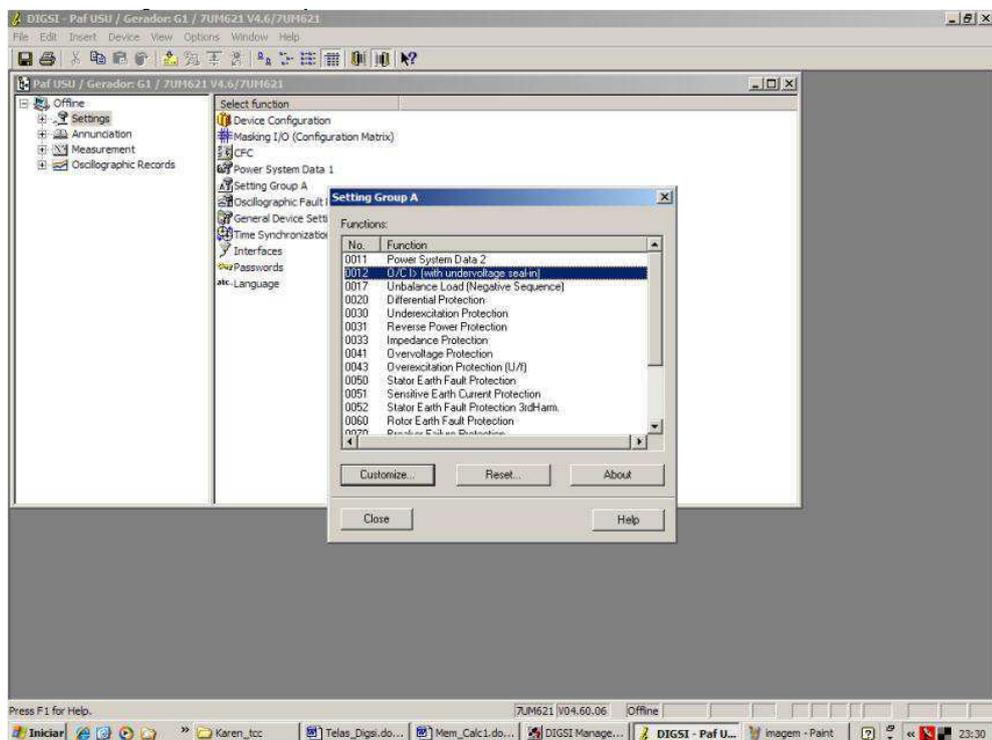


Figura 41. Configurações do grupo.

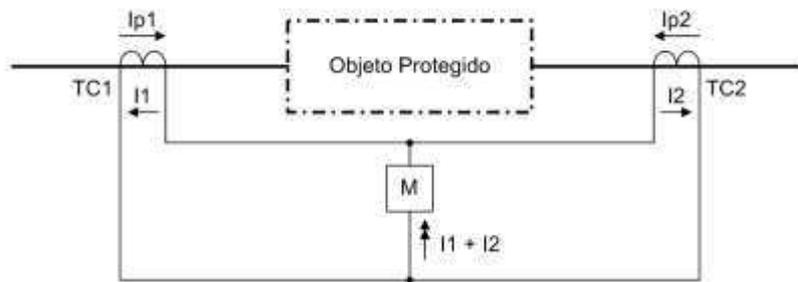
#### 7.4.4 CASO REAL: AJUSTES

Quando uma falta externa ocasiona altas correntes através da zona protegida, diferenças nas características magnéticas dos transformadores de corrente TC1 e TC2 sob condições de saturação podem ocasionar uma corrente significativa através do elemento M, o que pode causar trip. Para prevenir a proteção de tal operação errada, é imposta uma corrente de estabilização.

A grandeza de estabilização é derivada da soma aritmética de valores absolutos de  $|I1| + |I2|$ . As seguintes definições se aplicam:

- um trip ou corrente diferencial  $I \text{ DIFF} = |I1 + I2|$
- a estabilização ou corrente de restrição  $I \text{ STAB} = |I1| + |I2|$

$I \text{ DIFF}$  é derivada da corrente de frequência fundamental e produz grandeza de efeito de trip,  $I \text{ STAB}$  age contra esse efeito.



**Figura 42. Definições de Correntes.**

Para habilitação da função 87G deve ser ajustado:

- 120 DIFF PROT Generator (proteção diferencial do gerador)
- 2001 DIFF PROT (proteção diferencial) = ON
- IN (corrente nominal) gerador: 2.561,47 A
- No secundário, relação de TC dos lados 1 e 2 do gerador igual a 4000/5 A, tem-se:  $I1=I2=3,20$  A (correntes no relé)
- Corrente diferencial ( $I \text{ DIFF}$ ):  $|I1-I2|=0$

A proteção diferencial, endereço 120 DIFF PROT, permite especificar o tipo e objeto protegido, no caso é o gerador que será protegido. A função pode ser excluída em conjunto pelo ajuste “Disabled”. Assim, ela só está efetiva e disponível se o gerador for ajustado durante a configuração da função de proteção. Somente os parâmetros para aquele objeto são

apresentados, todos os outros estão escondidos. Se a função não for necessária, ela é desabilitada.

O endereço 2001 DIFF PROT serve para habilitar a função para ON e OFF ou para bloquear apenas o comando de *trip* (*Block relay*).

A proteção está conectada nos TCs. Considerando, portanto, erro máximo de 10% por TC, tem-se para os dois TC's 20% de erro. Para o ajuste vamos considerar um valor um pouco superior, ou seja, 25% I DIFF> corrente mínima de operação (partida). No entanto, considerando que os dois TCs são idênticos, reduz-se este ajuste para 15%.

- $0,15 \times I_N \text{ Gerador} = 0,15 \times 3,20 = 0,48 \text{ A}$
- 2021 I DIFF> (valor de *pickup* da corrente diferencial, que no caso é referido à corrente nominal do gerador) = 0,15

O endereço 2021 I DIFF> é o valor de *pickup* para a corrente diferencial. O valor de *pickup* é referido à corrente nominal do gerador. Um ajuste entre 0,1 e 0,2 é recomendado.

Temporizador:

- 2026A Tempo de atuação da corrente diferencial (T IDIFF>) = 0 s.
- 2031 I DIFF>> corrente de operação com alto ajuste (trip independente da corrente de estabilização).

Em casos especiais pode ser vantajoso temporizar o sinal de trip da proteção diferencial. Para isso, uma temporização adicional pode ser ajustada. O temporizador 2026 T I-DIFF> é iniciado quando uma falta interna no gerador tenha sido detectada.

Endereços que possuam um “A” em anexo só podem ser mudados com o DIGSI em Ajustes Adicionais.

Em adição ao limite de *pickup* I-DIFF>, um segundo limite de *pickup* é considerado. Se esse limite (2031 I-DIFF>>) é excedido, é iniciado trip sem considerar a amplitude da corrente de restrição (estágio de trip de alta velocidade não estabilizado). Esse estágio deve ser ajustado mais alto do que o estágio I-DIFF>. No manual do relé recomenda-se ajustar um valor acima do valor de estado estacionário da corrente transitória de curto-circuito, isto é: o ajuste de I-DIFF>> seja maior que  $(1/X'd) \times I_N$ .

- $X'd=0,204$
- $1/X'd=1/0,204 = 4,902$
- I DIFF>> maior que 5
- 2056 I DIFF>> = 5

Temporizador:

- 2057A T IDIFF>> = 0 s.

#### 7.4.5 CURVA CARACTERÍSTICA:

A curva característica de trip é formada por duas inclinações (SLOPE).

O SLOPE 1, representado pelo endereço 2041A, determina a primeira inclinação de trip com ponto de partida na origem (obs: na curva característica final, o início da curva é deslocado da origem pelo ajuste de I DIFF>). O SLOPE 1 deve ser ajustado considerando os erros dos TCs (0,15).

O ângulo de inclinação do SLOPE 1 é  $\theta_1$ .

- $\theta_1 = \arctg \text{slope1} = \arctg 0,15$
- $\theta_1 = 8,5^\circ$
- 2041A SLOPE1= 0,15

Ponto de partida

- 2042A \_BASE POINT 1 (ponto base para o SLOPE 1) = 0

O SLOPE 2, representado pelo endereço 2043A, pode influenciar a estabilidade do relé durante saturação de TC. Uma inclinação do SLOPE 2 maior que SLOPE 1 resulta em estabilidade maior, na faixa de correntes maiores.

- A faixa de ajuste é de 0,25 a 0,95.
- Ajuste em 0,5 (valor acima do SLOPE1 e recomendado pelo fabricante).
- O ângulo de inclinação do SLOPE 2 é  $\theta_2$
- $\theta_2 = \arctg \text{SLOPE 2} = \arctg 0,5$
- $\theta_2 = 26,5^\circ$

- 2043A SLOPE 2 = 0,5
- O ponto de partida do SLOPE 2 será ajustado em 2,5 Istab/IN, conforme recomendação do fabricante.
- 2044A BASE POINT 2 (ponto base para o SLOPE 2) = 2,5

O endereço 2041 SLOPE 1 determina a inclinação do primeiro ramal, aquele cujo ponto de partida está especificado no parâmetro 2042 BASE POINT 1. Esse ramal considera erros proporcionais às correntes. São principalmente erros de transformação dos TCs principais e dos TCs de entrada. Se os TCs são idênticos, o ajuste padrão de 0,25 pode ser reduzido para 0,15. O segundo ramal produz uma estabilização mais elevada na faixa de altas correntes que podem conduzir à saturação do transformador de corrente. Seu ponto de base é ajustado no endereço 2044 BASE POINT 2. O gradiente é ajustado no endereço 2043 SLOPE 2. A estabilidade durante a saturação de transformador de corrente pode ser influenciada pelo parâmetro desse ramal. Um gradiente mais alto resulta em estabilidade mais alta. O ajuste padrão de 0,5 tem provado ser um bom valor. A Tabela 3 traz o resumo dos valores dos ajustes obtidos anteriormente.

**Tabela 3. Ajustes**

87G	Quadro resumo dos ajustes						
	pu	A	seg	ciclos	Erro TC's	θ1, θ2 (°)	Obs
I DIFF>	0,15	0,48					
T IDIF>			0				
I DIFF>>	5	16,01					> 1/X'd
T IDIF>>			0				
BASE POINT 1	0						
SLOPE1					0,15	8,5	
BASE POINT 2	2,5						
SLOPE2					0,5	26,6	
I ADD ON STAB	4						
T ADD ON STAB				15			

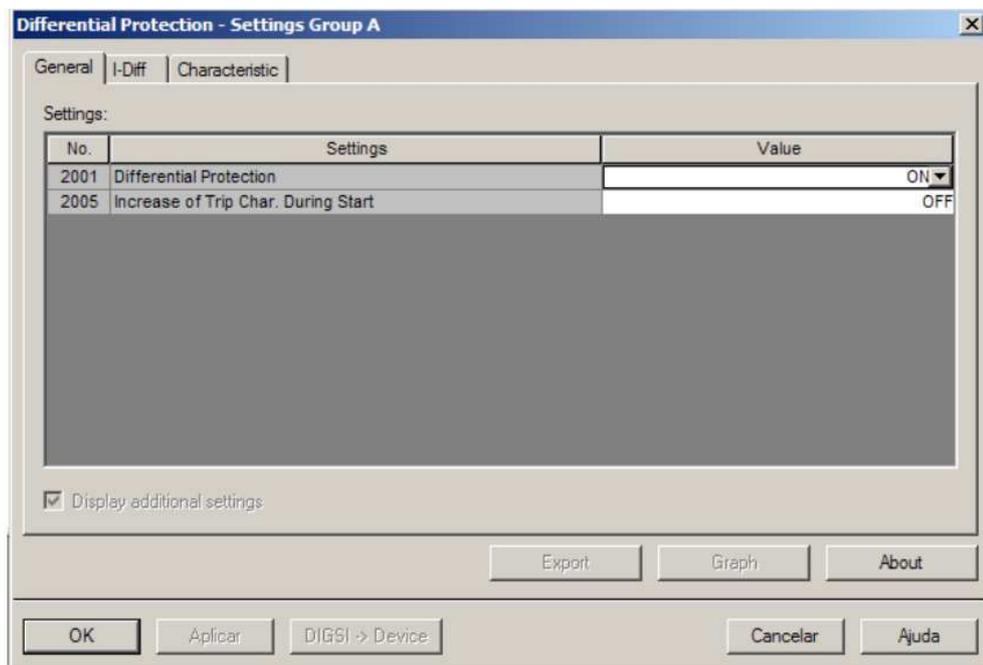
O relé fornece ainda, ajustes para uma estabilização maior quando correntes muito elevadas na área protegida durante curtos circuitos externos, em caso de saturação. A temporização desta estabilização adicional é ajustada em múltiplos de período.

Ajusta-se conforme recomendação do fabricante, contida no manual do relé.

- 2061A I-ADD ON STAB (*pickup* para estabilização adicional)=4
- 2062A T-ADD ON STAB (duração da estabilização adicional)=15\*1P

Onde existe altas correntes durante um curto-circuito externo, uma estabilização adicional tem efeito, ajustada no endereço 2061 I-ADD ON STAB. (estabilização da saturação). A corrente de estabilização é a soma aritmética das correntes que entram e saem da zona protegida, isto é, que é atualmente duas vezes a proporção de corrente real. A duração máxima da estabilização adicional é ajustada no endereço 2062 T ADD ON-STAB. em múltiplos de um ciclo. Esse tempo é a duração máxima do bloqueio após deixar a área de estabilização adicional durante faltas externas de corrente elevada. O ajuste depende de certas circunstâncias do tempo de desconexão do contato superior. O ajuste padrão 15 ciclos é um valor prático.

#### I. Ajustes do Grupo A – Diferencial 87G



**Figura 43. Ajustes da proteção diferencial.**

#### m. Ajustes do Grupo A – Diferencial 87G

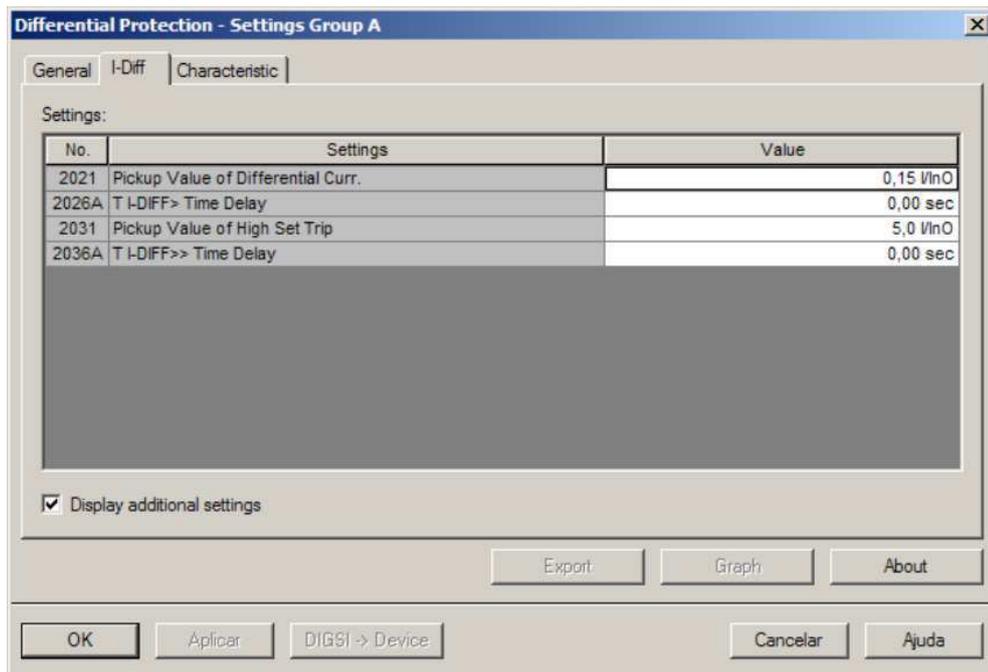


Figura 44. Ajustes do I-DIFF.

n. Ajustes do Grupo A – Diferencial 87G

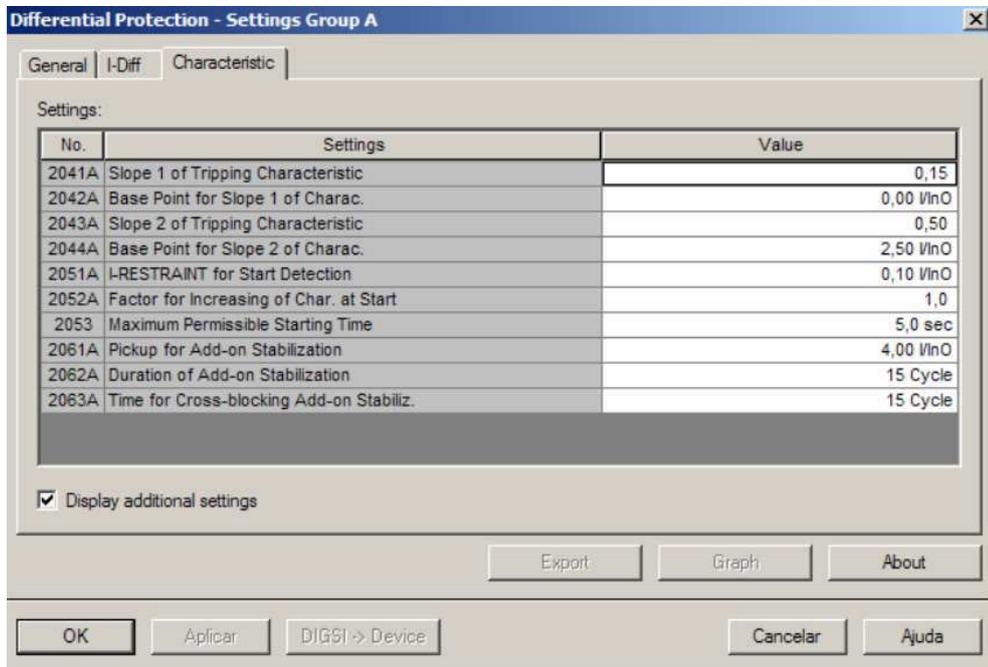


Figura 45. Ajustes das características.

#### 7.4.6 VERIFICAÇÃO DO COMPORTAMENTO DA PROTEÇÃO DIFERENCIAL PARA CURTOS-CIRCUITOS EXTERNOS

1) Curto-circuito trifásico externo no 13,8kV (saída do gerador) - ponto 1

Corrente de curto-circuito passante (contribuição do gerador):

- 01G1 = 13997 A
- 01G2 = 13997 A
- 01G3 = 13324 A

Tomando como referência a maior corrente, a corrente no secundário será:

- $13997 / (4000/5) = 17,5 \text{ A}$

Considerando erro dos TCs em 10%, o pior caso seria:

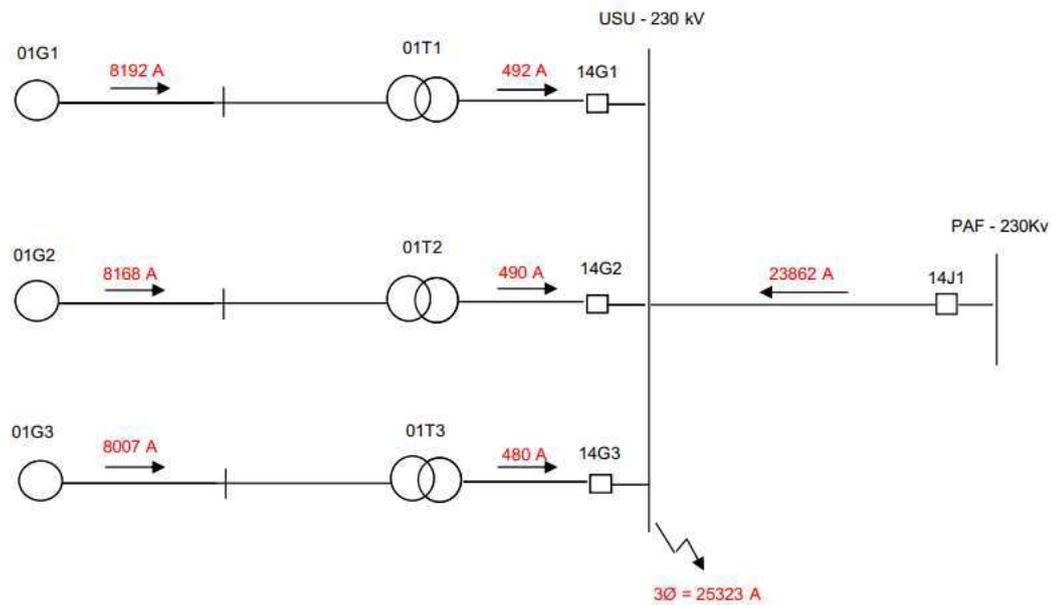
- $I_{DIFF} = |I1| - |I2| = 19,25 - 15,75 = 3,5 \text{ A}$
- $I_{STAB} = |I1| + |I2| = 19,25 + 15,75 = 35 \text{ A}$
- $I_{DIFF}/I_N = 3,5/5 = 0,7$
- $I_{STAB}/I_N = 35/5 = 7$

Plotando na característica do relé, o ponto 1 está dentro da zona de bloqueio, não atuando para faltas externas no 13,8 kV.

2) Curto-circuito externo trifásico no 230kV - ponto 2

Corrente de curto-circuito passante (contribuição do gerador) será:

- 01G1 = 8192 A
- 01G2 = 8168 A
- 03G3 = 8007 A



**Figura 46. Curto-circuito trifásico**

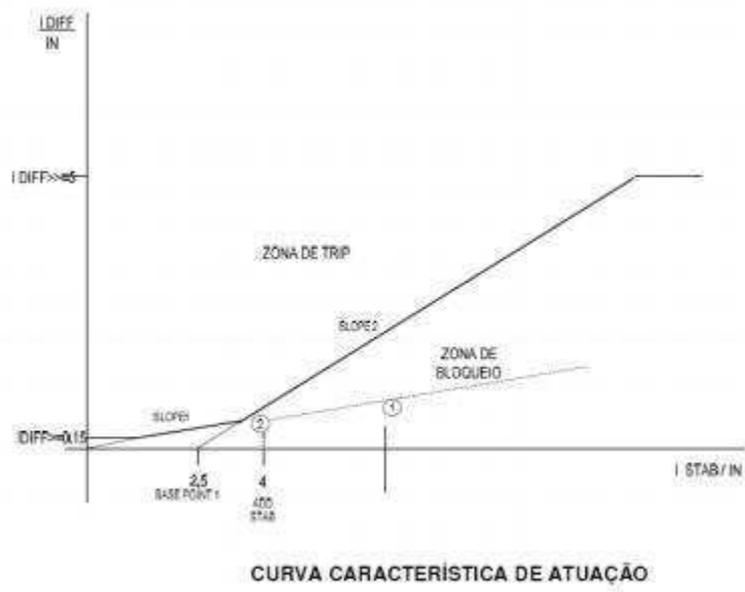
Tomando como referência a maior corrente, a corrente no secundário será:

- $I_{cc} = 8192 / (4000/5) = 10,24$

Considerando erro dos TCs em 10% e para o pior caso:

- $I_{DIFF} = |I_1 - I_2| = 11,25 - 9,22 = 2,04 \text{ A}$
- $I_{STAB} = |I_1| + |I_2| = 20,48 \text{ A}$
- $I_{DIFF}/I_N = 2,04/5 = 0,408 \text{ A}$
- $I_{STAB}/I_N = 20,48/5 = 4,096 \text{ A}$

Plotando na característica do relé, o ponto 2 está dentro da zona de bloqueio, não atuando para faltas externas no 230 kV.



**Figura 47. Curva característica de atuação.**

## 8 CONCLUSÃO

Para uma boa atuação da proteção no sistema elétrico de potência, é indiscutível a presença de relés que atendam às mais variadas exigências de proteção, associada à minimização do tempo, manutenção, custo e principalmente danos físicos. Assim, a presença da tecnologia digital nesses equipamentos que compõem o sistema de proteção tem trazido resultados positivos, tanto no desenvolvimento das atividades da operação do sistema elétrico, como nas ações da manutenção do sistema.

Apesar de ainda existirem muitos relés eletromecânicos em operação, constatou-se a importância da evolução dos relés, que pode ser verificada pela simplicidade de sua parametrização, pois está diretamente ligada ao fato do *software* possuir um modo bastante visual e aos vários tópicos de ajuda contidos no DIGSI para cada finalidade desejada.

Abordou-se o tema da integração dos protocolos de comunicação, onde a tendência das futuras soluções para os sistemas de proteção deve incluir o protocolo IEC 61850, porém apenas em subestações projetadas para admitirem esse novo padrão.

Ilustrou-se de forma rápida um exemplo de caso real de um relé SIPROTEC de parametrização e o cálculo de ajustes para a proteção diferencial do gerador, com a finalidade de tornar a teoria um pouco mais válida e prática com a inserção desses equipamentos de proteção à modernização de uma subestação. Constatando-se a eficácia do referido relé, no sistema de proteção da usina de Paulo Afonso III, através dos cálculos efetuados para a proteção diferencial do gerador (87G), obtendo valores que quando alocados na curva característica de atuação ficaram na zona de bloqueio, sem estar na zona de trip, ou seja, ele se comportou satisfatoriamente diante dos resultados obtidos, assegurando uma boa atuação.

## 9 BIBLIOGRAFIA

- [1] J. A. Jardini, *Digital Systems for Automation of the Generation, Transmission and electric power Distribution*, Academic Edition, 1996.
- [2] J. A. P. Moutinho, *Procedure for Automatic Restoration of Power Systems: a Practical Application to the Boa Vista Substation*. MSc. Dissertation, Department of Electrical Engineering, University of Brasilia, Brazil, February, 2003.
- [3] Wonderware Corporation, *User's Guide of the Software InTouch*, December, 1997.
- [4] CAMINHA, A. C. *Introdução à Proteção dos Sistemas Elétricos*, São Paulo: Editora Edgard Blucher LTDA, 1977;
- [5] KINDERMANN, G. *Proteção de sistemas elétricos de potência*. 2. ed. [S.l.]: LabPlan, 2005.
- [6] CHEMIN NETTO, U.; *Aplicações de controle e supervisão distribuídas em subestações de energia elétrica através do uso de relés digitais de proteção*. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, 2008.
- [7] COURY, D. V.; OLESKOVICZ, M.; GIOVANINI, R. *Proteção digital de sistemas elétricos de potência: dos relés eletromecânicos aos microprocessados inteligentes*. 1. Ed. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2007.v. 1. 378 p.
- [8] IEC61850\_STARTUP\_A2\_EN
- [9] PEREIRA, A. C. *Sistemas de Proteção e Automação de Subestações de Distribuição e Industriais Usando a Norma IEC 61850. Décimo Terceiro Encontro Regional Iberoamericano de Cigré*, Puerto Iguazú. Argentina, Maio 2009.
- [10] *Proteção de sistemas elétricos de potência- 2ª edição- curso de engenharia em sistemas elétricos de potência, série P.T.I- convênio Eletrobrás/UFSM- Santa Maria RS 1983.*

[11] Carlos André S. Araújo, José Roberto R. Cândido, Flávio Camara de Souza, Marcos Pereira Dias – *Proteção de sistemas elétricos*- Editora Interciência-Light- Rio de Janeiro 2002.

[12][http://siemens.siprotec.de/download\\_neu/devices/7UM62x/Manual/7UM62xx\\_Manual\\_A2\\_V040100\\_pt.pdf](http://siemens.siprotec.de/download_neu/devices/7UM62x/Manual/7UM62xx_Manual_A2_V040100_pt.pdf)

[13] Arquivo pessoal da CHESF: modernização do sistema de controle da usina USU de Paulo Afonso III.

## 10 ANEXOS



Figura 48: Vista Frontal PNL. Digital de Controle e Proteção Siemens. Responsável pela comunicação entre os reles digitais Siemens.



Figura 49: Vista frontal das unidades de controle e proteção Unidades de BAY Siemens (7SS5200, 7S5255).  
Siemens -SE Açu