

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

BRUNO FRANCISCO ALVES DA ROCHA  
HENRIQUE ROEDER CREPLIVE  
MARCELO BISS DA CRUZ

**ANÁLISE, PARAMETRIZAÇÃO E SIMULAÇÃO DO RELÉ DIFERENCIAL SEL-387  
COM AUXÍLIO DO SOFTWARE ACSELERATOR QUICKSET®**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA  
2011

BRUNO FRANCISCO ALVES DA ROCHA  
HENRIQUE ROEDER CREPLIVE  
MARCELO BISS DA CRUZ

**ANÁLISE, PARAMETRIZAÇÃO E SIMULAÇÃO DO RELÉ DIFERENCIAL SEL-387  
COM AUXÍLIO DO SOFTWARE ACSELERATOR QUICKSET®**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso de Engenharia Industrial Elétrica – Ênfase em Eletrotécnica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.  
Orientador: Prof. Wanderley Szlichta, M.Sc.

CURITIBA  
2011

## RESUMO

ALVES DA ROCHA, Bruno Francisco; CREPLIVE, Henrique Roeder; BISS DA CRUZ, Marcelo. **Análise, parametrização e simulação do relé diferencial SEL-387 com auxílio do software AcSELerator QuickSet®**. 2011. 102f. TCC (Trabalho de Conclusão de Curso) – Engenharia Industrial Elétrica – ênfase em eletrotécnica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2011.

O presente trabalho foi desenvolvido para mostrar como se comporta o relé SEL-387 durante a realização de ensaios. O interesse do desenvolvimento do presente trabalho surgiu devido à importância e à complexidade da proteção de sistemas elétricos. É necessário um conhecimento a respeito dos relés para compreender melhor o funcionamento de um Sistema Elétrico de Potência. Este trabalho abordará a descrição dos ensaios realizados no relé modelo SEL-387, da marca Schweitzer junto à Mala de Testes Trifásica para relés Modelo CMC 256-6, da marca Omicron. Houve uma abordagem a respeito da estrutura e funcionamento dos relés, descrevendo sua história e evolução, diferentes vantagens e desvantagens dos relés digitais em relação aos eletromecânicos e descrição das funções de sobrecorrente e diferencial.

**Palavras-Chave:** Sistema Elétrico de Potência. Ensaios. Relé SEL-387. Mala de Testes Trifásica.

## ABSTRACT

ALVES DA ROCHA, Bruno Francisco; CREPLIVE, Henrique Roeder; BISS DA CRUZ, Marcelo. **Analisis, parametrization and simulation of the diferencial relay SEL-387 aided by AcSELerator QuickSet® software**. 2011. 102p. Final Course Work – Electrical Industrial Engineering course – Electrotechnical emphasis. Federal Technological University of Paraná. Curitiba, 2011.

The present study was developed to show how SEL-387 relay works during testing procedures. The reason of the development of this work emerged because of the importance and complexity of the protection of electrical systems. It requires knowledge about the relays to better understand the operation of an Electric Power System. This paper will describe the tests performed in the Schweitzer SEL-387 relay with the Omicron three-phase relay test set CMC 256-6 model. There was an approach regarding the structure and operation of the relays, describing its history and evolution, different advantages and disadvantages of digital relays compared to electromechanical and overcurrent and differential functions description.

**Key-words:** Electric Power System, Relay Test, Three-phase test set.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Vista esquemática de um relé eletromecânico de corrente RSA da Cdc.	23
Figura 2 – Relé eletromecânico.....	23
Figura 3 – Subsistemas do sistema de proteção.....	26
Figura 4 – Representação lógica dos relés de proteção. ....	27
Figura 5 – Religamento automático sobre falta fase-fase, com evolução para falta trifásica e falha do disjuntor (contato 52A). ....	35
Figura 6 – Falta Fase-Terra com disparo e religamento monopolar na fase A-G e posterior disparo tripolar.....	36
Figura 7 – Falta Fase-Fase (AB) no lado delta do transformador 138/13,8kV – 25MVA, com atuação do relé em 1 ciclo. ....	37
Figura 8 – Estrutura física de um relé e seu símbolo elétrico.....	38
Figura 9 – Acionamento isolado com relé .....	38
Figura 10 – Circuito de auto-retenção .....	39
Figura 11 – Representação da proteção diferencial percentual .....	40
Figura 12 – Representação da proteção diferencial amperimétrica .....	41
Figura 13 – Circulação de corrente em condição normal de operação ou em condição de defeito fora da zona protegida .....	42
Figura 14 – Circulação de corrente em condição de defeito .....	43
Figura 15 – Zonas de Proteção .....	45
Figura 16 – Princípio de Operação do relé de sobrecorrente.....	46
Figura 17 – Característica do Limiar de operação do relé de impedância .....	48
Figura 18 – Visão frontal do Relé SEL-387.....	49
Figura 19 – Diagrama funcional simplificado do Relé SEL-387.....	51
Figura 20 – Característica de Restrição Diferencial Percentual com Dupla Inclinação.....	53
Figura 21 – Diagrama da Proteção (REF).....	55
Figura 22 – Dois Disjuntores nos Lados de Alta e Baixa.....	57
Fonte: Schweitzer Engineering Laboratories (2001, p. 3). ....	57
Figura 23 – Família de curvas normal inversas.....	59
Figura 24 – Mala de Testes CMC 256-6 da Omicron Eletronics .....	63
Figura 25 – Interface do <i>software</i> Omicron Test Universe .....	65
Figura 26 – Cabo para Comunicação.....	67

Figura 27 – Conexões dos cabos na Mala de Testes CMC 256-6 .....	68
Figura 28 – Esquema de ligação trifásica do relé SEL-387.....	68
Figura 29 – Esquema de Esquema de comunicação entre o computador e o relé SEL-387 .....	70
Figura 30 – Esquema de comunicação entre o computador e a Mala de Testes CMC 256-6 e ligação trifásica entre a mala de testes e o relé SEL-387 .....	70
Figura 31 – Conexões dos Equipamentos utilizados nos ensaios.....	71
Figura 32 – Visualização da tela para ajuste de valores .....	73
Figura 33 – Esquema da Proteção Diferencial .....	76
Figura 34 – Visualização do Teste Diferencial pelo <i>software</i> OMICRON.....	77
Figura 35 – Visualização da Tela do Relé para o ensaio diferencial .....	78
Figura 36 – Visualização da oscilografia com gráfico de disparo do relé SEL-387 ...	79
Figura 37 – Diagrama Fasorial das correntes. ....	80
Figura 38 – Diagrama Lógico do Relé (Função Diferencial).....	80
Figura 39 – Visualização da Condição de Equilíbrio .....	82
Figura 40 – Visualização da Tela do Relé para o ensaio da condição de equilíbrio..	83
Figura 41 – Visualização dos valores para o ensaio da condição de equilíbrio .....	84
Figura 42 – Visualização da Condição de Equilíbrio para sobrecarga .....	85
Figura 43 – Visualização da tela do relé para o ensaio da condição de equilíbrio para sobrecarga .....	86
Figura 44 – Visualização dos valores do ensaio da condição de equilíbrio para sobrecarga .....	87
Figura 45 – Visualização do ensaio da Curva de Inclinação .....	88
Fonte: Autoria Própria. ....	88
Figura 46 – Visualização da tela do relé para o ensaio da curva de inclinação .....	89
Fonte: Autoria Própria. ....	89
Figura 47 – Visualização dos valores das correntes do relé para o ensaio da curva de inclinação. ....	90
Figura 48 – Visualização do ensaio com 14% de correntes harmônicas .....	91
Figura 49 – Visualização da oscilografia do ensaio com 14% de corrente harmônicas.....	92
Figura 50 – Visualização de harmônicos da corrente IAW1 .....	93
Figura 51 – Visualização do ensaio com 16% de correntes harmônicas .....	94

Figura 52 – Visualização da tela do relé para o ensaio com 16% de correntes harmônicas.....	95
Figura 53 – Teste de Temporização com 8A.....	96
Figura 54 – Visualização do Ensaio de Sobrecorrente para a aplicação de 8A .....	97
Figura 55 – Teste de Temporização com 10A.....	98
Figura 56 – Visualização da Oscilografia do Ensaio Temporizado.....	99
Figura 57 – Gráfico da Corrente de Operação x Corrente de restrição.....	101
Figura 58 – Gráfico de Curvas Inversas.....	102
Figura 59 – Gráfico de Curvas Inversas.....	103

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Classe de exatidão dos TCs.....	33
Tabela 2 – Classe de exatidão dos TPs.....	34
Tabela 3 – Curvas de Sobrecorrente Temporizadas.....	58
Tabela 4 – Identificação das Correntes no relé SEL-387.....	69

**LISTAS DE ABREVIATURAS, SIGLAS E UNIDADES**

87R	- Elemento Diferencial com Restrição
87U	- Elemento Diferencial sem Restrição (instantâneo)
A	- Ampères
ASCII	- American Standard Code for Information Interchange
CC	- Grandezas (Tensão e Corrente) contínuas
CTR	- Current Transformer Ratio
DC	- Direct Current
DCRB	- Bloqueio de relação da corrente diferencial
DNP	- Distributed Network Protocol
E87W1	- Ajuste do Elemento Diferencial para o enrolamento 1
E87W2	- Ajuste do Elemento Diferencial para o enrolamento 2
E87W3	- Ajuste do Elemento Diferencial para o enrolamento 3
E87W4	- Ajuste do Elemento Diferencial para o enrolamento 4
IEC	- International Electrotechnical Commission
EIA	- Electronic Industries Alliance
EOC1	- Habilitação dos Elementos de Sobrecorrente para enrolamento 1
EOC2	- Habilitação dos Elementos de Sobrecorrente para enrolamento 2
EOC3	- Habilitação dos Elementos de Sobrecorrente para enrolamento 3
EOC4	- Habilitação dos Elementos de Sobrecorrente para enrolamento 4
Hz	- Hertz
I/O	- In/Out
IA	- Corrente na fase A
IB	- Corrente na fase B
IC	- Corrente na fase C
I <sub>A</sub> W1	- Corrente na fase A do enrolamento 1
I <sub>B</sub> W1	- Corrente na fase B do enrolamento 1
I <sub>C</sub> W1	- Corrente na fase C do enrolamento 1
IG	- Corrente residual (terra)
I <sub>N</sub>	- Corrente nominal
I <sub>0</sub>	- Corrente de sequência 0
I <sub>1</sub>	- Corrente de sequência 1
I <sub>2</sub>	- Corrente de sequência 2

If	- Corrente de defeito
Ip	- Corrente do secundário do TC
Iprim	- Corrente do primário do transformador
Isec	- Corrente do secundário do transformador
IOP	- Corrente de Operação
IRT1	- Corrente Diferencial de Restrição na fase A
IRT2	- Corrente Diferencial de Restrição na fase B
IRT3	- Corrente Diferencial de Restrição na fase C
IRS1	- Ajuste do ponto de transição da inclinação
IRIG	- Inter Range Instrumentation Group
L	- Indutância
LCD	- Liquid Cristal Display
LMD	- Linguagem de Manipulação de Dados
NA	- Normalmente Aberto
NF	- Normalmente Fechado
O87P	- Elemento Diferencial
ONS	- Operador Nacional do Sistema
PCT2	- Ajuste do Bloqueio de 2° harmônico
PCT4	- Ajuste do Bloqueio de 4° harmônico
R	- Resistência
REF	- Restricted Earth Fault
s	- Segundos
SEL	- Schweitzer Engineering Laboratories
SEP	- Sistema Elétrico de Potência
SER	- Sequential Events Recorder
SLP1	- Ajuste da primeira inclinação
SLP2	- Ajuste da segunda inclinação
TF-1	- Transformador 1
TAP1	- Ajuste do tape de 230kV
TAP2	- Ajuste do tape de 138kV
TAP3	- Ajuste do tape de 13,8kV
TC	- Transformador de Corrente
TC1	- Transformador de Corrente 1
TC2	- Transformador de Corrente 2

TP	- Transformador de Potencial
V	- Volts
VCC	- Tensão de corrente contínua
VWDG	- Tensão nominal fase-fase do enrolamento
W1	- Enrolamento 1
W2	- Enrolamento 2
W3	- Enrolamento 3
W4	- Enrolamento 4
W1CT	- Conexão do TC para o enrolamento 1
W2CT	- Conexão do TC para o enrolamento 2
W3CT	- Conexão do TC para o enrolamento 3
W4CT	- Conexão do TC para o enrolamento 4

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	15
1.1.	TEMA.....	15
1.1.1.	Delimitação do Tema.....	15
1.2.	PROBLEMAS E PREMISSAS .....	16
1.3.	OBJETIVOS.....	17
1.3.1.	Objetivo Geral.....	17
1.3.2.	Objetivos Específicos .....	17
1.4.	JUSTIFICATIVA.....	17
1.5.	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	18
1.6.	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	19
2.	RELÉS DE PROTEÇÃO .....	22
2.1.	HISTÓRIA DOS RELÉS .....	22
2.2.	RELÉS.....	25
2.3.	CLASSIFICAÇÃO DOS RELÉS.....	28
2.4.	VANTAGENS DOS RELÉS DIGITAIS.....	30
2.5.	SUBSISTEMAS .....	32
2.6.	OSCILOGRAFIA.....	34
2.7.	PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DOS RELÉS .....	37
2.8.	PROTEÇÃO DIFERENCIAL DE TRANSFORMADORES .....	39
2.8.1.	Relé Diferencial Percentual .....	40
2.8.2.	Relé Diferencial Amperimétrico .....	41
2.8.3.	Condições de Operação.....	42
2.9.	CONCEITOS DE COORDENAÇÃO E SELETIVIDADE .....	43
2.10.	ZONAS DE PROTEÇÃO .....	44
2.11.	FILOSOFIAS DE PROTEÇÃO.....	46
2.11.1.	Relés de Sobrecorrente.....	46
2.11.2.	Relés de Distância.....	47
3.	RELÉ SEL-387.....	49
3.1.	RELÉ SEL-387 .....	49
3.2.	FUNÇÃO DE PROTEÇÃO.....	52
3.2.1.	Elementos Diferenciais de Corrente .....	53
3.2.2.	Proteção de Falta à Terra Restrita (REF).....	55

3.2.3.	Proteção de Sobrecorrente .....	56
3.3.	FUNÇÕES DE MONITORAMENTO .....	60
3.4.	FUNÇÕES DE MEDIÇÃO.....	60
3.5.	FUNÇÕES DE CONTROLE .....	61
3.6.	INTEGRAÇÃO .....	61
3.7.	LÓGICAS ADICIONAIS .....	61
3.8.	OUTRAS CARACTERÍSTICAS .....	62
4.	CARACTERÍSTICAS DA MALETA DE TESTES OMICRON CMC 256-6.....	63
4.1.	INICIANDO O SISTEMA DE TESTES.....	64
4.2.	FUNÇÕES E CONFIGURAÇÕES .....	64
4.3.	QUALIDADE E PRECISÃO .....	64
5.	SOFTWARE OMICRON TESTE UNIVERSE.....	65
6.	ENSAIOS.....	66
6.1.	INTRODUÇÃO.....	66
6.2.	EQUIPAMENTOS UTILIZADOS.....	66
6.2.1.	Cabos .....	66
6.3.	MONTAGEM DOS EQUIPAMENTOS .....	67
6.4.	CONFIGURAÇÕES E AJUSTES DO RELÉ SEL-387 .....	71
6.4.1.	Ajustes dos TAPs e relações de TCs do relé .....	71
6.4.2.	Conexões de TCs.....	73
6.4.3.	Elemento Diferencial .....	73
6.4.4.	Bloqueio por 2º Harmônico.....	74
6.4.5.	Restrição Percentual .....	74
6.4.6.	Habilitação dos Elementos Diferenciais .....	74
6.5.	ENSAIO DIFERENCIAL.....	76
6.6.	ENSAIO PARA VERIFICAÇÃO DA CONDIÇÃO DE EQUILÍBRIO.....	81
6.7.	ENSAIO PARA VERIFICAÇÃO DA CONDIÇÃO DE EQUILÍBRIO PARA SOBRECARGA.....	84
6.8.	ENSAIO DA CURVA DE INCLINAÇÃO .....	87
6.9.	ENSAIO COM 14% DE HARMÔNICOS .....	90
6.10.	ENSAIO COM 16% DE HARMÔNICOS .....	93
6.11.	ENSAIO DE TEMPORIZAÇÃO COM 8A .....	96
6.12.	ENSAIO DE TEMPORIZAÇÃO COM 10A .....	97
6.13.	CURVA DA CORRENTE DE RESTRIÇÃO X CORRENTE DE OPERAÇÃO .....	99

6.14. PARAMETRIZAÇÃO DO RELÉ SEL-387 .....	102
7. CONCLUSÃO .....	105
8. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS .....	107
9. REFERÊNCIAS .....	108
10. CRONOGRAMA .....	112

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. TEMA

Análise, parametrização e simulação do relé diferencial SEL-387 com auxílio do *software* AcSELerator QuickSet®.

### 1.1.1. Delimitação do Tema

Desde 1837, quando Samuel Morse usou um eletroímã para criar o telégrafo, relés participam em grande escala do processo de modernização mundial, auxiliando em diversas necessidades do ser humano.

Na área de sistemas elétricos de potência, relés são amplamente utilizados, seja na proteção, controle ou automação de sistemas. Com o desenvolvimento da tecnologia da informação e a necessidade de se aprimorar sistemas de proteção, relés eletromecânicos se tornaram ultrapassados e suas limitações evidentes. Atualmente, o advento de processadores digitais de alta capacidade e a expressiva evolução dos sistemas de comunicação digital originaram um cenário de quase total domínio dos novos sistemas de proteção elétrica por relés numéricos digitais. Esse panorama reflete a necessidade de maior incentivo ao estudo dessa classe de equipamentos pelos acadêmicos, uma vez que o mercado demanda profissionais capacitados a operá-los.

Este trabalho abordará o estudo sobre relés diferenciais e seu comportamento em condições reais de operação num sistema elétrico, analisando seus parâmetros para um melhor entendimento sobre seu funcionamento sob diferentes aspectos.

O relé diferencial SEL-387, objeto de estudo desse trabalho, fabricado pela Schweitzer Engineering Laboratories, foi doado pela mesma empresa para a Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O estudo tem a finalidade de auxiliar na sua parametrização, que envolve um levantamento de dados fornecidos pelo fabricante, assim como aspectos construtivos dessa categoria de relé, limitações dentro da necessidade para a qual o relé é designado e ambientação com o

*software* do fabricante, assemelhando-se ao processo realizado em empresas que utilizam esses equipamentos de proteção. Partindo desse estudo, será desenvolvida uma situação teste, na qual o relé será parametrizado para proteger um transformador com características arbitradas previamente, sendo avaliadas as funções diferencial e de sobrecorrente desse modelo de relé através de *softwares* disponibilizados gratuitamente no sítio eletrônico do fabricante.

## 1.2. PROBLEMAS E PREMISSAS

A transição de equipamentos de proteção apresentada promove uma necessidade de maior incentivo ao estudo de relés digitais na universidade, sendo que há falta de contato de alunos com equipamentos de proteção, resultando na falta de capacitação de estudantes de engenharia elétrica para trabalhar na área de proteção de sistemas elétricos de potência, especificamente na parametrização e ensaios de relés digitais.

Atualmente, a carência de bibliografias e a demanda crescente de serviços de infraestrutura refletem a necessidade de maior pesquisa na área de proteção de sistemas de potência.

Devido à importância que os sistemas elétricos têm atualmente, são necessários estudos, realização de ensaios, parametrização dos equipamentos de proteção e domínio de seus mecanismos de seletividade de atuação em caso de um problema na rede elétrica, gerando experiência e conhecimento para que a universidade acompanhe a tecnologia de proteção de sistemas elétricos de potência atual e para que, futuramente, esteja na vanguarda do desenvolvimento de inovações nessa área, que está em ascensão.

### 1.3. OBJETIVOS

#### 1.3.1. Objetivo Geral

Estudar, realizar ensaios e analisar experimentalmente o comportamento do relé diferencial SEL-387 através da mala de testes, modelo OMICRON CMC 256-6, traçando curvas características de corrente e disparo do relé devido à atuação de suas funções de proteção.

#### 1.3.2. Objetivos Específicos

- Estudar o princípio de funcionamento de relés diferenciais e descrever o funcionamento do relé diferencial numérico SEL-387;
- Levantar as curvas características das funções diferencial e de sobrecorrente;
- Parametrizar o relé conforme o sistema desenvolvido;
- Testar o funcionamento do relé diferencial SEL-387;
- Elaborar a descrição dos ensaios do relé.

### 1.4. JUSTIFICATIVA

A proteção de sistemas elétricos é muito importante, independente do seu porte, sejam eles uma pequena subestação, uma usina hidrelétrica, linhas de transmissão, geradores ou transformadores. A confiabilidade de sistemas elétricos de potência é cada vez mais exigida pelo Operador Nacional do Sistema - ONS, resultado da grande dependência do crescimento econômico da oferta e constância de energia. Nos dias atuais, a busca por solucionar problemas relacionados com a área de proteção de sistemas elétricos vem se tornando cada vez mais importante.

Neste contexto, a engenharia assume o seu papel para o desenvolvimento de tecnologias que promovam a diminuição dos problemas relacionados à proteção de sistemas elétricos. Além disso, quanto mais rápida for a resposta da engenharia

aos problemas em confiabilidade, seletividade e segurança dos sistemas elétricos, mais cedo os consumidores serão beneficiados assim como o sistema elétrico.

Os relés são importantes para que esses sistemas elétricos operem devidamente e garantam que equipamentos essenciais ao sistema sejam preservados, como é o caso do relé diferencial.

Com o crescimento do uso de teleproteção e impulsionado pela aderência à integração de sistemas de supervisão, podemos presenciar um processo de substituição de relés convencionais por relés digitais. Como citado por Kindermann (1999), a tendência mundial de aquisição de relés de proteção por empresas do segmento se volta aos relés digitais, já que eles apresentam maiores vantagens, são mais confiáveis que relés eletromecânicos e estáticos. Esses relés, por sua vez, são muito caros comparados à receita de uma universidade, tornando-se muitas vezes inacessíveis aos alunos de graduação.

O fornecimento de relés às universidades torna possível uma reversão desse quadro, uma vez que permite que alunos de engenharia elétrica tenham contato com estes equipamentos ainda na academia, tornando-os profissionais mais capacitados para suprir essa demanda.

## 1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Tendo definidos os objetivos e a estrutura do trabalho, será necessário realizar testes no relé diferencial SEL-387, para condições de operação. Através do estudo de suas características e do seu comportamento, pode-se obter uma melhor visualização do que ocorre com um relé em seus diversos casos.

O trabalho envolverá todos os integrantes do grupo na realização de ensaios no relé SEL-387 com auxílio do professor orientador Wanderley Szlichta. Os testes serão realizados com auxílio da mala de testes CMC 256-6, junto a computadores para avaliação das funções do relé diferencial em estudo. O registro de eventos será realizado pela função de oscilografia implícita no relé SEL-387.

Após analisar o funcionamento do relé, será feito um estudo através dos gráficos obtidos das oscilografias, explicando o seu comportamento nos diferentes estágios dos ensaios.

Ao final serão relatados os resultados, as avaliações, e algumas considerações sobre os estudos realizados.

## 1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho será estruturado da seguinte maneira:

### Capítulo 1 – Introdução Geral

1. Introdução
  - 1.1. Tema
    - 1.1.1. Delimitação do Tema
  - 1.2. Problemas e Premissas
  - 1.3. Objetivos
    - 1.3.1. Objetivo geral
    - 1.3.2. Objetivos específicos
  - 1.4. Justificativa
  - 1.5. Procedimentos metodológicos
  - 1.6. Estrutura do trabalho

### Capítulo 2 – Referenciais Teóricos

2. Relés de Proteção
  - 2.1. História Dos Relés
  - 2.2. Relés
  - 2.3. Classificação dos Relés
  - 2.4. Vantagem dos Relés Digitais
  - 2.5. Subsistemas
  - 2.6. Oscilografia
  - 2.7. Princípio de Funcionamento dos Relés
  - 2.8. Proteção Diferencial de Transformadores
    - 2.8.1. Relé Diferencial Percentual
    - 2.8.2. Relé Diferencial Amperimétrico
    - 2.8.3. Condições de Operação
  - 2.9. Conceitos de Coordenação e Seletividade
  - 2.10. Zonas de Proteção
  - 2.11. Filosofias de Proteção

2.11.1. Relés de Sobrecorrente

2.11.2. Relés de Distância

### Capítulo 3 – Relé SEL-387

3.1. Relé SEL-387

3.2. Função de Proteção

3.2.1. Elementos Diferenciais de Corrente

3.2.2. Proteção de Falta à Terra Restrita (REF)

3.2.3. Proteção de Sobrecorrente

3.3. Funções de Monitoramento

3.4. Funções de Medição

3.5. Funções de Controle

3.6. Integração

3.7. Lógicas Adicionais

3.8. Outras características

### Capítulo 4 – Características da Maleta de Testes OMICRON CMC-256

4.1. Iniciando o Sistema de Testes

4.2. Funções e Configurações

4.3. Qualidade e Precisão

### Capítulo 5 – Software OMICRON Test Universe

### Capítulo 6 – Ensaaios

6.1. Introdução

6.2. Equipamentos utilizados

6.2.1 Cabos

6.3. Montagem dos Equipamentos

6.4. Configurações e Ajustes do Relé SEL-387

6.4.1. Ajustes dos TAPs e relações de TCs do relé

6.4.2. Conexões de TCs

6.4.3. Elemento Diferencial

6.4.4. Bloqueio por 2º Harmônico

6.4.5. Restrição Percentual

6.4.6. Habilitação dos Elementos Diferenciais

6.4.7. Habilitação dos Elementos de Sobrecorrente e Demanda

6.5. Ensaio Diferencial

6.6. Ensaio para Verificação da Condição de Equilíbrio

- 6.7. Ensaio para Verificação da Condição de Equilíbrio para Sobrecarga
- 6.8. Ensaio da Curva de Inclinação
- 6.9. Ensaio com 14% Harmônicos
- 6.10. Ensaio com 16% Harmônicos
- 6.11. Ensaio de Temporização com 8A
- 6.12. Ensaio de Temporização com 10A
- 6.13. Curva da Corrente de Restrição x Corrente de Operação
- 6.14. Parametrização do Relé SEL-387

Capítulo 7 – Conclusão

Capítulo 8 – Sugestão para trabalhos futuros

– Referências

## 2. RELÉS DE PROTEÇÃO

Este capítulo fará uma breve apresentação sobre os sistemas de proteção elétrica, comparando os diferentes tipos de relés, abordando um pouco da história e do processo de evolução dos mesmos.

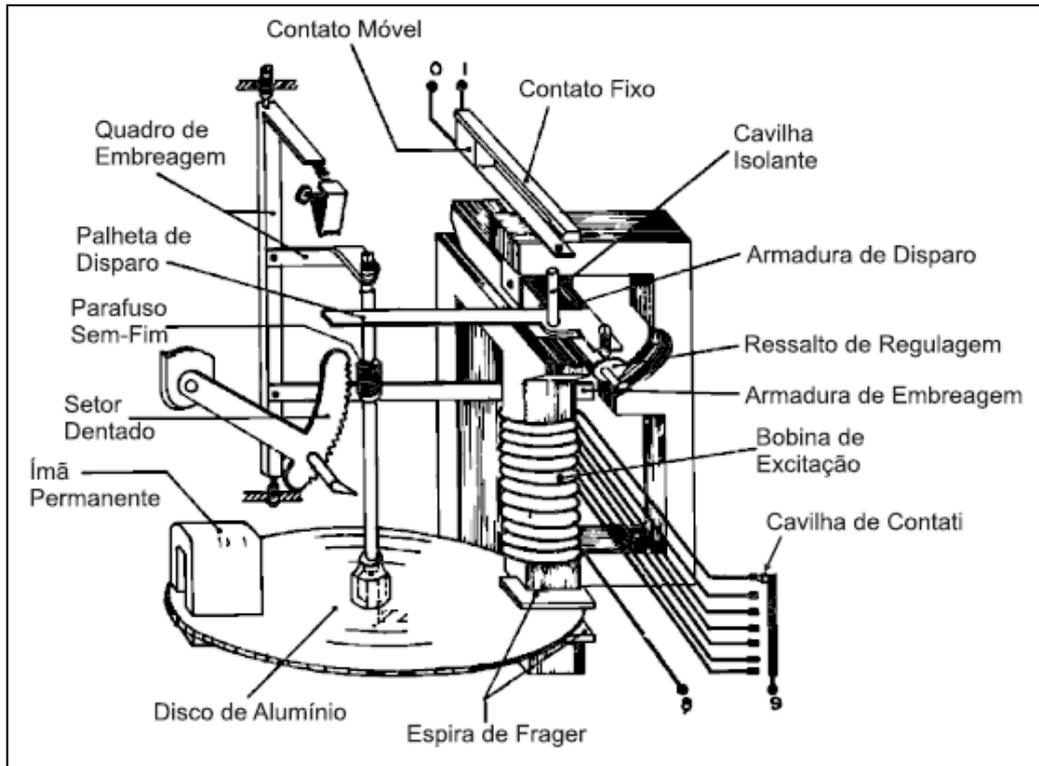
### 2.1. HISTÓRIA DOS RELÉS

A presença de relés de proteção é essencial no funcionamento de Sistemas de Potência modernos, sendo sua operação diretamente dependente dos tipos comercialmente disponíveis e de seu tipo. Ao longo dos anos, os relés passaram por profundas mudanças. A evolução contínua desses dispositivos é uma consequência da necessidade do estabelecimento de novas condições operacionais para aumentar a confiabilidade e diminuir os prejuízos causados por problemas decorrentes na rede elétrica.

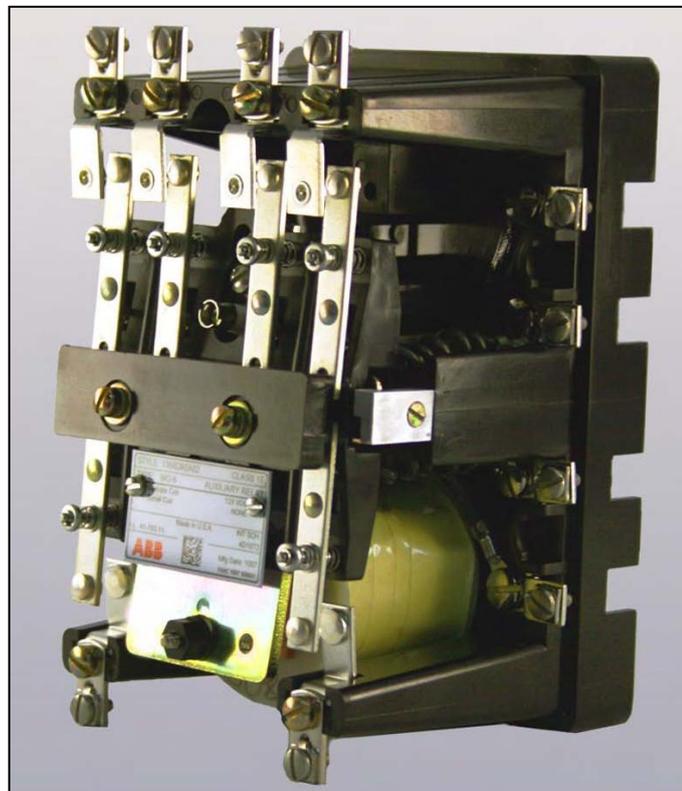
O relé de proteção é um dispositivo destinado a detectar anormalidades no sistema elétrico, atuando diretamente sobre um equipamento ou um sistema, retirando de operação os equipamentos e componentes envolvidos com a anormalidade, acionando circuitos de alarme quando necessários. Por outro lado, também pode ser o elemento que satisfaz certas condições de anormalidades, permitindo a energização de um equipamento ou de um sistema (ARAÚJO et al, 2002, p. 33).

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, 1996).

Este relé era constituído por um disco ou um cilindro, como se fosse um motor e denominado relé de proteção. As figuras 1 e 2 a seguir, ilustram esse tipo de relé.



**Figura 1 – Vista esquemática de um relé eletromecânico de corrente RSA da Cdc.**  
**Fonte: Caminha (1977, p. 26)**



**Figura 2 – Relé eletromecânico**  
**Fonte: ABB (2011).**

É importante ressaltar que os relés eletromecânicos atuam através de forças criadas da combinação de sinais de entrada como corrente, tensão, com a energia armazenada em molas espirais ou em dispositivos de amortecimento de choques de vibração (HOROWITZ; PHADKE, 1996).

Tais equipamentos podem utilizar múltiplos sinais de entrada, porém só executam um determinado tipo de função.

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). Eles se baseiam no deslocamento de massa por influência de um campo magnético, fenômeno inicialmente observado por Galileu Ferraris e posteriormente utilizado para a criação do primeiro contator à indução.

Com o passar do tempo, os relés eletromecânicos e estáticos passaram a ser substituídos pelos relés digitais, já que estes apresentam uma grande economia em manutenção, custos de aquisição e implantação. Como os relés digitais não possuem interferências em sua atuação por falta de pressão das molas, poeiras acumuladas e não precisam de lubrificações, não há necessidade de uma calibração periódica. Os relés eletromecânicos por sua vez, devido à grande quantidade de peças móveis e pelo aspecto construtivo, requerem muito tempo para calibração e manutenção.

A expansão do sistema de potência, a necessidade de equipamentos de proteção mais confiáveis, com melhor desempenho e maior velocidade, foram alguns dos fatores para o desenvolvimento de novos equipamentos. A partir dessas novas necessidades, foi criado um relé que possuía dispositivos semicondutores (BARBOSA, 2007, p. 23).

O relé estático, desenvolvido logo após o relé eletromecânico, não possui movimentos mecânicos. Esse modelo de relé é mais compacto que o relé eletromecânico, abrange diversas funções, porém é mais suscetível às variações de temperatura e umidade.

A partir do desenvolvimento da tecnologia e do sistema de potência, surgiram os relés digitais. Esses relés possuem a vantagem de serem controlados a partir de um *software* específico, onde são controlados os dados de entrada como tensão e corrente. Através desses relés foram solucionados muitos problemas, antes limitados pelos relés eletromecânicos e estáticos.

A partir da década de 70, houve um significativo avanço no que diz respeito aos relés. A velocidade de processamento aumentou bastante, assim como o desenvolvimento computacional, surgimento de novos *hardwares*, consumo de

potência e custos mais reduzidos. Atualmente, mesmo com o desenvolvimento de *softwares* e o avanço tecnológico, a identificação das faltas num sistema de proteção pode ser pouco precisa, devido a sua complexidade. Por esse motivo, vem surgindo novos conceitos de proteção adaptativa, que se ajustam à proteção de acordo com mudanças nas condições do sistema.

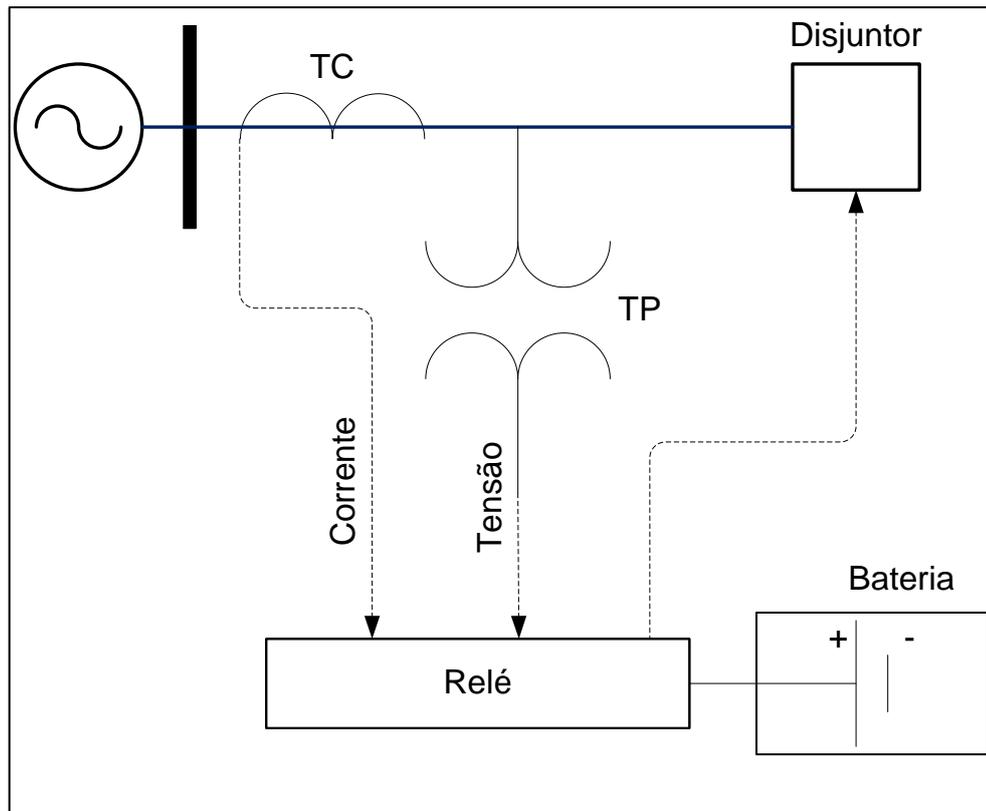
## 2.2. RELÉS

Os relés de proteção são dispositivos compactos que são conectados ao SEP e possuem características de projeto e funcionamento para detectar condições anormais de operação que ultrapassem os limites preestabelecidos e na inicialização de ações corretivas que possibilitem o retorno do SEP ao seu estado normal (HOROWITZ; PHADKE, 1996). Tais equipamentos, tanto lógicos ou digitais, são responsáveis pela análise de grandezas elétricas da rede elétrica e pela lógica que será responsável pela tomada de decisão pelo sistema de proteção, em caso de distúrbio na rede.

Além da função do relé de reduzir os efeitos de curtos-circuitos e de outras condições anormais de operação, eles ainda têm a importante função de identificar o tipo de distúrbio, bem como sua localização, possibilitando uma melhor análise e assim, uma melhor tomada de decisões (MASON, 1956).

Todavia, o sistema de proteção não é composto apenas pelo relé, mas por um conjunto de subsistemas integrados que interagem entre si com o objetivo de produzir a melhor atuação sobre o sistema, ou seja, isolar a área defeituosa sem que esta comprometa o restante do Sistema Elétrico de Potência. Tais subsistemas são compostos por relés, disjuntores, transformadores de instrumentação e pelo sistema de suprimento de energia (PHADKE; THORP, 1994).

A figura 3 ilustra tais subsistemas:



**Figura 3 – Subsistemas do sistema de proteção.**

**Fonte: Adaptado de Barbosa (2007, p. 20).**

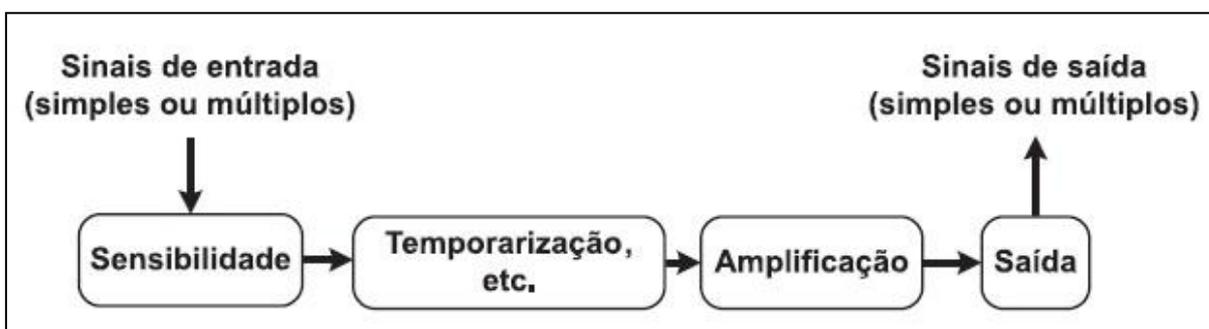
As principais funções de cada sistema são:

- Relés: responsáveis pela lógica de atuação do sistema de proteção, que mediante os sinais de entrada, tensão e/ou corrente, atuam sobre os disjuntores locais ou remotos associados;
- Disjuntores: interrompem a passagem de corrente e isolam o ramo defeituoso do resto do SEP;
- Transformadores de instrumentação (transdutores): realizam a redução dos níveis de tensão e/ou corrente, reproduzem as formas de onda presentes no sistema elétrico e isolam os equipamentos a estes conectados, sem que haja perda de informação;
- Baterias (suprimento auxiliar): fornecem energia ao sistema de proteção em caso de falha do sistema supridor, de modo a garantir o funcionamento dos outros subsistemas associados.

Os relés são considerados os mais importantes componentes do sistema de proteção, pois são responsáveis pela decisão lógica sobre a atuação do sistema de proteção. Por isso, eles devem ser extremamente confiáveis e robustos, pois sua atuação será exigida em condições anormais de operação.

Contudo, os relés dependem diretamente dos transformadores de instrumentação, pois recebem os sinais fornecidos pelos secundários dos transdutores, que são os analógicos (TCs e TPs) ou digitais (TCs ópticos).

A figura 4 ilustra uma representação lógica dos relés de proteção, onde cada bloco representa uma etapa a ser executada pelo relé, tanto o eletromecânico como o digital.



**Figura 4 – Representação lógica dos relés de proteção.**

**Fonte: Barbosa (2007, p. 21).**

É importante frisar que o envio do sinal para a abertura do disjuntor é determinado pelo tipo de função que o relé está executando e suas respectivas subfunções, considerando que a parametrização específica é decorrente da topologia da rede elétrica, da filosofia de proteção adotada e a parte do sistema que se deseja proteger (esta área é denominada zona de proteção).

Estes equipamentos utilizados nos sistemas de proteção, tanto relés como os demais, devem ter algumas características básicas para a realização satisfatória da proteção do sistema. Segundo Blackburn (1987), as propriedades demandadas para o sistema de proteção são:

- **Segurança:** assegurar que o sistema de proteção não acarretará danos aos equipamentos a ele associados e garantir a segurança de quem os opera;

- Confiabilidade: assegurar que a proteção atuará corretamente quando for necessária, sendo capaz de distinguir entre situações de falta e condições normais de operação;
- Seletividade: maximizar a continuidade do serviço de fornecimento de energia, desconectando o mínimo do sistema em situações de falta;
- Velocidade de operação: atuar o mais rápido possível minimizando o tempo de falta a fim de evitar danos ao sistema e aos equipamentos;
- Simplicidade: mínimo de equipamentos de proteção e circuitos associados para executar os objetivos da filosofia de proteção desejada;
- Economia: máxima proteção com o mínimo de custo.

Além dos itens citados, vale ressaltar que é de mesma ou até maior importância a preservação da vida de quem possa estar próximo ao SEP, podendo-se considerar como a principal finalidade dos sistemas de proteção.

É necessário observar que algumas dessas premissas são diretamente influenciadas pelo comportamento dos relés presentes no sistema de proteção, de maneira que as mudanças das características do SEP e suas respectivas cargas, bem como a presença de harmônicos, interferem no funcionamento dos relés, podendo ocasionar possíveis erros de atuação.

### 2.3. CLASSIFICAÇÃO DOS RELÉS

Os relés podem ser classificados de diferentes formas. Podem ser classificados pelo tempo de operação, quanto ao princípio de funcionamento, pela natureza da grandeza atuante, dentre outras formas.

- Quanto ao princípio de funcionamento (COURY; OLESKOVICZ; GIOVANINI, 2007):

\* Relé Diferencial: Esse tipo de relé opera quando duas ou mais grandezas semelhantes entre si excedem um valor pré-determinado pelo projetista. Qualquer falta ocasionará uma diferença entre os vetores atuando na proteção (COURY; OLESKOVICZ; GIOVANINI, 2007);

\* Relé de Distância: Esse tipo de relé responde através da impedância observada entre o relé e a falta, uma vez que a leitura é realizada pela tensão e corrente enquanto a impedância na linha é favoravelmente constante (COURY; OLESKOVICZ; GIOVANINI, 2007);

\* Relé de Magnitude: Esse relé analisa a magnitude dos valores de entrada. Ele atua tanto para valores acima, como abaixo dos valores projetados, sendo esses valores de pico ou eficazes;

\* Relé Direcional: Esse relé tem a capacidade de distinguir a direção do fluxo de corrente. Ele é capaz de distinguir a posição da falta sendo esta na frente ou reversa a sua localização física. Isso é realizado pela análise de ângulo de fase entre a corrente e a grandeza de polarização (COURY; OLESKOVICZ; GIOVANINI, 2007);

\* Relé com Mídia de Comunicação: Este relé utiliza a comunicação de informações entre localizações remotas (COURY; OLESKOVICZ; GIOVANINI, 2007).

● Quanto à ligação do elemento sensitivo (ARAÚJO et al., 2002, p. 34):

\* Primário (conectado diretamente ao circuito de potência);

\* Secundário (conectado aos TCs e Tps).

● Quanto à natureza da grandeza atuante (ARAÚJO et al., 2002, p. 34):

\* Térmico;

\* Mecânico;

\* Elétrico.

● Quanto ao tempo de operação (ARAÚJO et al., 2002, p. 34):

\* Temporizado: É o relé que atua após a passagem de um tempo propositalmente definido após a falta acontecer. Geralmente utilizado como proteção secundária;

\* Instantâneo: Relé que atua imediatamente após verificar a falta;

\* Alta Velocidade: Relé que atua com elevada velocidade após verificar a falta.

## 2.4. VANTAGENS DOS RELÉS DIGITAIS

Há uma grande dificuldade em parametrizar os relés eletromecânicos, pois eles apresentam menor sensibilidade que os relés digitais e possuem ajustes limitados nos valores de correntes. Os relés digitais permitem a utilização de entradas físicas, as quais estarão energizadas ou não dependendo da posição física em que se encontra o disjuntor. As associações destas entradas, utilizando equações lógicas disponíveis nos relés digitais, permitem monitorar em tempo integral e com segurança o estado das bobinas do disjuntor.

As informações que os relés microprocessados obtêm do sistema elétrico podem ser distribuídas para diversos centros de controle ao mesmo tempo. Os relés digitais também trouxeram benefícios na vida útil dos equipamentos de potência.

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

Com a utilização de algoritmos que tratam sinais de saturação de transformadores de correntes e a utilização de seletividade lógica, as faltas são eliminadas cada vez mais rapidamente. As informações que estes relés obtêm do sistema elétrico podem ser distribuídas para diversos centros de controle ao mesmo tempo, uma vez que a evolução dos *softwares* preserva o relé, eliminando o risco de dano e possibilitando um estudo detalhado do comportamento do mesmo.

Atualmente, os relés microprocessados fazem parte das novas subestações, tanto para as áreas industriais como para as concessionárias. Fatores como a multifuncionalidade, custo reduzido em comparação aos relés eletromecânicos e capacidade de serem integrados em rede, tornaram a escolha por este tipo de equipamento óbvia em relação aos equipamentos eletromecânicos e estáticos anteriormente adotados. Além da realização de múltiplas funções, os relés microprocessados trazem algumas vantagens adicionais como:

- Auto-checagem e confiabilidade: 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 (BARBOSA, 2007, p. 24);

- Integração de sistemas e ambiente digital: 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, por exemplo, a coordenação lógica (BARBOSA, 2007, p. 24);
- Flexibilidade funcional e adaptabilidade: talvez uma das principais características dos relés modernos é a 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 aquela nova situação (BARBOSA, 2007, p. 25);
- Redução do custo na faixa de 10 a 20 vezes relativamente aos relés estáticos (COURY; OLESKOVICZ; GIOVANINI, 2007);
- Considerações de custo-benefício: o avanço da microeletrônica e a disseminação desta na aplicação de relés de proteção têm orientado uma redução substancial nos custos dos circuitos digitais, embora, as despesas associadas com os *softwares* tenham aumentado. Todavia, é factível observar que os relés digitais executam diversas funções em uma mesma plataforma, o que diminui a razão do custo/benefício, diferentemente dos tradicionais relés eletromecânicos (BARBOSA, 2007, p. 25);
- Oscilografia e análise de sequência de eventos, ou seja, isso significa a capacidade dos sistemas de proteção em memorizar amostras de quantidades analógicas e diagnosticar o status de contatos num determinado tempo (ARAÚJO et al., 2002, p. 40).

Contudo, essa gama de informações fornecida aliada a um grupo de manutenção devidamente treinado para trabalhar com essas novas tecnologias,

pode beneficiar muito a capacidade e a velocidade de resolução de problemas envolvendo sistemas elétricos.

## 2.5. SUBSISTEMAS

Todo sistema de proteção é formado por componentes que atuam diretamente num eventual processo de remoção de uma falta. Um relé deverá estar relacionado com os transformadores de corrente, disjuntores, transformadores de potencial.

O disjuntor tem a função de isolar o componente ou circuito sob falta. Ele tem a função de evitar danos aos equipamentos, isolando determinadas partes do sistema ao qual ele estará ligado. O disjuntor opera quando sua bobina de ação é energizada por um conjunto de baterias, sendo o relé o responsável por fechar o contato entre a bobina do disjuntor e o conjunto. Pelo fato do banco de baterias ser independente da linha e do sistema faltoso, o fornecimento de energia para o sistema de proteção sempre ocorrerá (COURY; OLESKOVICZ; GIOVANINI, 2007).

Outro equipamento essencial num sistema de potência é o transdutor. Existem dois tipos de transdutores: o Transformador de Potencial (TP) e o Transformador de Corrente (TC).

O Transformador de Corrente está ligado em série com o circuito principal e seu secundário estará ligado aos relés e/ou instrumentos de medição. O secundário do transformador de corrente tem um nível padronizado em 5A, enquanto o primário possui um alto valor de corrente. Existem diversos modelos comercializados: 100:5A, 200:5A, 300:5A, 400:5A, 1000:5A, entre outros. O primeiro valor é sempre o valor da corrente no primário enquanto o segundo representa o valor da corrente no secundário do transformador.

A tabela 1 classifica os TCs de acordo com a classe de exatidão.

**Tabela 1 – Classe de exatidão dos TCs**

<b>Classe de Exatidão</b>	<b>Onde são aplicados</b>
Menor que 0,3	Medições especiais TC padrão Medições em laboratórios Medições que exigem precisão
0,3	Medições de energia elétrica para faturamento ao consumidor
0,6 e 1,2	Instrumentos de medição como amperímetros Medições de energia elétrica sem finalidade de faturamento

**Fonte: Cury, Oleskovicz e Giovanini (2007).**

Os TCs de proteção transformam a corrente primária, dentro de determinados limites de exatidão, tanto em condições normais de operação, quanto sob curtos-circuitos em até 20 vezes o valor da corrente nominal (ARAÚJO et al., 2002, p. 3). Eles são divididos de acordo com suas características em TCs de baixa reatância e TCs de alta reatância.

Os TCs de baixa reatância têm esta característica por possuírem o enrolamento secundário distribuído uniformemente sobre o núcleo toroidal, não influenciando significativamente no erro de relação de transformação. Já os TCs de alta reatância, possuem como característica uma alta reatância de dispersão de fluxo magnético e apresentam o núcleo com outras geometrias (ARAÚJO et al., 2002, p. 3-4).

O TP é um equipamento destinado a reproduzir a tensão no primário (alto valor), no secundário (valor reduzido), com finalidade de medição e proteção, mantendo a sua posição fasorial e sua proporção.

Os TPs são classificados em dois tipos: o transformador indutivo, o qual opera em tensões menores ou iguais a 138kV e o transformador capacitivo, o qual opera em tensões acima de 138kV. O TP de medição é o transformador que utiliza o enrolamento secundário com o intuito de alimentar um medidor. O TP de proteção é o transformador que utiliza o secundário para alimentar um circuito de proteção (relé de proteção).

O TP normalmente é projetado para uma tensão de 115V no secundário (ARAÚJO et al., 2002, p. 13). A tabela 2 mostra as classes de exatidão para os TPs.

**Tabela 2 – Classe de exatidão dos TPs**

<b>Classe de Exatidão</b>	<b>Onde são aplicados</b>
Menor que 0,3	Medições especiais TP padrão Medições em laboratórios Medições que exigem precisão
0,3	Medições de energia elétrica para faturamento ao consumidor
0,6 e 1,2	Instrumentos de medição Medições de energia elétrica sem finalidade de faturamento

**Fonte: Cury, Oleskovicz e Giovanini (2007).**

O relé é um dispositivo através do qual um equipamento elétrico é operado quando são produzidas variações nas condições deste equipamento ou do circuito no qual ele está ligado, ou em outro equipamento ou circuito associado (CAMINHA, 1977, p. 12). Ele é responsável por fechar o contato entre a bobina do disjuntor e o conjunto de baterias.

## 2.6. OSCILOGRAFIA

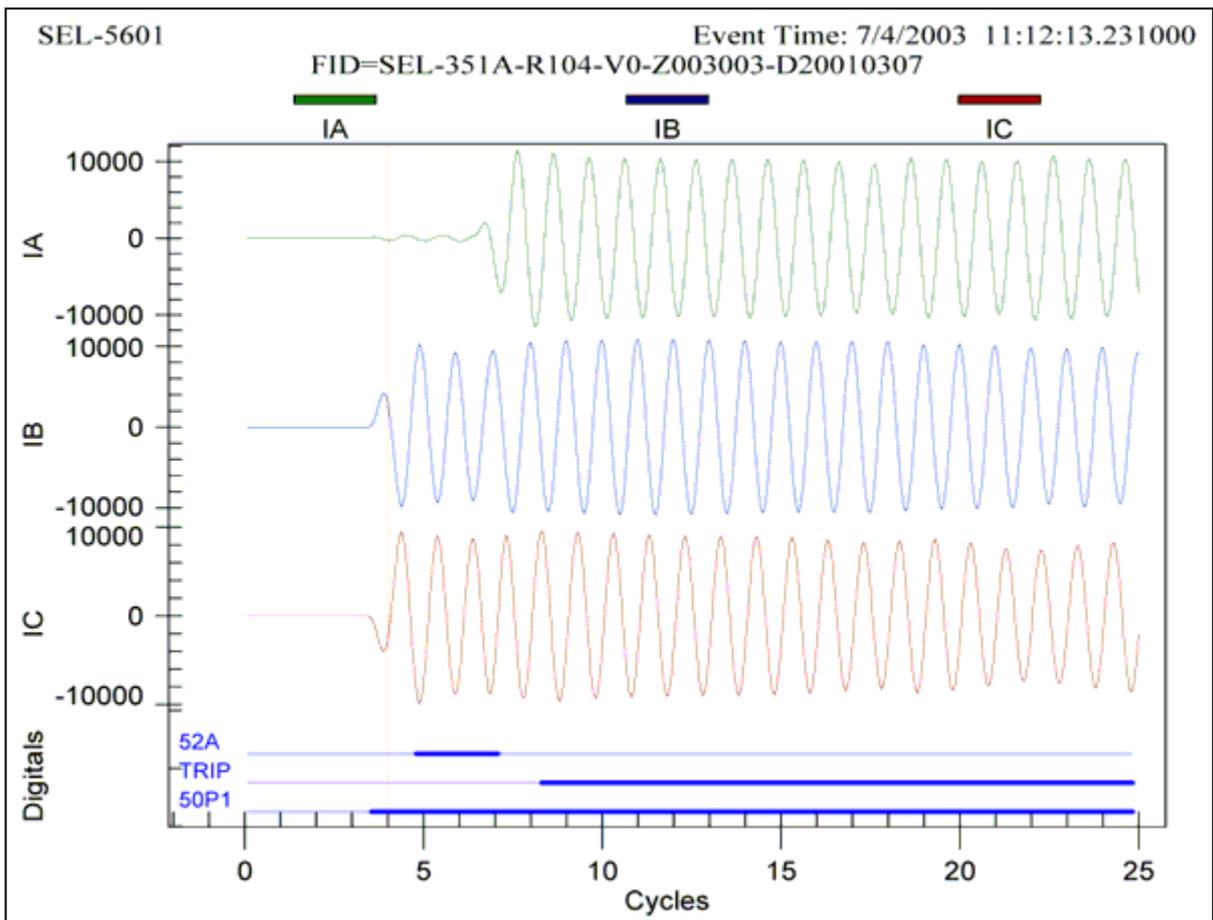
Uma importante função incorporada aos relés digitais é a oscilografia digital. Antigamente esta oscilografia era realizada apenas através de Oscilo pertubografos, instalados em pontos estratégicos do sistema elétrico de potência. Eles funcionavam com fitas magnéticas, onde eram registrados os sinais provenientes dos relés de proteção e de outros dispositivos do sistema elétrico (RUFATO JUNIOR, 2006, p. 97).

A oscilografia é importante, pois ajuda a localizar com bastante rapidez as possíveis faltas que possam ocorrer num sistema elétrico. Os dados gerados pela oscilografia de relés digitais são analisados após a ocorrência de defeitos.

Através da oscilografia é possível registrar os ciclos de grandezas analógicas em caso da ocorrência de uma falta no sistema elétrico, armazenando alguns ciclos em condição pré-falta e em condições pós-falta para eventuais

análises e estudos. Desta forma, torna-se mais rápida e fácil a solução de problemas na rede elétrica.

As figuras 5, 6 e 7 representam exemplos de oscilografias extraídas de relés SEL e visualizadas com auxílio do *software* SEL-5601. Essas oscilografias têm apenas caráter ilustrativo, mostrando como se comporta o modelo de relé SEL-351A para diferentes faltas.



**Figura 5 – Religamento automático sobre falta fase-fase, com evolução para falta trifásica e falha do disjuntor (contato 52A).**

**Fonte: Schweitzer Engineering Laboratories (2011).**

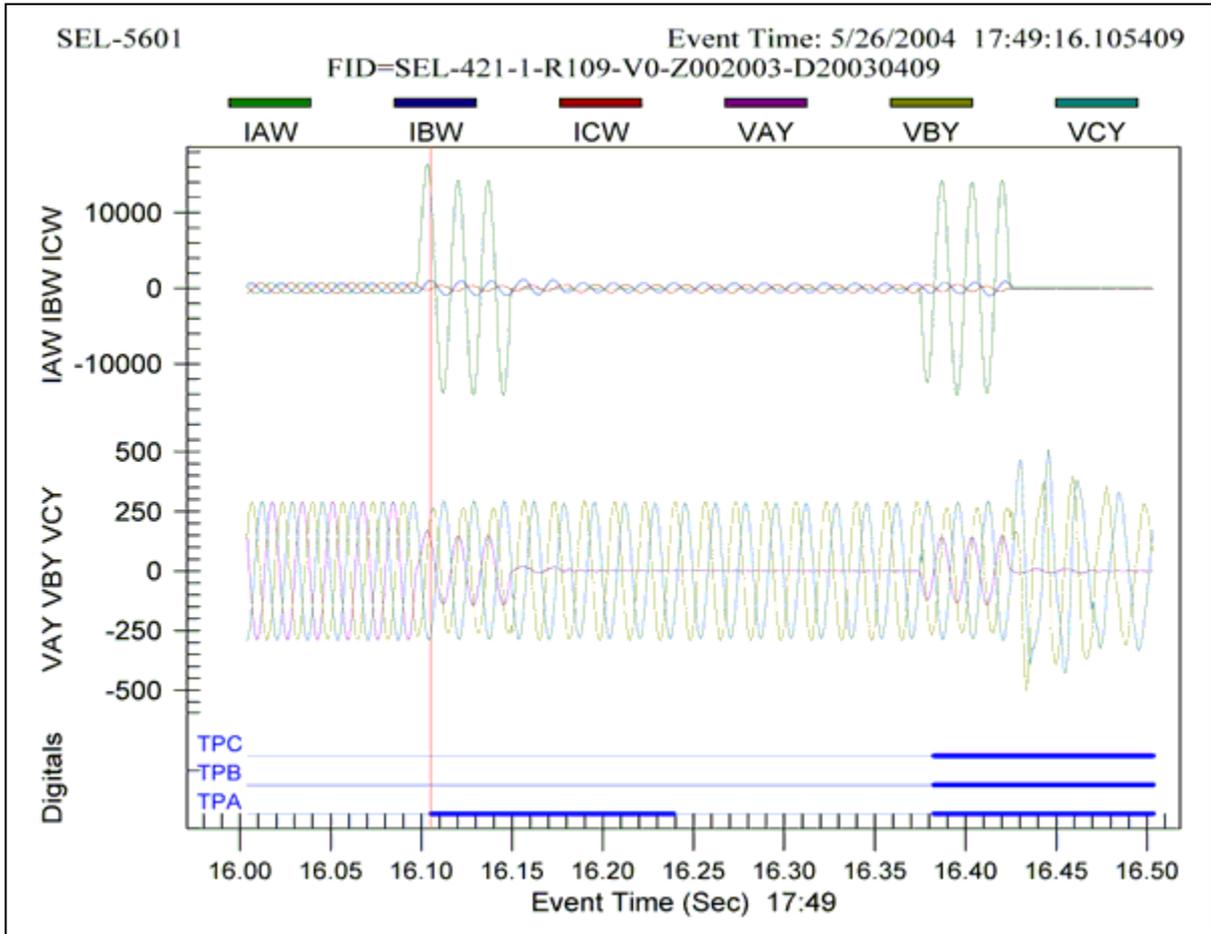


Figura 6 – Falta Fase-Terra com disparo e religamento monopolar na fase A-G e posterior disparo tripolar.

Fonte: Schweitzer Engineering Laboratories (2011).

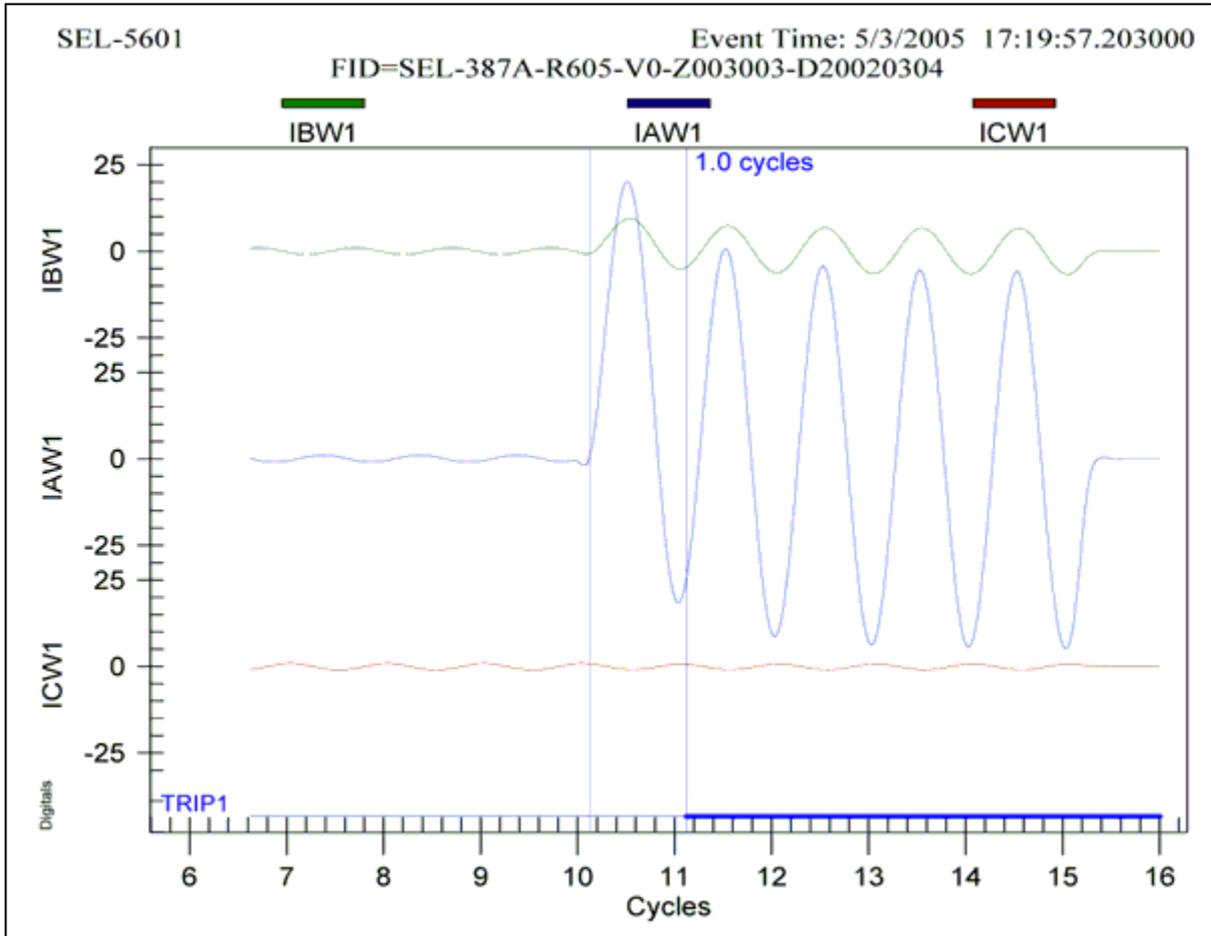
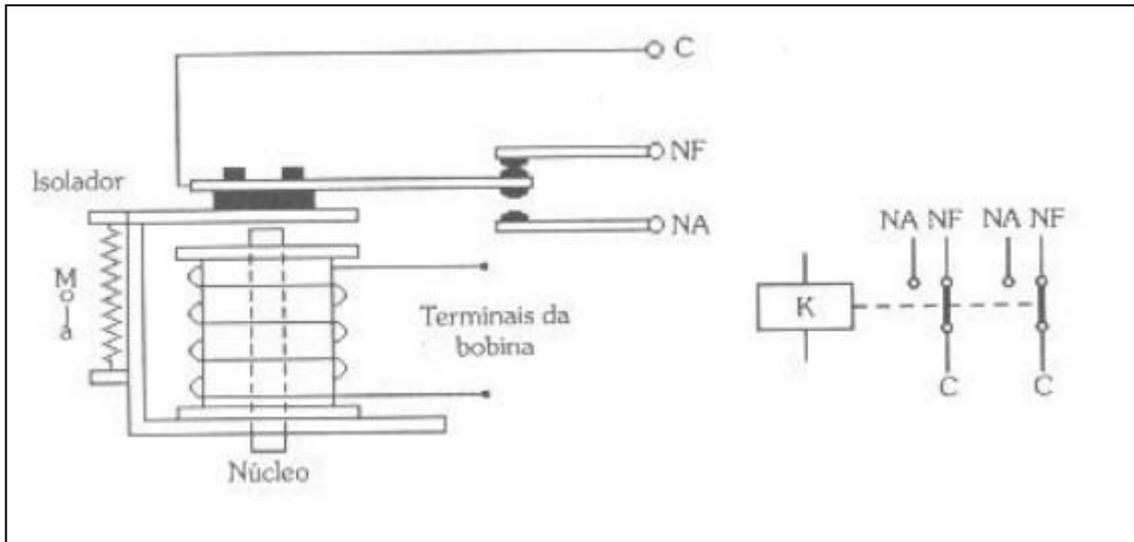


Figura 7 – Falta Fase-Fase (AB) no lado delta do transformador 138/13,8kV – 25MVA, com atuação do relé em 1 ciclo.

Fonte: Schweitzer Engineering Laboratories (2011).

## 2.7. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DOS RELÉS

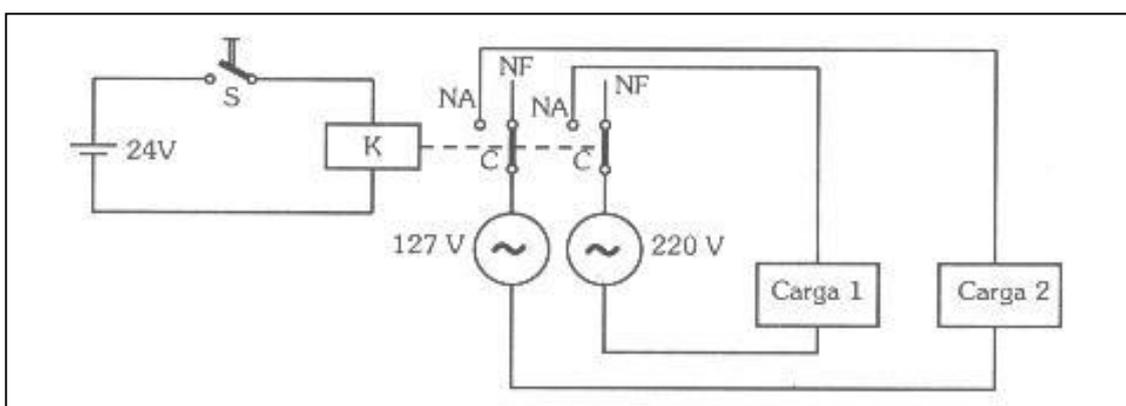
O relé é um dispositivo formado basicamente pelos seus contatos e por uma bobina. A figura 8 mostra um relé e sua estrutura física.



**Figura 8 – Estrutura física de um relé e seu símbolo elétrico**

Fonte: Souto (1992, p. 3).

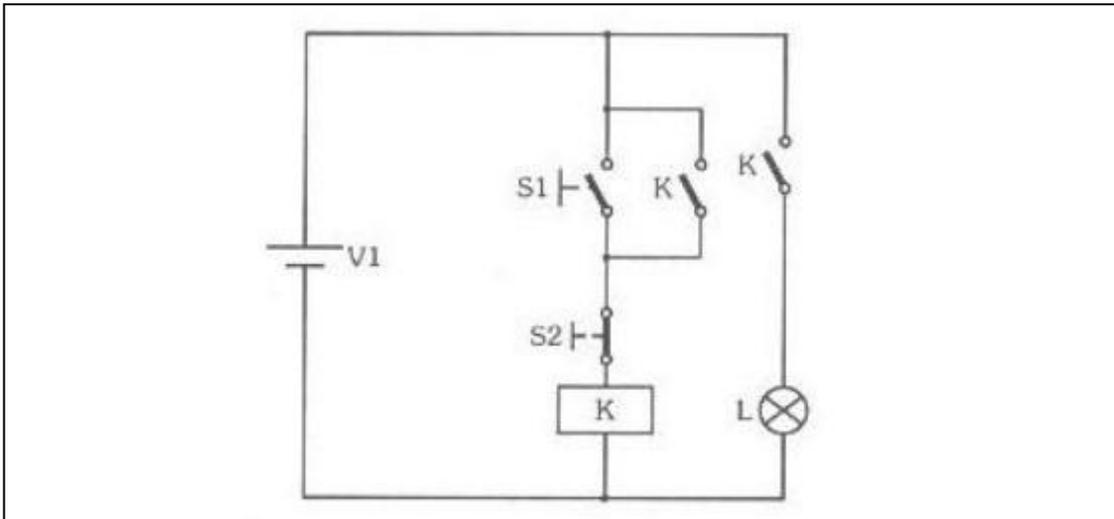
Quando a bobina é energizada, os contatos são levados para suas novas posições permanecendo dessa forma enquanto houver alimentação da bobina. Um relé, construtivamente pode ser formado por vários conjuntos de contatos. Uma das grandes vantagens do relé é a isolação galvânica entre os terminais da bobina e os contatos NA (normalmente aberto) e NF (normalmente fechado), além da isolação entre os conjuntos de contatos. A figura 9 mostra outra vantagem dos relés, que é a possibilidade de acionar cargas com tensões diferentes através de um único relé.



**Figura 9 – Acionamento isolado com relé**

Fonte: Souto (1992, p. 4).

A propriedade de memória é bastante explorada nos relés, através de circuito de auto-retenção ilustrado na figura 10 a seguir:



**Figura 10 – Circuito de auto-retenção**

**Fonte: Souto (1992, p. 4).**

A chave (botoeira) (S1) aciona a bobina (K) fazendo com que seu contato auxiliar crie outro caminho para manutenção da bobina energizada. Desta forma, não ocorre o desligamento do relé ao desligar a chave (botoeira) (S1). Este contato auxiliar é comumente denominado de contato de retenção ou selo. Para desligamento utiliza-se a chave (botoeira) (S2), que é um contato do disjuntor.

## 2.8. PROTEÇÃO DIFERENCIAL DE TRANSFORMADORES

A função do sistema de proteção (ou dos relés de proteção) é ordenar a imediata remoção de qualquer elemento de um sistema de potência quando ele sofrer um curto-circuito, ou quando ele começar a operar em uma condição anormal qualquer, que possa causar prejuízo ou de alguma forma interferir com a operação efetiva do resto do sistema elétrico. Os relés de proteção são auxiliados nesta tarefa pelos disjuntores, que são capazes de desconectar os elementos faltosos quando ordenado pelos relés (MASON, 1956).

O transformador é um dos equipamentos do sistema elétrico que apresenta as maiores dificuldades para ser protegido através de um esquema diferencial. Devido às correntes com ângulos e módulos diferentes que possam circular por ele,

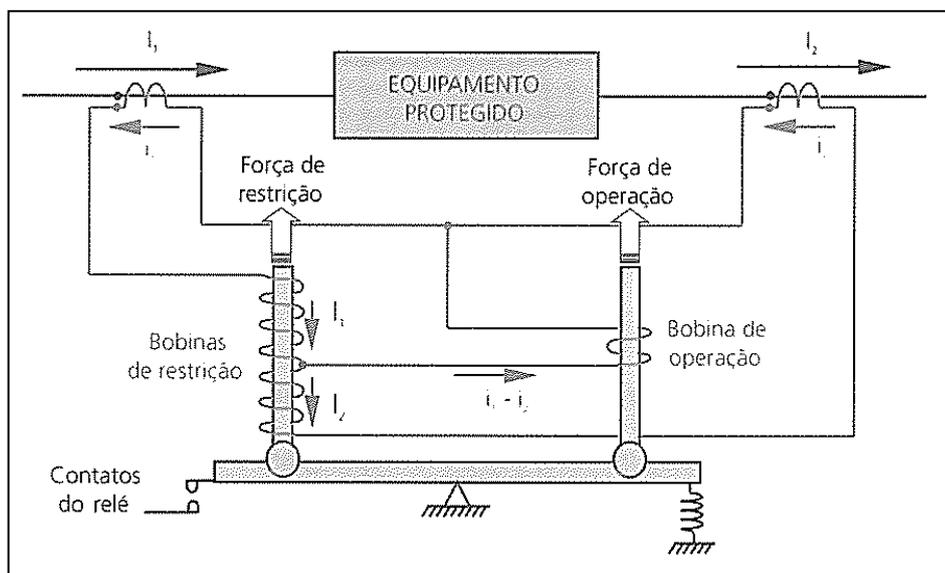
é necessário, muitas vezes, realizar uma compensação através de ligações e relação dos TCs envolvidos.

### 2.8.1. Relé Diferencial Percentual

Por definição, um relé diferencial é aquele que opera quando o vetor da diferença de duas ou mais grandezas elétricas semelhantes excede uma quantidade pré-determinada.

O relé diferencial percentual é projetado especificamente para transformadores, contendo diversos aperfeiçoamentos para melhorar seu desempenho. Um deles é a bobina de restrição ou retenção, cuja função é impedir que erros dos transformadores de correntes (TCs), principalmente devido a curto-circuitos externos, ocasionem a operação incorreta do relé (ARAÚJO et al., 2002, p. 129).

A bobina de restrição é dividida em duas partes, sendo instalada de maneira a gerar uma força contrária ao movimento de fechamento dos contatos. A figura 11 ilustra a proteção diferencial percentual.



**Figura 11 – Representação da proteção diferencial percentual**

**Fonte: Araújo et al. (2002, p. 129).**

### 2.8.2. Relé Diferencial Amperimétrico

Essa proteção é realizada através de um relé de sobrecorrente instantâneo, cuja zona de proteção é limitada pelos TCs. Apesar de ser bastante utilizada este tipo de conexão, existem erros quase sistemáticos na proteção diferencial devido principalmente:

- Ao casamento imperfeito dos TCs;
- Existência de componentes contínua da corrente de curto-circuito, não nula em pelo menos duas fases;
- Ao erro próprio dos TCs;
- Nos casos dos transformadores, deve-se considerar a corrente de magnetização inicial e a existência de dispositivo trocador automático de taps.

Para essas condições é necessário utilizar uma conexão menos sensível, ou seja, menos susceptível de falsas operações que o relé diferencial amperimétrico (CAMINHA, 1977, p. 128).

A figura 12 ilustra a proteção diferencial amperimétrica.

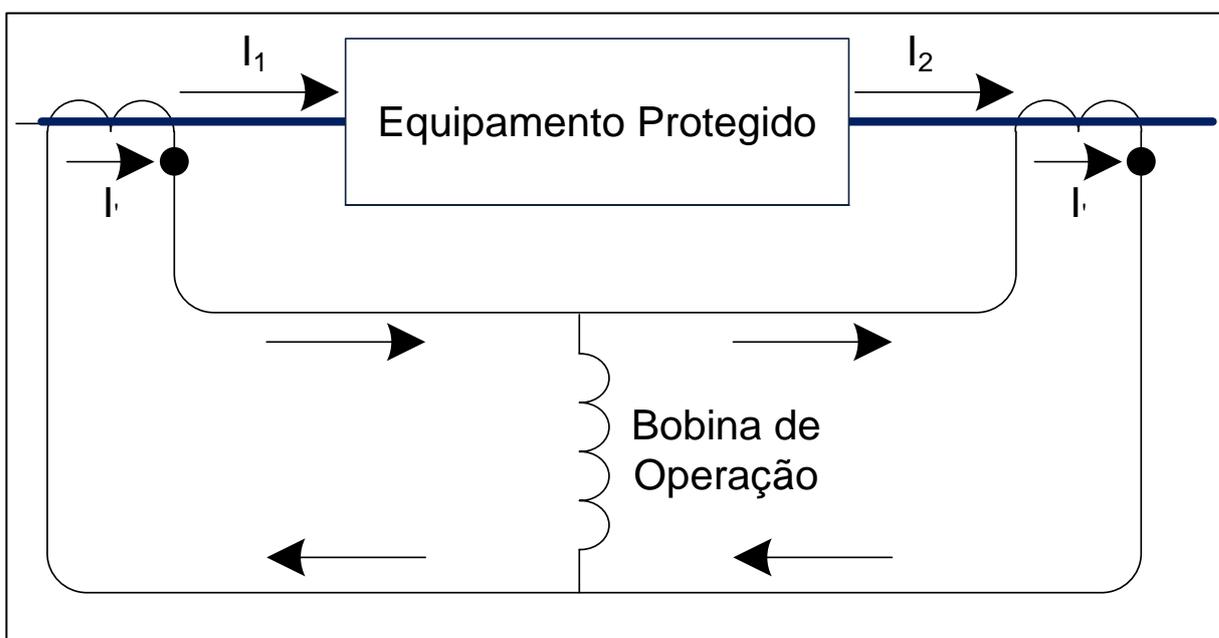


Figura 12 – Representação da proteção diferencial amperimétrica

Fonte: Adaptado de Araújo et al. (2002, p. 129).

### 2.8.3. Condições de Operação

A zona de proteção de um transformador compreende seus lados de alta e baixa tensão. Desta forma, os valores das correntes envolvidas são diferentes, de acordo com a relação de transformação do transformador de força. De acordo com a figura 13, os TCs fornecem para o circuito de proteção uma corrente de 2A.

Nota-se que mesmo ocorrendo um curto-circuito em algum trecho fora do protegido, as correntes refletidas no circuito de proteção ( $I_1$  e  $I_2$ ) se anulam (ARAÚJO et al., 2002, p. 130). Isto significa que não existe defeito no trecho compreendido entre os TCs.

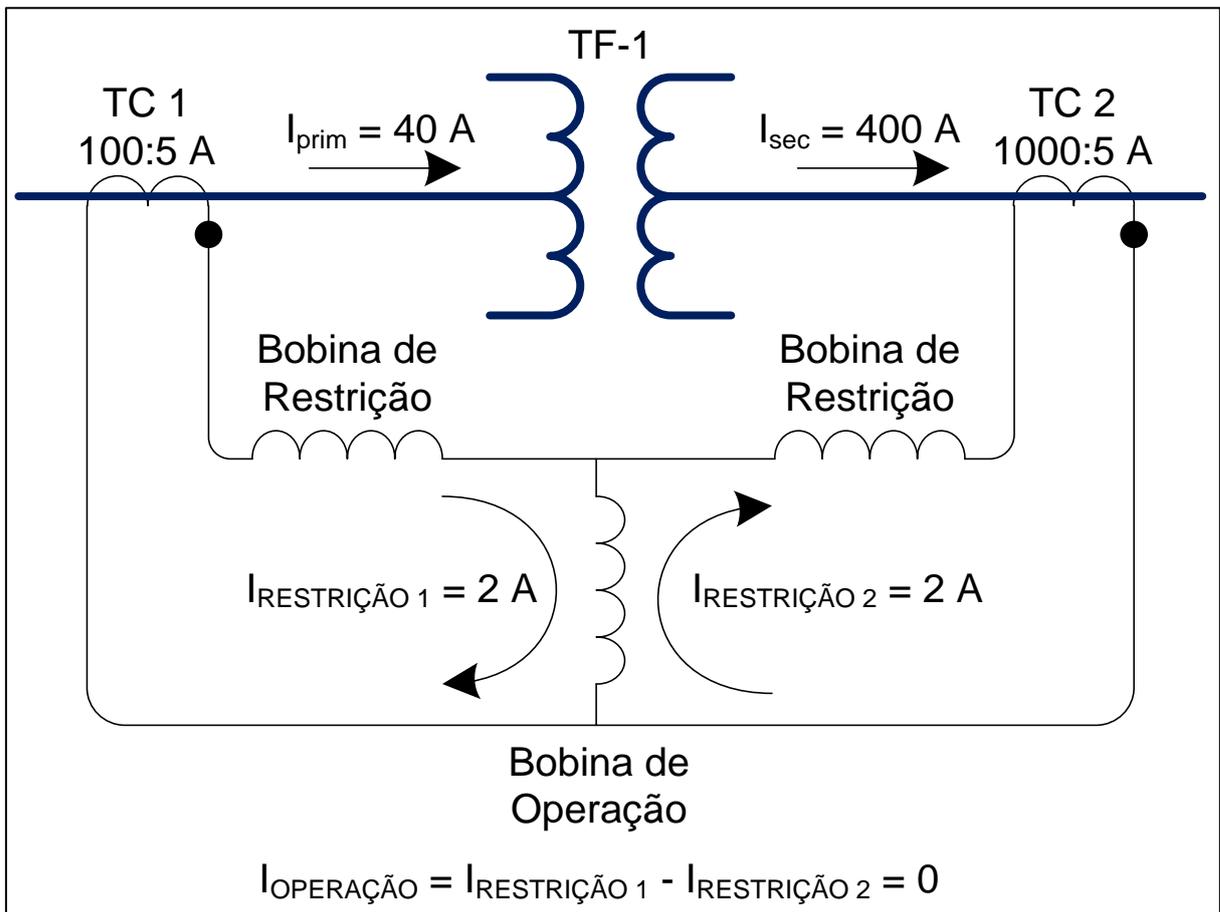


Figura 13 – Circulação de corrente em condição normal de operação ou em condição de defeito fora da zona protegida

Fonte: Adaptado de Araújo et al. (2002, p. 131).

De acordo com a figura 14, quando ocorre um defeito (curto-circuito) no trecho protegido, a corrente que passa pelo TC1, não passará pelo TC2. Observa-se

que as correntes refletidas no circuito de proteção serão diferentes. Para esse exemplo utilizado,  $I_1$  vale 6A e  $I_2$  apresenta 0A, acarretando na operação do relé.

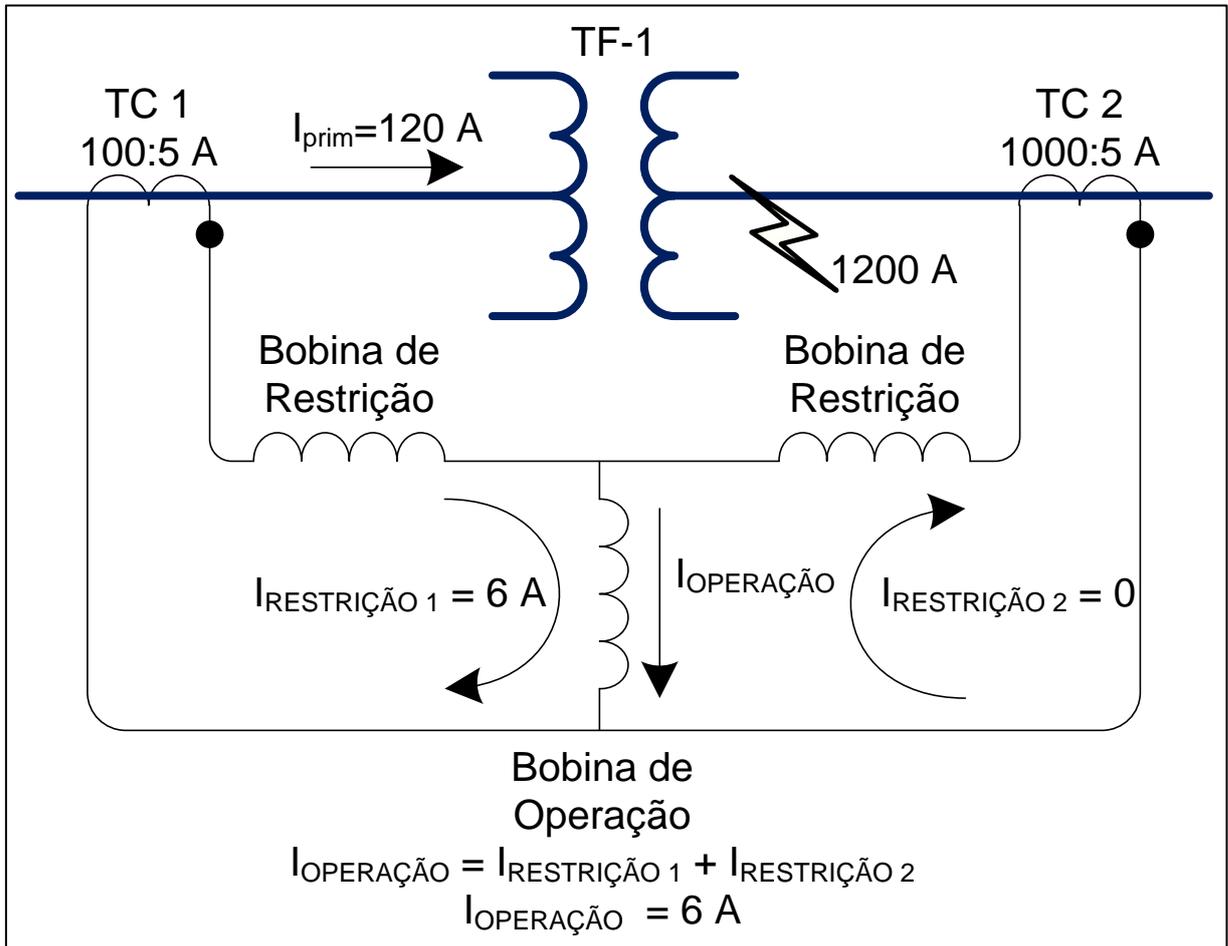


Figura 14 – Circulação de corrente em condição de defeito

Fonte: Adaptado de Araújo et al. (2002, p. 131).

## 2.9. CONCEITOS DE COORDENAÇÃO E SELETIVIDADE

Um dos principais objetivos do estudo de coordenação e seletividade em sistemas elétricos de potência é proteger o sistema a fim de garantir uma melhor confiabilidade no fornecimento de energia elétrica.

No estudo de coordenação e seletividade deve-se considerar que a proteção de equipamentos é somente um dos objetivos, não sendo a principal finalidade. A proteção de equipamentos é um princípio que já ocorreu na concepção dos esquemas da subestação, sendo que a coordenação e seletividade devem dar ênfase ao aspecto de continuidade do suprimento, evitando que as possíveis faltas

afetem muitos consumidores, além de reduzir o tempo de localização da falta e do tempo da interrupção da mesma.

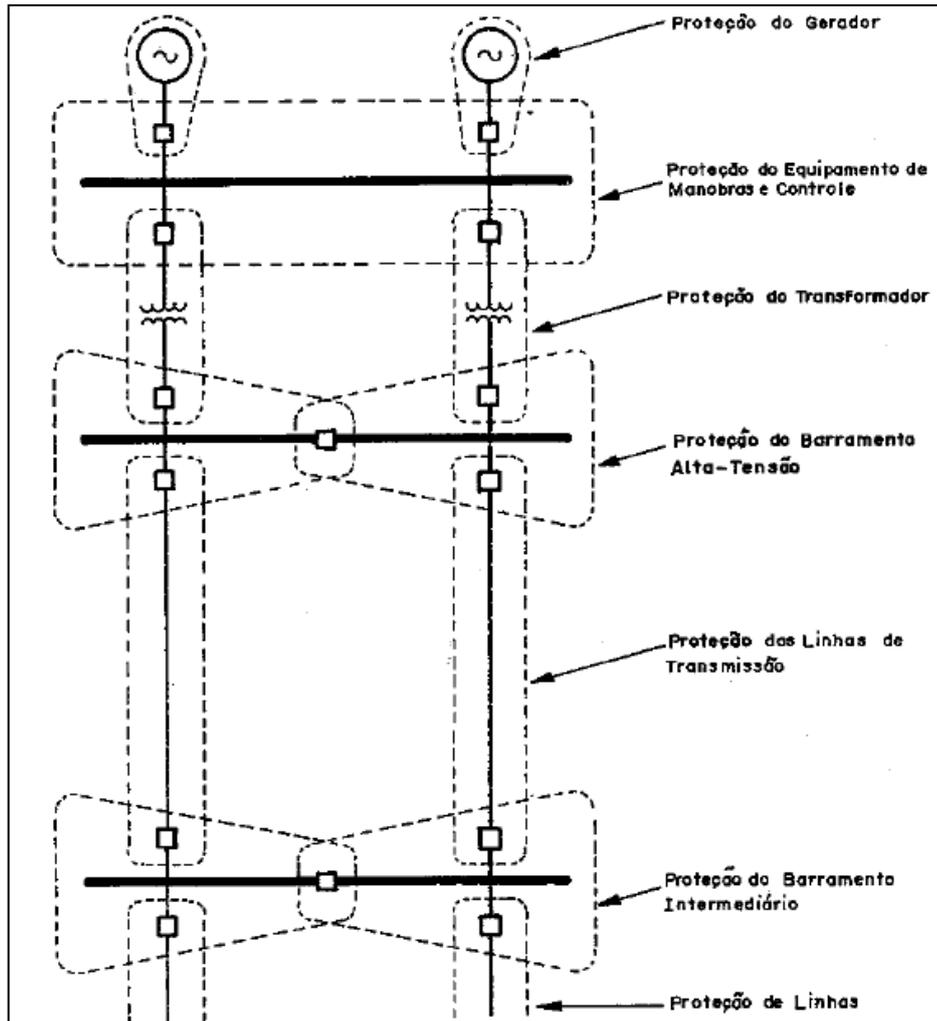
Um sistema de proteção bem ajustado possibilita, entre outras vantagens, maior segurança, uma redução do número de interrupções e desligamentos, melhoria na vida útil dos equipamentos protegidos, facilidade de manobras, menores custos de manutenção, um aumento de faturamento e melhoria da imagem da concessionária junto aos consumidores (PEREIRA, 2007, p. 31).

Além da parametrização dos relés, é necessária a coordenação dos relés, para que haja uma sequência na operação desses equipamentos em caso de alguma ocorrência. Nessas condições, pode-se dizer que as finalidades da coordenação seriam:

- Fazer o isolamento do sistema, no mais curto espaço de tempo, para redução de danos;
- Isolar a parte defeituosa do sistema, o mais próximo de sua origem, evitando a propagação de consequências.

## 2.10. ZONAS DE PROTEÇÃO

O sistema de proteção tem como objetivo proteger os equipamentos quando ocorre uma falta. Ele pode ser dividido em várias zonas de proteção, conforme figura 15 a seguir.



**Figura 15 – Zonas de Proteção**

Fonte: Caminha (1977, p. 8).

Geralmente, um relé recebe informações de um TC, pois este diminui o nível de corrente para um valor de entrada aceitável pelo relé. Os TCs são responsáveis pela detecção de uma falta através de relés em determinadas zonas, enquanto os disjuntores são responsáveis por isolar a falta do sistema, realizando a proteção dos equipamentos.

Como existem inúmeros equipamentos que integram um sistema de potência, para uma proteção adequada é necessário que os equipamentos estejam compreendidos em pelo menos duas zonas de proteção e que as mesmas se sobreponham para prevenir que algum equipamento possa estar desprotegido (COURY; OLESKOVICZ; GIOVANINI, 2007).

## 2.11. FILOSOFIAS DE PROTEÇÃO

Neste item, serão abordadas algumas filosofias de proteção utilizadas dentro dos sistemas de potência.

### 2.11.1. Relés de Sobrecorrente

Este tipo de relé como o próprio nome sugere, tem como grandeza de atuação a corrente elétrica do sistema. Ele pode ser aplicado para proteger diversos elementos de um sistema, como, por exemplo, linhas de transmissão, transformadores, geradores ou motores, entre outros dispositivos, equipamentos e sistemas (COURY; OLESKOVICZ; GIOVANINI, 2007).

Considerando um sistema radial, devido à existência de um sistema com somente uma fonte no lado esquerdo, conforme figura 16, pode-se afirmar que, se a mínima corrente de falta dentro da zona de proteção for maior do que a máxima corrente possível de carga tem-se o princípio de operação do relé de sobrecorrente.

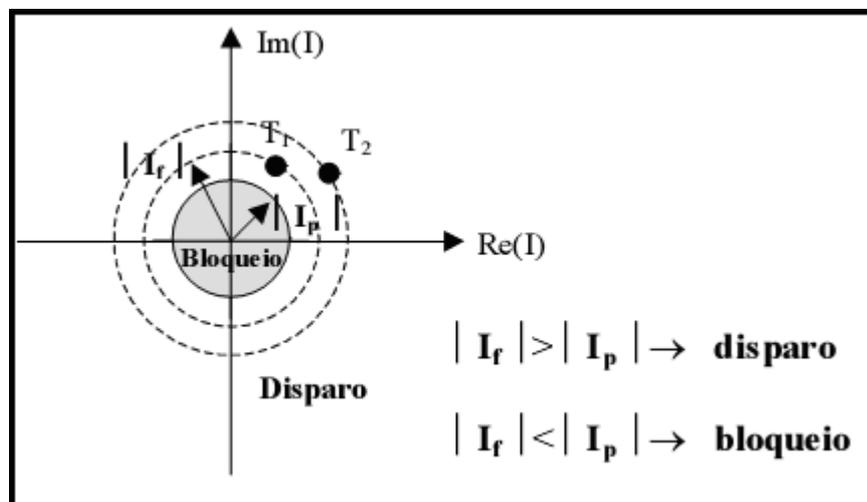


Figura 16 – Princípio de Operação do relé de sobrecorrente

Fonte: Coury, Oleskovicz e Giovanini (2007).

Onde  $I_f$  é a corrente de defeito observada na posição do relé e  $I_p$  é a corrente do secundário do TC previamente definida (corrente de *pickup*). Dessa forma, quando:

$$|If| \geq Ip, \quad (1)$$

indica-se uma situação de defeito ocorrendo na zona de proteção, necessitando da abertura do disjuntor associado ao sistema de proteção. Agora, quando ocorre :

$$|If| < Ip, \quad (2)$$

acusa-se a ausência de uma situação de defeito na zona de proteção, a qual garante a não abertura do disjuntor (COURY; OLESKOVICZ; GIOVANINI, 2007).

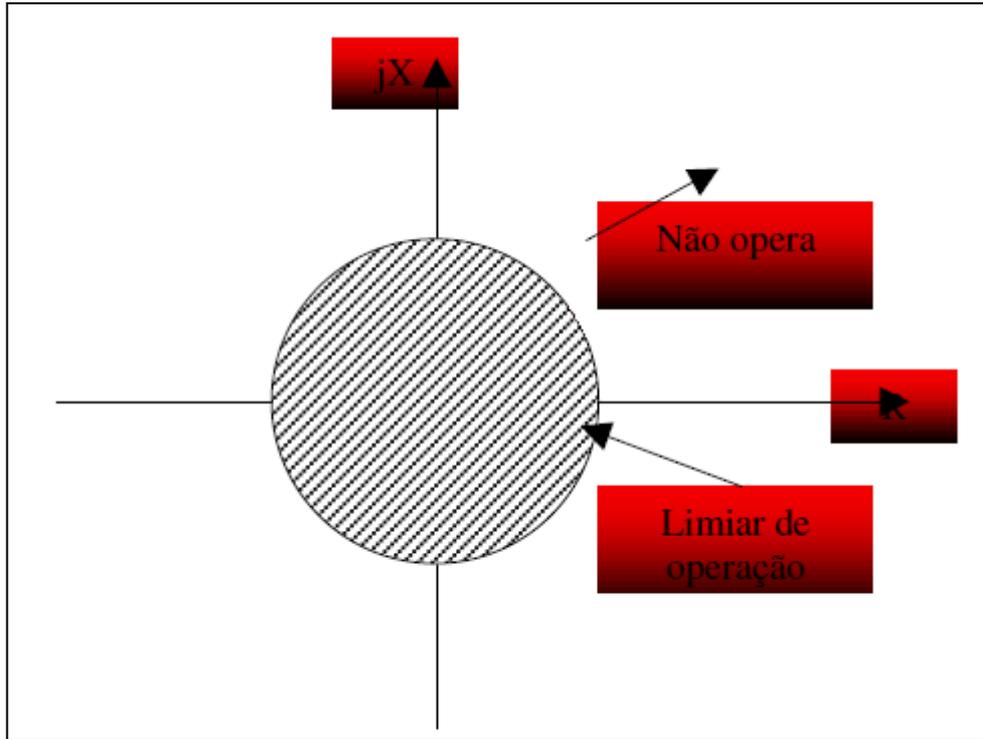
### 2.11.2. Relés de Distância

A proteção de distância é utilizada graças a sua ótima seletividade e grande velocidade de atuação. Este tipo de relé opera medindo o parâmetro impedância da linha de transmissão até o ponto de curto-circuito ou da carga (DA ROCHA CARDOSO, 2009, p. 55).

Esse relé recebeu este nome devido a sua filosofia de funcionamento se basear na impedância, admitância ou reatância vista pelo relé. O relé de distância enxerga a impedância da linha e não a distância propriamente dita. Eles são classificados em:

- Relé de Impedância;
- Relé de Admitância ou Mho;
- Relé de Reatância.

A figura 17 a seguir, representa a característica do limiar de operação do relé de impedância.



**Figura 17 – Característica do Limiar de operação do relé de impedância**  
**Fonte: Da Rocha Cardoso (2009, p. 56).**

Conforme figura 17, observa-se que o relé atua para todas as impedâncias na região hachurada. O eixo das ordenadas representa a reatância enquanto o eixo das abscissas representa a parte real da impedância. Sobre a circunferência, está o limiar de operação. Neste ponto existe a impedância de ajuste do relé, podendo o mesmo operar ou não. Fora da circunferência, não há atuação do relé.

### 3. RELÉ SEL-387

Este capítulo descreverá informações a respeito do Relé SEL-387.

#### 3.1. RELÉ SEL-387

Conforme figura 18, o Relé SEL-387 oferece proteção diferencial com e sem restrição para transformadores de dois, três ou quatro enrolamentos. Elementos de segunda, quarta e quinta harmônicas, complementados pelo elemento DC, proporcionam segurança durante condições de sobreexcitação e energização do transformador, através de um esquema definido pelo usuário entre as opções de restrição por harmônicas ou bloqueio por harmônicas. Elementos de sobrecorrente fazem a proteção de retaguarda, o que contribui para a versatilidade do Relé SEL-387. As funções referentes a relatórios de evento (oscilografia), Registrador Sequencial de Eventos (“*Sequential Events Recorder*” - SER), monitoração do desgaste dos contatos do disjuntor e monitoração da tensão das baterias da subestação são todas padronizadas.



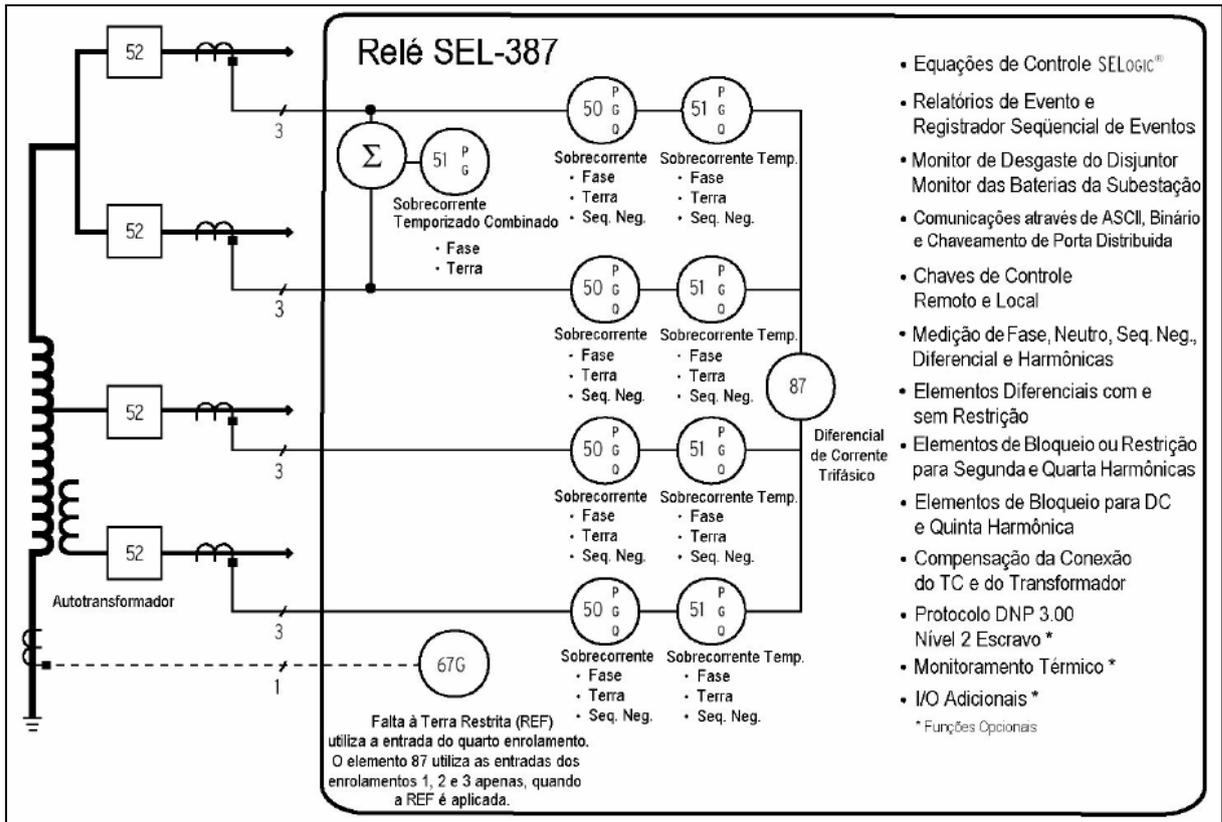
Figura 18 – Visão frontal do Relé SEL-387.

Fonte: Schweitzer Engineering Laboratories (2011, p. 1).

Conforme o manual do fabricante (SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES, 2009), podemos descrever de forma objetiva as principais funções do relé:

- **Proteção:** protege transformadores, barras, geradores, reatores e outros equipamentos através da combinação da proteção diferencial com a de sobrecorrente. O elemento diferencial é ajustado com característica de restrição diferencial percentual, com inclinação simples ou dupla, para aumentar a confiabilidade durante condições de falta passante;
- **Medição:** solicita ao relé as medições instantâneas das correntes de fase e de demanda. A demanda de pico registrada é fornecida, incluindo a data e a hora da ocorrência;
- **Monitoração:** planeja a manutenção do disjuntor com base nas indicações da monitoração do mesmo. Notifica, também, a equipe de manutenção caso haja problemas na tensão das baterias da subestação;
- **Automação:** obtém vantagens dos recursos de automação que incluem 16 elementos de cada um dos itens indicados a seguir: controle local e indicação local através dos botões de pressão e do LCD (*"Liquid Cristal Display"* - Display de Cristal Líquido) do painel frontal, controle remoto, e controle de selo (biestáveis). Faz uso das portas seriais de comunicação para efetuar transmissão de informações essenciais tais como: dados de medição, elementos de proteção e estado dos contatos de entrada e saída (I/O), relatórios do SER (*"Sequence Event Record"*), monitoração do desgaste dos contatos do disjuntor, sumários dos relatórios de evento do relé e sincronização de tempo.

A figura 19 a seguir, apresenta o diagrama funcional simplificado do Relé SEL-387.



**Figura 19 – Diagrama funcional simplificado do Relé SEL-387**

Fonte: SEL - Schweitzer Engineering Laboratories (2001, p. 2).

O modelo em estudo, SEL-387-5, apresenta as seguintes características específicas em relação aos outros modelos da linha SEL-387:

- *Firmware* padrão do fabricante com gravação de eventos sequenciais binários adicionais;
- 6 entradas e 8 saídas de sinais;
- Tensão de alimentação de 125V ou 250V, em Corrente Contínua ou Alternada;
- Corrente de entrada de secundário de 5A;
- Montagem em *Rack* horizontal;
- Sem revestimento de placas de circuito;
- Tensão de entrada do circuito de controle de 125V em Corrente Contínua.

### 3.2. FUNÇÃO DE PROTEÇÃO

O relé SEL-387 possui uma gama variada de elementos de proteção e lógica de controle para proteger transformadores de potência de dois, três, ou quatro enrolamentos, reatores, geradores e outros equipamentos. Estão incluídos elementos diferenciais de corrente com restrição percentual e elementos de bloqueio por harmônicas, elementos com sensibilidade para falta à terra restrita (*“Restricted Earth Fault”* – REF) e elementos de sobrecorrente. O relé SEL-387 apresenta as seguintes funções de proteção:

- 87 - Diferencial;
- 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 (46) - Sobrecorrente instantânea e temporizada de sequência negativa para cada lado do transformador;
- 50/62BF - Falha de disjuntor para cada lado do transformador;
- REF (67G) - Proteção de falta à terra restrita (quando se utilizam somente dois ou três enrolamentos);
- 49 - Proteção imagem térmica (cálculo de ponto quente dos enrolamentos do transformador).

A correta operação da proteção diferencial requer que as correntes do primário, secundário e terciário medidas pelo relé diferencial estejam em fase. Por exemplo, em um transformador conectado em delta/estrela, as correntes dos enrolamentos estarão defasadas 30° entre si. Caso não haja uma compensação deste defasamento, o relé entenderá como uma condição de falta e irá operar indevidamente. Portanto, a correção do defasamento deverá sempre ser considerada. Para os relés eletromecânicos, a compensação da diferença angular era feita na conexão dos TCs. Os TCs do lado estrela do transformador eram conectados em delta e os TCs do lado delta do transformador eram conectados em estrela.

Com o surgimento dos relés microprocessados, estas compensações podem ser feitas através de *softwares*, podendo os TCs ficarem conectados de qualquer maneira. Dessa forma os relés para proteção diferencial matematicamente criam uma conexão delta.

### 3.2.1. Elementos Diferenciais de Corrente

O relé tem três elementos diferenciais, que a partir das correntes de entrada de dois, três ou quatro enrolamentos calcula as grandezas de operação e restrição. Os elementos diferenciais são ajustados com característica diferencial percentual com inclinação simples ou dupla.

A figura 20 ilustra a inclinação dupla.

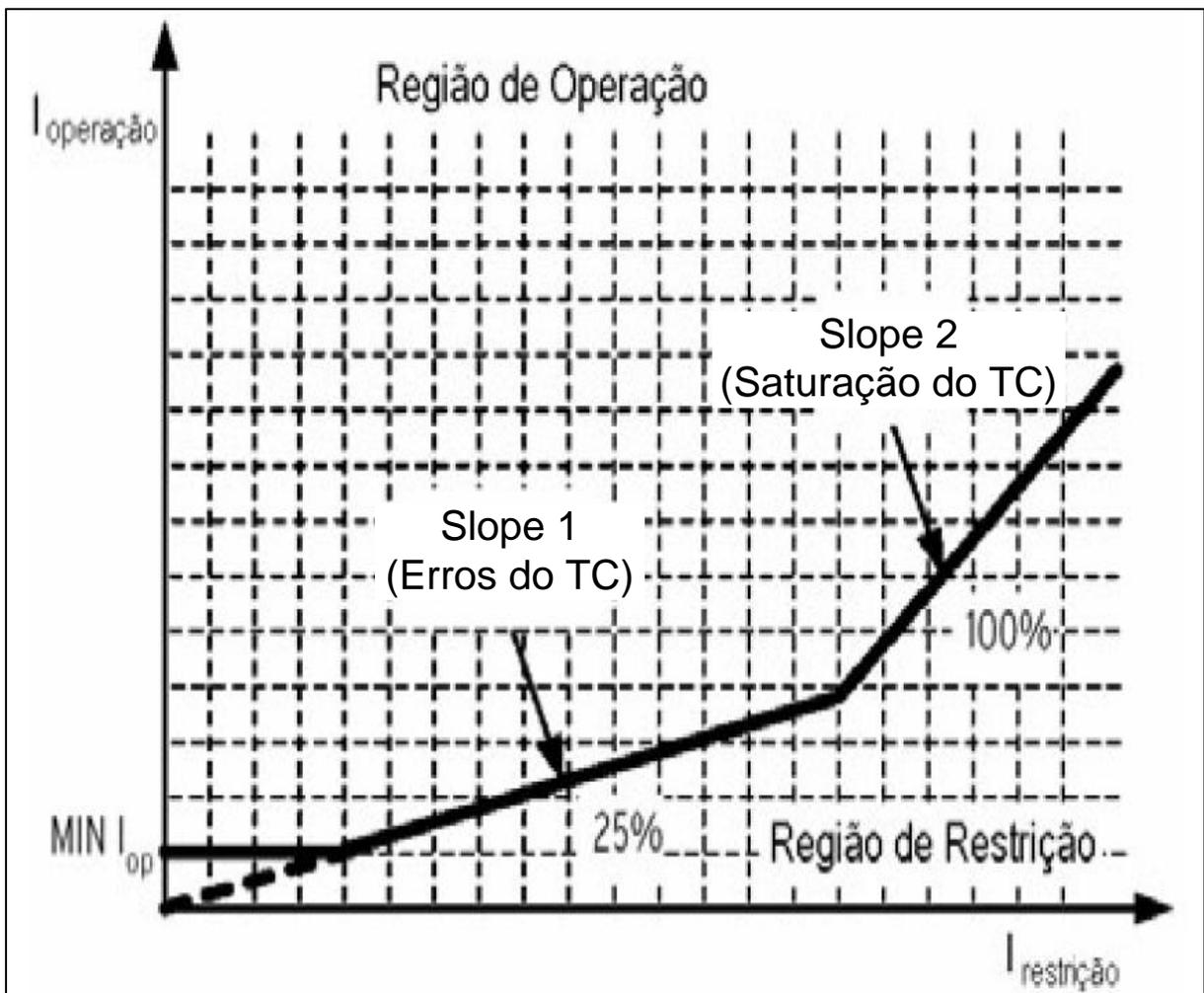


Figura 20 – Característica de Restrição Diferencial Percentual com Dupla Inclinação

Fonte: Adaptado de Schweitzer Engineering Laboratories (2001, p. 3).

A inclinação 1 (“*Slope 1*”) considera as correntes diferenciais resultantes dos erros dos TCs e alterações de tap. A inclinação 2 (“*Slope 2*”) evita a operação indesejada do relé devido à saturação dos TCs quando existem faltas externas de alta intensidade.

Os Relés SEL-387-5 propiciam segurança nas situações que possam causar operações incorretas do relé em função de ocorrências no sistema e no transformador. O elemento de quinta harmônica é usado para evitar a operação indevida do relé durante condições admissíveis de sobreexcitação. Os elementos de harmônicos pares (segunda e quarta harmônicas) proporcionam segurança quando da ocorrência de correntes de *inrush* durante a energização do transformador. O elemento das harmônicas pares permite a escolha entre o bloqueio por harmônicas e a restrição por harmônicas. No modo bloqueio, o usuário seleciona o bloqueio tendo como base uma fase individual ou considerando uma base comum, de acordo com a aplicação e filosofia. Os valores limites da segunda, quarta e quinta harmônicas são ajustados independentemente, assim como as funções de restrição por harmônica e bloqueio por componente DC, que também são habilitadas independentemente.

Uma função adicional de alarme para a corrente de quinta harmônica utiliza um valor limite separado e um temporizador ajustável para alarme de sobreexcitação. Isso pode ser útil para aplicações de transformadores ou perto de estações de geração.

Durante a energização, correntes anormais podem fluir no enrolamento denominadas correntes de magnetização, causadas pela saturação do núcleo do transformador (Schweitzer Engineering Laboratories, 2009, p. 65). Essas correntes de magnetização contêm uma grande quantidade de correntes de 2ª harmônica. Já as correntes de 3ª harmônica geram sobrecorrentes, acarretando no disparo do relé.

Existe também um conjunto de elementos de corrente diferencial sem restrição. Esses elementos simplesmente comparam o valor da corrente diferencial de operação com um valor de ajuste, normalmente de 10 vezes o ajuste do TAP. Esse valor de *pickup* somente é ultrapassado para faltas internas.

### 3.2.2. Proteção de Falta à Terra Restrita (REF)

A função de proteção REF é aplicável para obter sensibilidade na detecção de faltas à terra interna em enrolamentos de transformadores conectados em estrela aterrada e autotransformadores aterrados. Conforme figura 21, somente uma das três entradas ABC do enrolamento 4 é usada para introdução da corrente de polarização do TC de neutro. A corrente de operação é derivada da corrente residual calculada para o enrolamento protegido. Um elemento direcional determina se a falta é interna ou externa. O *trip* é supervisionado pelos valores limites da corrente de sequência zero e pela lógica selecionável de saturação do TC. Uma vez que uma das entradas do enrolamento 4 é usada para o TC de neutro, um máximo de três das entradas do enrolamento podem ser usadas para proteção de sobrecorrente e diferencial. A figura 21 representa a proteção de um autotransformador. Os três enrolamentos W1, W2 e W3 são conectados ao relé.

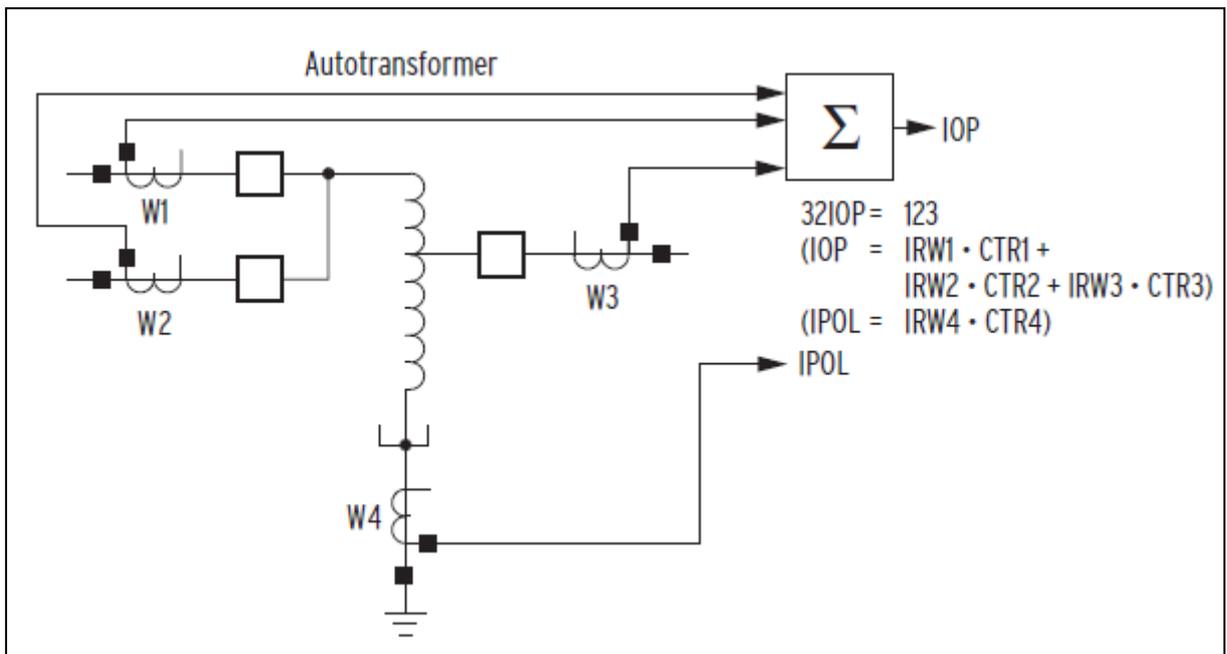


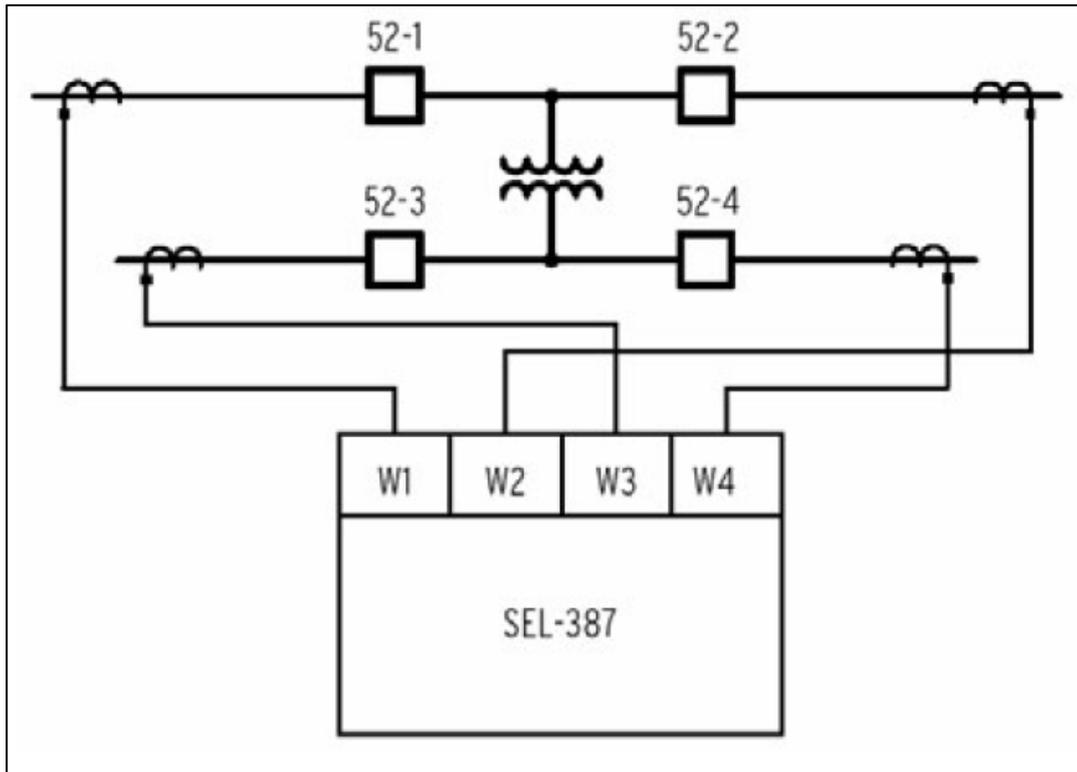
Figura 21 – Diagrama da Proteção (REF)

Fonte: SEL - Schweitzer Engineering Laboratories (2009, p. 87).

### 3.2.3. Proteção de Sobrecorrente

O Relé SEL-387 tem onze elementos de sobrecorrente para cada grupo de entradas de corrente das três fases, sendo 44 elementos no total. Existem nove elementos controlados por torque que incluem um elemento instantâneo, um de tempo definido e um de tempo inverso para cada fase das correntes residual e de sequência negativa. Os elementos de fase operam com o máximo das correntes de fase. Os dois elementos restantes são de fase, separados, para auxiliar na identificação da fase que atuou ou para funções do tipo detecção de nível. Esses elementos não são controlados por torque.

Conforme a figura 22, dois conjuntos de elementos de sobrecorrente combinados operam com a soma vetorial das correntes dos enrolamentos 1 e 2 e a soma vetorial das correntes dos enrolamentos 3 e 4, respectivamente. As correntes individuais são calculadas através de uma relação apropriada, de forma que a corrente combinada possa refletir com precisão a corrente primária do sistema. Elementos de fase e residual de tempo inverso são disponibilizados para cada uma das correntes combinadas. Esses elementos combinados oferecem flexibilidade adicional quando o relé é aplicado em sistemas com vários disjuntores, tais como aplicações em anel ou disjuntor e meio. As relações de TCs diferentes são permitidas nos dois enrolamentos, que são somados para criar a corrente resultante. Para TCs ideais, essas funções de sobrecorrente combinadas não respondem a qualquer corrente circulante que possa passar através de ambos os disjuntores.



**Figura 22 – Dois Disjuntores nos Lados de Alta e Baixa.**

**Fonte: Schweitzer Engineering Laboratories (2001, p. 3).**

As curvas de sobrecorrente temporizadas mostradas na tabela 3 têm duas opções de característica de reset para cada elemento de sobrecorrente temporizado. Uma delas consiste em resetar os elementos quando a corrente cair abaixo do valor de partida, e assim permanecer durante pelo menos um ciclo. A outra emula a característica de *reset* de um relé com disco de indução eletromecânico.

Tabela 3 – Curvas de Sobrecorrente Temporizadas

US (IEEE)	IEC
Moderadamente Inversa	Normal Inversa
Inversa	Muito Inversa
Muito Inversa	Extremamente Inversa
Extremamente Inversa	Tempo-Longo Inversa
Tempo-Curto Inversa	Tempo-Curto Inversa

Fonte: SEL - Schweitzer Engineering Laboratories (2001, p. 4).

Como exemplo, o Relé SEL-387 apresenta a seguinte família para curvas normal inversas (IEC), conforme a figura 23 a seguir.

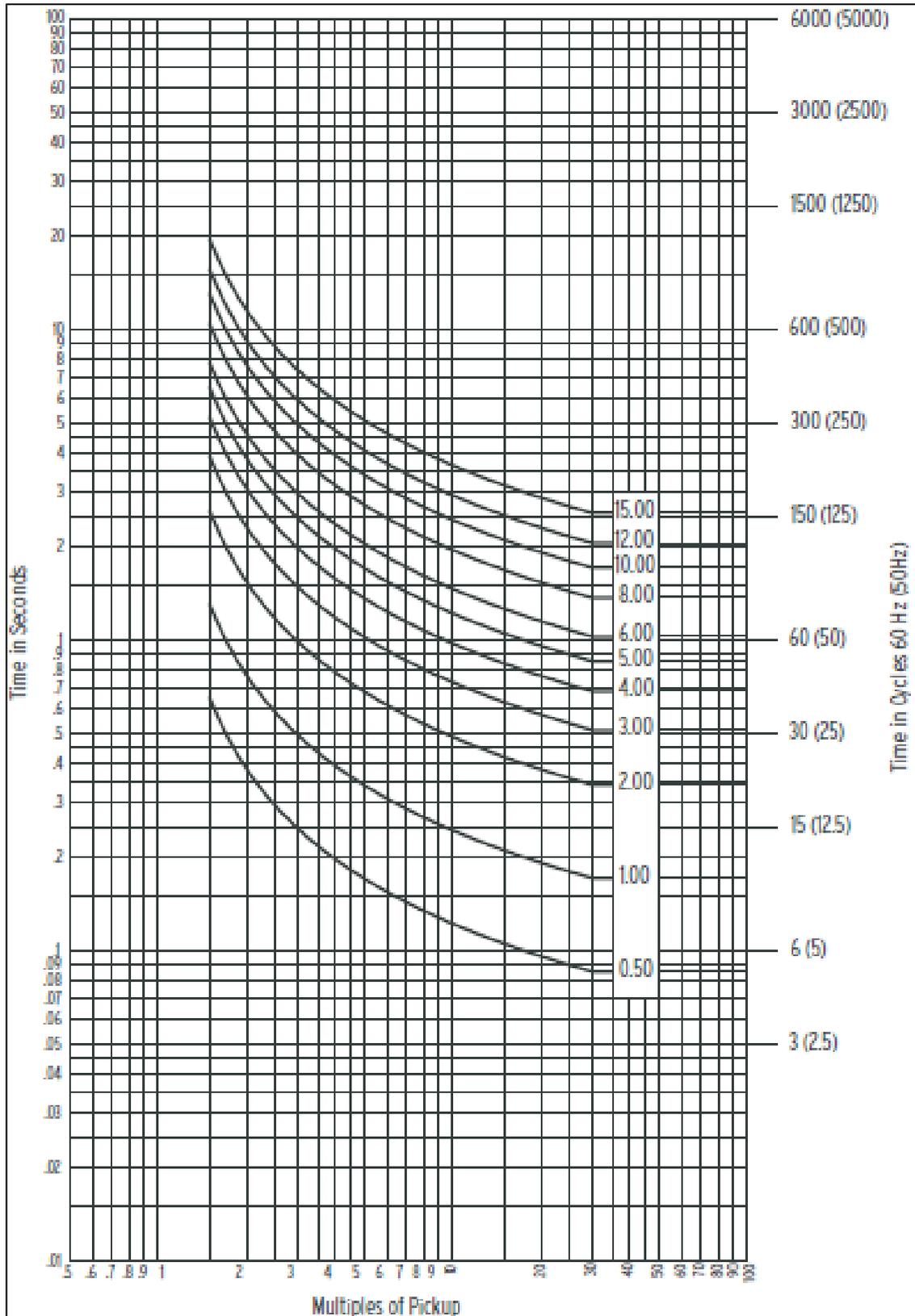


Figura 23 – Família de curvas normal inversas

Fonte: Schweitzer Engineering Laboratories (2009, p. 125).

### 3.3. FUNÇÕES DE MONITORAMENTO

Quanto às funções de monitoramento, observam-se principalmente:

- Oscilografia armazena até 7 segundos de dados;
- Sequência de eventos armazena os últimos 512 eventos;
- Monitoramento térmico do transformador;
- Monitoramento do sistema de alimentação auxiliar CC (banco de baterias), fornecendo alarme para subtensão e sobretensão;
- Monitoramento de desgaste dos contatos do disjuntor por pólo;
- Contador de operações para até quatro disjuntores;
- Monitoramento das bobinas do disjuntor (através de programação lógica);
- 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 de desgaste do transformador devido à faltas externas passantes.

### 3.4. FUNÇÕES DE MEDIÇÃO

Este relé possui as seguintes funções de medição:

- Correntes de fase (IA, IB, IC) e residual (IG), correntes de sequência (I0, I1, I2);
- Demanda de corrente de fase e de sequência negativa;
- Corrente diferencial;
- Espectro de harmônicas até a 15ª ordem;
- Registro de valores máximos e mínimos de grandezas analógicas;
- Temperatura de topo do óleo via módulo de RTD's SEL 2600A;
- Temperatura ambiente via módulo SEL-2600A e processador SEL-2032;
- Temperatura do ponto mais quente do interior do transformador.

### 3.5. FUNÇÕES DE CONTROLE

O relé SEL-387 também apresenta diversas funções de controle como:

- Número de entradas e saídas binárias (STANDARD): seis entradas e oito saídas;
- Comando de abrir / fechar o disjuntor e/ou seccionadoras, local e remoto;
- Programação através de equações lógicas (SELogic): 16 relés auxiliares / temporizadores, 16 biestáveis, 16 chaves de controle local e remoto;
- Programação de até 16 mensagens para serem exibidas no display;
- Seletividade lógica;
- 6 grupos de ajustes;
- Controle de torque das funções de sobrecorrente;
- 30 – Anunciador;
- 69 – Inibição de fechamento;
- 86 – Retenção de sinal de disparo.

### 3.6. INTEGRAÇÃO

A integração do relé SEL-387 pode ser realizada segundo:

- 1 porta serial EIA-232 frontal, 2 portas seriais EIA-232 traseiras e 1 porta serial EIA-485 traseira;
- Sincronização horária por IRIG-B;
- Protocolos: DNP3.0, ASCII, *Compressed ASCII*, *Fast Meter*, *Fast Operate*, LMD (Linguagem de Manipulação de Dados).

### 3.7. LÓGICAS ADICIONAIS

Além das funções de medição, proteção, monitoramento, controle, o relé SEL-387 possui as lógicas abaixo que proporcionam ao usuário configurar:

- Bloqueio ou restrição de 2ª e 4ª harmônicas;

- Bloqueio de 5ª harmônica e componente CC;
- Remoção de sequência zero, selecionável para qualquer tipo de conexão do transformador.

### 3.8. OUTRAS CARACTERÍSTICAS

- *Software* amigável para parametrização (AcSELerator);
- Contatos *Standard*: capacidade de condução contínua 6A, 50A por 1 segundo, capacidade de estabelecimento de condução 30A, capacidade de interrupção 0,3A (125Vcc, L/R = 40ms);
- Tensão auxiliar: 24, 48, 125 ou 250 VCC;
- Temperatura de operação  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $+85^{\circ}\text{C}$ .

#### 4. CARACTERÍSTICAS DA MALETA DE TESTES OMICRON CMC 256-6

A figura 24 mostra a mala de testes trifásica, modelo Omicron CMC 256-6, a qual foi utilizada para realização dos ensaios envolvendo o relé.



Figura 24 – Mala de Testes CMC 256-6 da Omicron Eletronics

Fonte: Omicron (2011).

A mala de testes modelo Omicron CMC 256-6, é parte do sistema de testes que possui não somente um dispositivo de testes, mas também um *software* de testes denominado Omicron Test Universe. Este *software* é a interface responsável pelas configurações e controles dos equipamentos.

Os seguintes elementos estão presentes no equipamento e são necessários para a operação da mala de testes modelo CMC 256-6:

- Cabo de conexão CMC 256-6 para fazer a conexão com o computador;
- Cabo de conexão CMC 256-6 para fazer a conexão com o relé a ser testado;
- Cabo de alimentação;
- Computador com *software* de teste instalado e porta paralela ou Ethernet.

Para esse tipo de equipamento podem ser utilizados amplificadores de corrente e tensão externos como extensão do equipamento de teste.

#### 4.1. INICIANDO O SISTEMA DE TESTES

Para iniciar os procedimentos dos ensaios, é necessário conectar a mala de testes ao computador através de um conector localizado na parte posterior do equipamento. Para o computador, a conexão pode ser realizada através da porta paralela ou ethernet. Após a maleta e o computador serem ligados, o programa Omicron Test Universe deverá ser inicializado. Após o programa ser inicializado, um teste de *hardware* geral é realizado e durante a sua execução, um som de chaveamento de relés será ouvido. Caso haja alguma falha durante esse período, o *software* mostrará uma mensagem de erro.

#### 4.2. FUNÇÕES E CONFIGURAÇÕES

A mala de Testes Omicron CMC 256-6 é responsável por:

- Medir a reação (analógica e binária) do objeto a ser testado;
- Gerar sinais de testes (correntes, tensões, sinais binários);
- Fornecer corrente DC ao objeto sob teste.

O programa de teste rodando no computador é responsável por:

- Gerar relatórios;
- Processar dados de medidas;
- Controle dos sinais de testes;
- Gerar entrada de dados.

#### 4.3. QUALIDADE E PRECISÃO

As aplicações mais frequentes para esse tipo de equipamento são o teste de sistemas de proteção e os testes em medidores de energia. A mala de testes CMC 256-6 é um equipamento de teste preciso, confiável e muito utilizado para realização de ensaios envolvendo relés. Essa mala de testes também apresenta uma alta precisão nas fases. Com essa maleta trifásica é possível realizar uma grande quantidade de ensaios em relés, aplicando valores de corrente e tensão, sem haver o risco de danificar ou queimar os mesmos.

## 5. SOFTWARE OMICRON TESTE UNIVERSE

O *software* Omicron Teste Universe foi projetado para realizar testes em dispositivos de proteção e medida, tanto para empresas fabricantes de relés como para companhias elétricas. Ele proporciona flexibilidade e adaptabilidade para diferentes tipos de aplicações, sendo um *software* sofisticado, fácil de utilizar e desenvolvido para o sistema *Windows*.

No *software* existem “Módulos de Teste” que permitem que os relés sejam operados de modo autônomo para testes simples. Para a realização desses testes, existem ferramentas que permitem que sejam feitas várias análises e testes nos relés, de acordo com suas funções.

Dentro do *software* existem ainda outros pacotes como “Administração de Teste”, que funciona como um banco de dados, o “Control Center”, que permite a criação e a leitura de documentos que mostram como se executar os testes nos relés, entre outros. A figura 25 mostra a interface do *software*.

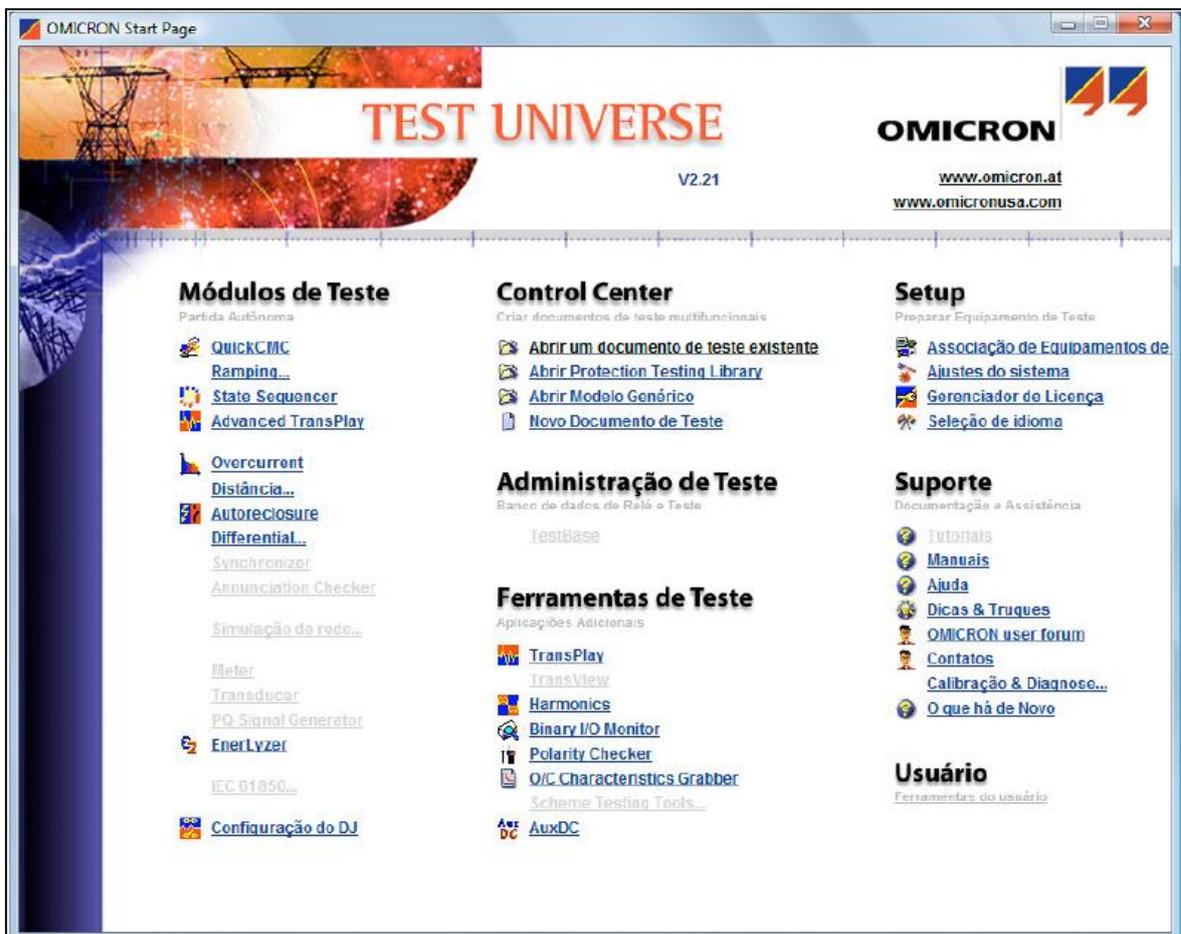


Figura 25 – Interface do *software* Omicron Test Universe

Fonte: Autoria Própria.

## 6. ENSAIOS

### 6.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo serão descritos todos os ensaios realizados, os equipamentos utilizados, a forma física de sua montagem e os resultados obtidos.

### 6.2. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Para a realização dos ensaios, utilizaram-se os seguintes equipamentos:

- 01 Mala de Testes Trifásica - Marca Omicron, Modelo CMC 256-6;
- 02 Microcomputadores;
- 01 Relé Diferencial – Marca Schweitzer Modelo SEL-387;
- Cabos de alimentação;
- Cabos específicos para comunicação da mala de testes e o microcomputador e para comunicação entre o relé e o microcomputador.

#### 6.2.1. Cabos

Os cabos de comunicação utilizados são cabos específicos para a comunicação entre o computador e a mala de testes modelo OMICRON e para a comunicação do computador com o relé. Conforme figura 26, é possível observar o cabo modelo DB9fêmea/DB9macho utilizado para fazer a comunicação entre o relé e o microcomputador.



**Figura 26 – Cabo para Comunicação**

**Fonte: Autoria Própria.**

### 6.3. MONTAGEM DOS EQUIPAMENTOS

Primeiramente, é necessário realizar as conexões de todos os equipamentos envolvidos nos ensaios. A mala de testes e o relé SEL-387 são alimentados diretamente através da rede elétrica 127Vca. A saída do principal amplificador da mala é capaz de fornecer corrente e tensão para o relé, sendo usados quatro cabos para corrente na saída A (1, 2, 3 e N) e quatro cabos para corrente na saída B (1, 2, 3 e N). As figuras 27 e 28 ilustram as conexões dos cabos na Mala de Testes CMC 256-6 e no relé SEL-387.

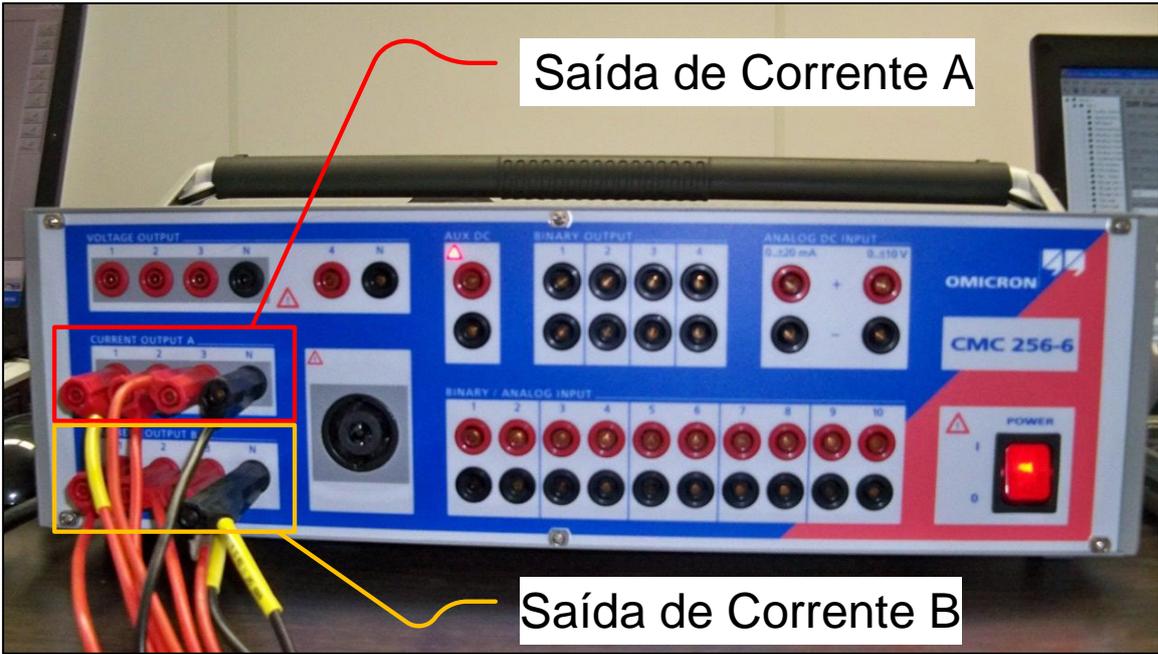


Figura 27 – Conexões dos cabos na Mala de Testes CMC 256-6

Fonte: Autoria Própria.

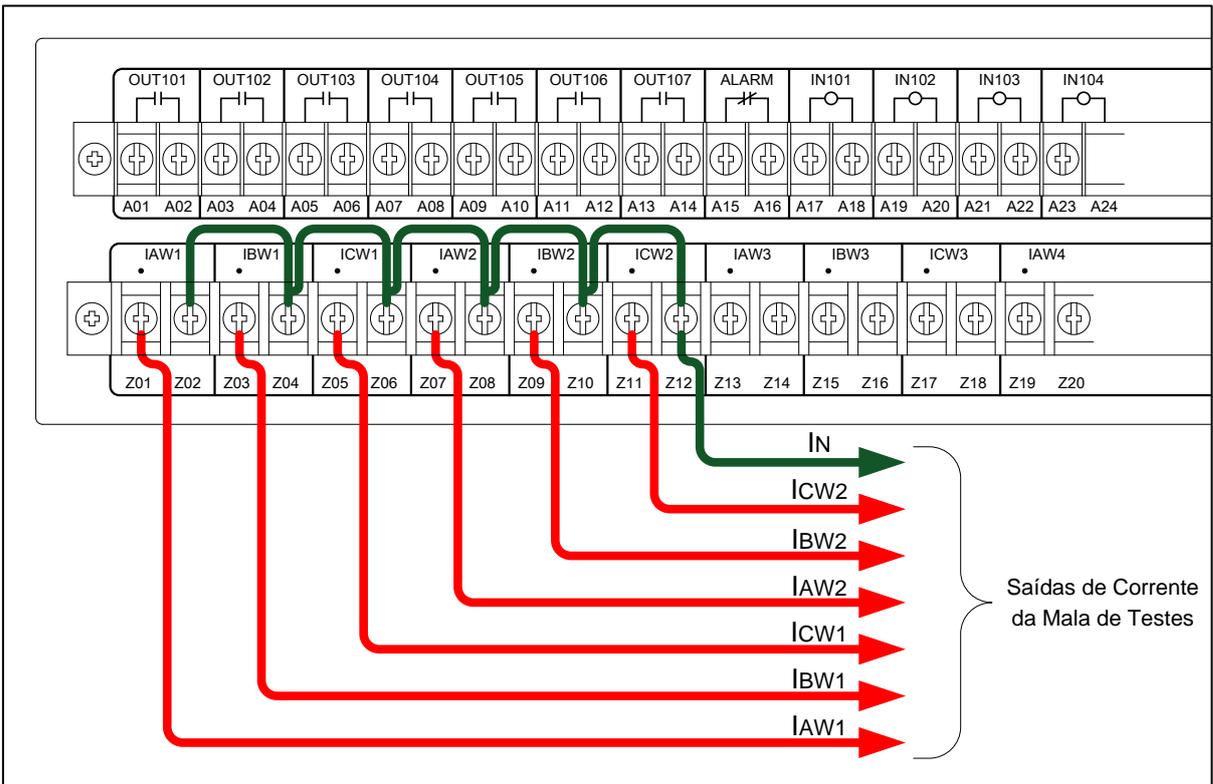


Figura 28 – Esquema de ligação trifásica do relé SEL-387

Fonte: Autoria Própria.

A tabela 4 ilustra as conexões e a identificação das correntes entre a maleta e o relé SEL-387.

Tabela 4 – Identificação das Correntes no relé SEL-387.

Mala de Testes CM256-6		Relé SEL-387	
		Identificação	Bornes
Saída de Corrente A	1	I <sub>AW1</sub> <sup>o</sup>	Z01
	2	I <sub>BW1</sub> <sup>o</sup>	Z03
	3	I <sub>CW1</sub> <sup>o</sup>	Z05
	N	IN	Z02, Z04, Z06
Saída de Corrente B	1	I <sub>AW2</sub> <sup>o</sup>	Z07
	2	I <sub>BW2</sub> <sup>o</sup>	Z09
	3	I <sub>CW2</sub> <sup>o</sup>	Z11
	N	IN	Z08, Z10, Z12

Fonte: Autoria Própria.

A mala de testes é conectada a um microcomputador por meio de uma porta de comunicação traseira através de um cabo específico.

O microcomputador ligado à mala de testes tem instalado o *software* Omicron Test Universe, específico para controlar a mala Omicron.

A mala de testes usada oferece uma saída de tensão de 125Vcc para análise lógica das entradas digitais do relé. Durante o ensaio é executada a função de disparo resultante da equação lógica que envolve as funções de proteção. Na falta de uma mala de testes, pode-se usar uma fonte de tensão 125Vcc ligada aos terminais da saída e a monitoração pode ser realizada com um multímetro ligado nos terminais.

Através de um cabo conversor USB para RS232 e de um cabo modelo SEL-C234A para comunicação com relés SEL, o relé é conectado ao segundo computador, o qual registrará os valores e a oscilografia dos ensaios desenvolvidos. A aquisição dos dados do relé se dá pelo *software* *AcSELeRator QuickSet* que faz o gerenciamento dessa comunicação. A figura 29 ilustra a conexão do relé com o microcomputador. Essas ações podem ser executadas ao mesmo tempo em que é executado o ensaio, permitindo um monitoramento em tempo real das variáveis medidas pelo relé.

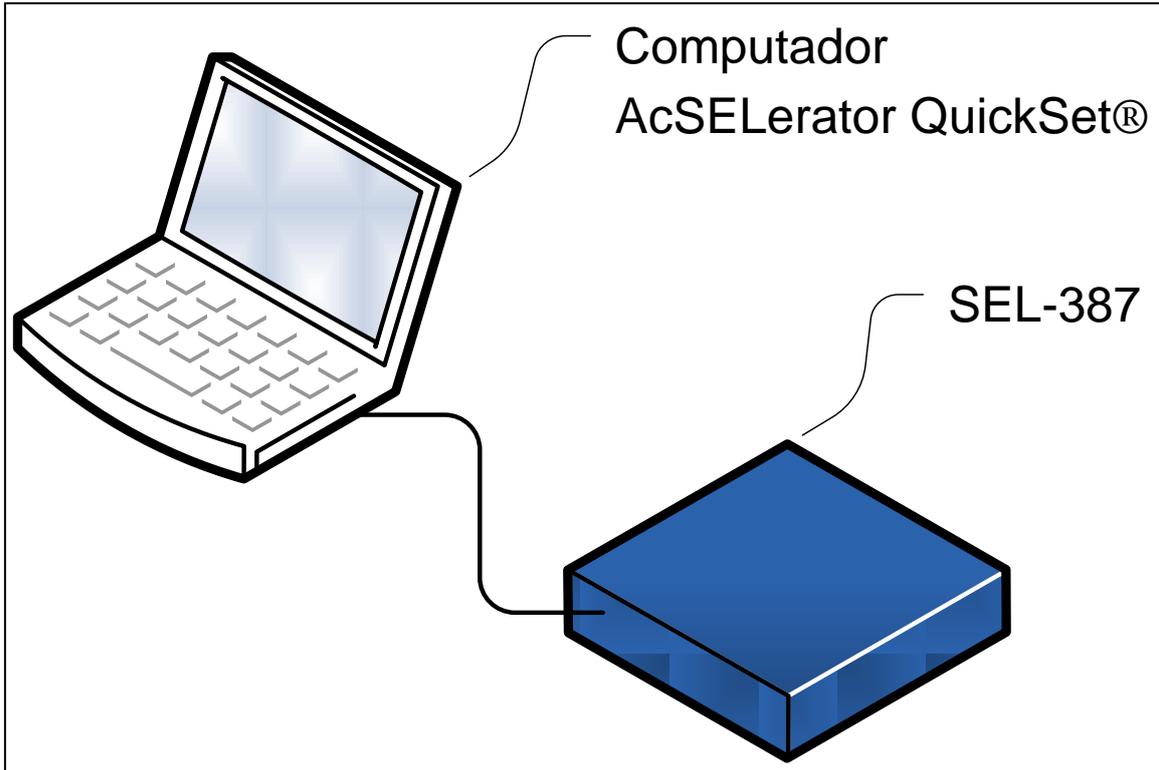


Figura 29 – Esquema de Esquema de comunicação entre o computador e o relé SEL-387  
Fonte: Autoria Própria.

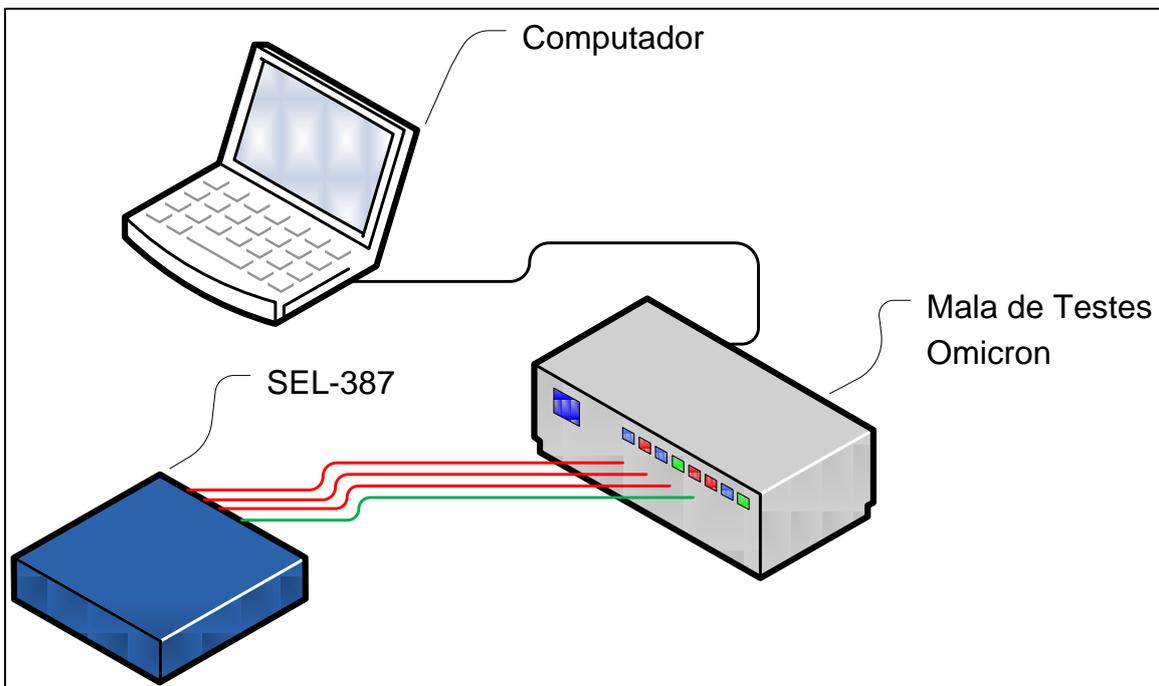
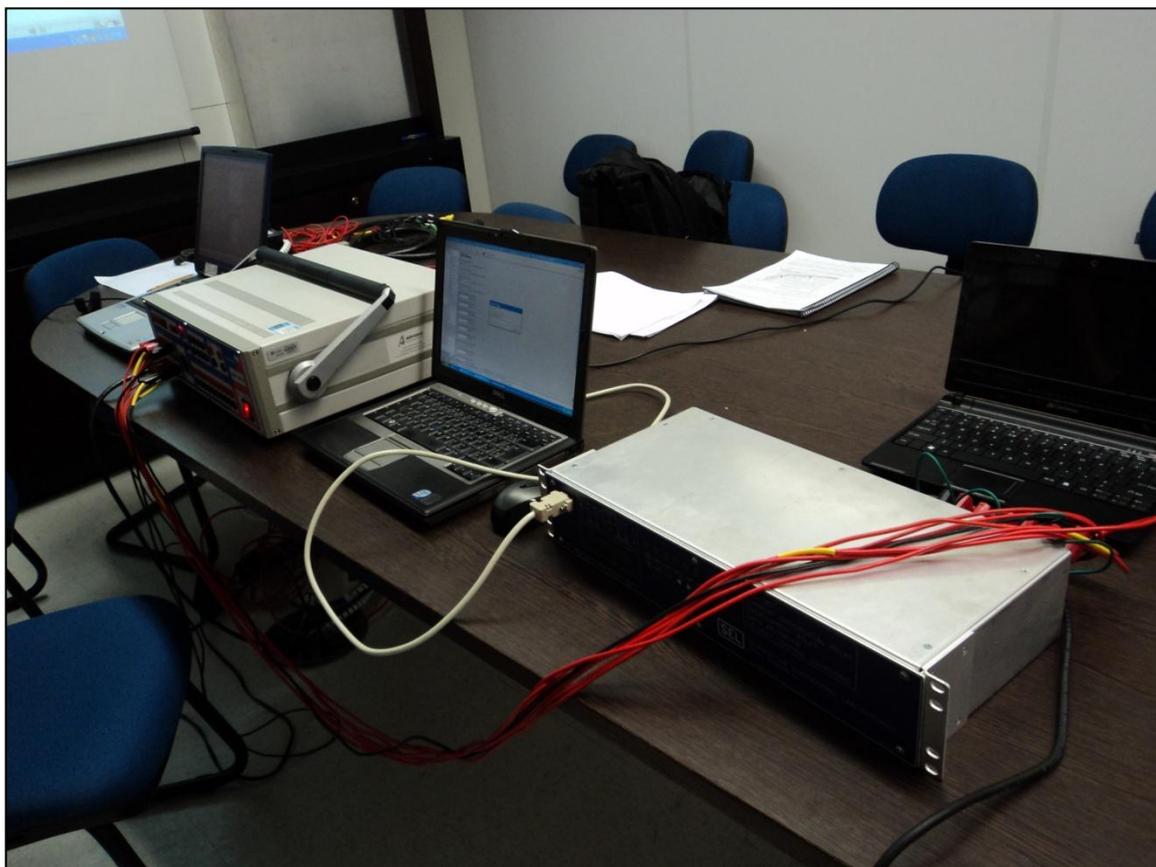


Figura 30 – Esquema de comunicação entre o computador e a Mala de Testes CMC 256-6 e ligação trifásica entre a mala de testes e o relé SEL-387  
Fonte: Autoria Própria.

A figura 31 a seguir, ilustra a conexão de todos os equipamentos utilizados para a realização dos ensaios.



**Figura 31 – Conexões dos Equipamentos utilizados nos ensaios**

**Fonte: Autoria Própria.**

#### 6.4. CONFIGURAÇÕES E AJUSTES DO RELÉ SEL-387

Antes de realizar os ensaios, é necessário fazer os ajustes do relé para que o mesmo possa operar de forma correta. Esse capítulo descreverá os principais ajustes realizados no relé SEL-387.

##### 6.4.1. Ajustes dos TAPs e relações de TCs do relé

O relé utiliza uma equação padrão para ajuste dos TAPs baseado nas características do transformador. O TAP do relé pode ser calculado através da equação (3), conforme (Schweitzer Engineering Laboratories, 2009, p. 76).

$$TAPn = \frac{MVA \times 1000}{\sqrt{3} \times VWDGn \times CTRn} \times C \quad (3)$$

Onde:

- C = 1 se os TCs são conectados em estrela (ajuste WnCT=Y);
- C =  $\sqrt{3}$  se os TCs são conectados em delta (ajuste WnCT=D);
- MVA = potência do transformador;
- VWDGn é tensão nominal fase-fase do enrolamento em kV;
- CTRn é relação dos TCs correspondentes.

O cálculo do TAP deve levar em consideração as seguintes limitações:

- O ajuste deve estar dentro da faixa  $0,1 \times IN$  e  $31 \times IN$ ;
- A relação entre o maior e menor TAP deverá ser menor ou igual a 7,5.

As relações de TCs (CTRn) utilizadas nos ensaios foram:

- Lado de 230kV: 600/5A (120:1);
- Lado de 138kV: 1200/5A (240:1);
- Lado de 13,8kV: 2000/5A (400:1).

O ajuste de CTR4 é irrelevante, pois a quarta entrada do relé não estará sendo utilizada. Portanto, os valores de CTRn são:

- CTR1= 120;
- CTR2= 240;
- CTR3= 400.

Logo, para o ensaio, foi considerado um transformador TF-1 230kV/138kV/13,8kV de 100 MVA. Para o cálculo dos TAPs tem-se:

$$TAP1 = \frac{100 \times 1000}{\sqrt{3} \times 230 \times 120} \times 1 = 2,09 \quad (4)$$

$$TAP2 = \frac{100 \times 1000}{\sqrt{3} \times 138 \times 240} \times 1 = 1,74 \quad (5)$$

$$TAP3 = \frac{100 \times 1000}{\sqrt{3} \times 13,8 \times 400} \times 1 = 10,46 \quad (6)$$

$$Relação = \frac{TAPmáx}{TAPmín} = \frac{10,46}{1,74} = 6,01 \leq 7,5 \quad (7)$$

Conforme figura 32, é possível visualizar os valores de ajustes do relé utilizados nos ensaios.

Group 1 Settings			
RID	=XFMR 1 S/N 2008336297		
TID	=STATION A		
E87W1	= Y	E87W2	= Y
E87W3	= Y	E87W4	= N
EOC1	= Y	EOC2	= Y
EOC3	= Y	EOC4	= N
E49A	= N	E49B	= N
ESLS1	= N	ESLS2	= N
ESLS3	= N		
W1CT	= Y	W2CT	= Y
W3CT	= Y	W4CT	= Y
CTR1	= 120	CTR2	= 240
CTR3	= 400	CTR4	= 400
MVA	= 100.0	ICOM	= Y
W1CTC	= 0	W2CTC	= 1
W3CTC	= 0		
VWDG1	= 230.00	VWDG2	= 138.00
VWDG3	= 13.80		
TAP1	= 2.09	TAP2	= 1.74
TAP3	= 10.46		
O87P	= 0.30	SLP1	= 25
SLP2	= 50	IRS1	= 3.0
U87P	= 10.0	PCT2	= 15
PCT5	= 35		
TH5P	= OFF	IHBL	= N

**Figura 32 – Visualização da tela para ajuste de valores**

**Fonte: Autoria Própria.**

#### 6.4.2. Conexões de TCs

Os ajustes possíveis dos TCs são:

- Y: conexão dos secundários dos TCs em estrela;
- D: conexão dos secundários dos TCs em delta.

Caso a conexão seja em delta (D), o valor do TAP calculado é multiplicado por  $\sqrt{3}$ . Conforme a figura 32, todos os TCs possuirão conexão em estrela, portanto:

- W1CT = Y;
- W2CT = Y;
- W3CT = Y.

#### 6.4.3. Elemento Diferencial

O elemento diferencial (O87P) define a menor corrente acima da qual a unidade diferencial do relé passa a atuar. Recomenda-se sempre o menor ajuste possível de modo a aumentar a sensibilidade da proteção, porém, esse valor deve ser alto o suficiente para evitar a operação do relé devido a erros dos TCs em

regime permanente e corrente de excitação do transformador. O ajuste é calculado através da equação (8), conforme (Schweitzer Engineering Laboratories, 2009, p. 76):

$$O87P_{\text{mín}} = \frac{(0,1 \times IN)}{TAP_{\text{mín}}} = \frac{(0,1 \times 5)}{1,74} = 0,287 \quad (8)$$

Conforme figura 32, o valor ajustado do elemento O87P foi de 0,3.

#### 6.4.4. Bloqueio por 2º Harmônico

Este ajuste define o percentual de segundo harmônico, em relação à corrente fundamental, a partir da qual a unidade diferencial será bloqueada. O ajuste poderá ser entre 5% e 100% ou estar desabilitado. Para os ensaios será adotado o ajuste:

- PCT2 = 15.

#### 6.4.5. Restrição Percentual

Conforme figura 32, existem dois slopes (SLP1 e SLP2) que correspondem à característica de restrição diferencial com dupla inclinação. Com a utilização de dois slopes, há uma melhora da sensibilidade na região onde o erro de TC é menor e um aumento da segurança para as regiões de altas correntes, onde o erro do TC é maior. Deve-se definir o início do slope 2 levando-se em consideração o limite ou ponto de interseção com o slope 1 (IRS1). Foi assumido um ajuste de SLP1 de 25%. O valor de IRS1 foi ajustado em 3, enquanto o SLP2 foi ajustado em 50%, para evitar problemas com saturação dos TCs para altas correntes

#### 6.4.6. Habilitação dos Elementos Diferenciais

O relé SEL-387 possui três conjuntos de entradas de corrente. Dependendo da aplicação, pode não ser necessária a utilização de todas estas entradas para compor a zona de proteção. Os ajustes E87Wn especificam entradas do relé que

estarão configuradas na zona de proteção diferencial do transformador. Um ajuste independente, EOC<sub>n</sub>, existe para habilitar os elementos de sobrecorrente e de medição de demanda. Os ajustes podem ser feitos de três formas distintas:

- N: desabilita a função diferencial da entrada de corrente correspondente;
- Y: habilita a função diferencial da entrada de corrente correspondente;
- Y1: habilita a função diferencial da entrada de corrente correspondente e torna disponíveis as funções de quarto harmônico (PTC4), bloqueio de relação dc (DCRB) e restrição harmônica.

Conforme figura 32, os valores foram ajustados em:

- E87W1 = Y1;
- E87W2 = Y1;
- E87W3 = Y1;
- E87W4 = N.

#### 6.4.7 Habilitação dos Elementos de Sobrecorrente e Demanda

O relé SEL-387 possui três conjuntos de entradas de corrente. Cada uma destas entradas possui funções de sobrecorrente específicas que podem ser ativadas independente da entrada fazer ou não parte da zona de proteção diferencial. Existem também funções de proteção de sobrecorrente entre enrolamentos, que podem ser habilitadas de forma separada das unidades de cada entrada do relé.

Os ajustes podem ser feitos para:

- N: as funções de sobrecorrente não serão habilitadas;
- Y: as funções de sobrecorrente serão habilitadas;

Conforme figura 32, para os ensaios realizados houve habilitações das funções de sobrecorrente para os três enrolamentos do transformador. O quarto enrolamento não faz diferença para os ensaios, portanto:

- EOC1 = Y;
- EOC2 = Y;
- EOC3 = Y;
- EOC4 = N.

## 6.5. ENSAIO DIFERENCIAL

Esse ensaio baseia-se na comparação entre a corrente elétrica que entra e a corrente elétrica que sai em um determinado elemento do sistema. Para esse ensaio o objetivo foi a proteção do transformador arbitrado previamente com potência nominal de 100MVA. Esse ensaio merece grande destaque, pois representa a principal função do relé SEL-387, que é a função diferencial, e servirá de base para a construção da curva (Corrente de Operação “versus” Corrente de Restrição) descrita mais adiante. A figura 33 representa o esquema da proteção diferencial. A corrente  $I_{prim}$  chegará ao primário do transformador enquanto a corrente  $I_{sec}$  é a corrente do secundário do transformador. Se a corrente  $I_1'$  for igual à corrente  $I_2'$ , não haverá nenhum disparo pelo relé. Para o segundo caso, se a diferença entre as correntes  $I_1'$  e  $I_2'$  for menor ou igual ao ajuste do relé, também não haverá disparo. O relé irá atuar quando a diferença entre as correntes  $I_1'$  e  $I_2'$  for maior que o ajuste do relé.

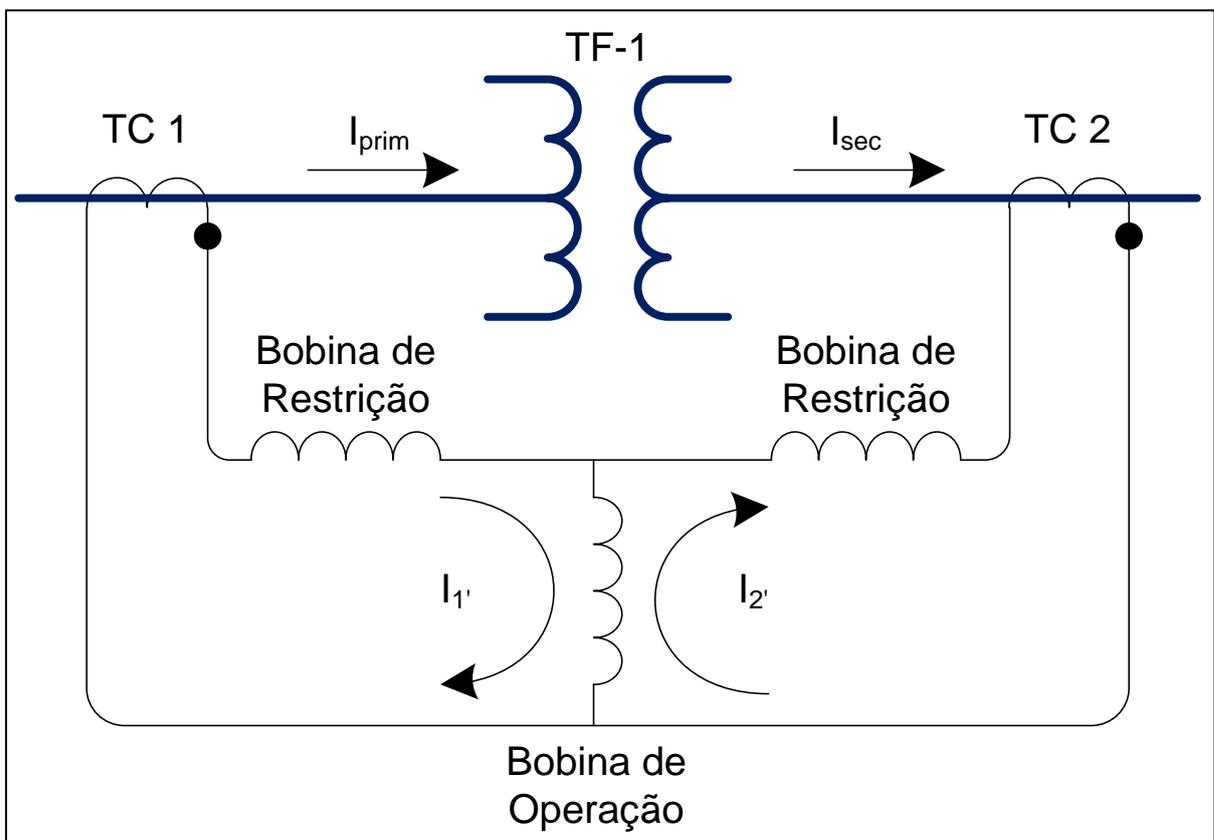


Figura 33 – Esquema da Proteção Diferencial

Fonte: Autoria Própria.

De acordo com a figura 34 a seguir, houve aplicação das correntes IL1, IL2 e IL3. As correntes trifásicas aplicadas foram senóides de 60Hz, com defasamento angular de  $120^\circ$  entre si. Houve variação dos valores das mesmas e observou-se o disparo do relé pela função diferencial quando elas atingiram o valor de 640mA. É possível visualizar na figura 34 o disparo feito pelo relé.

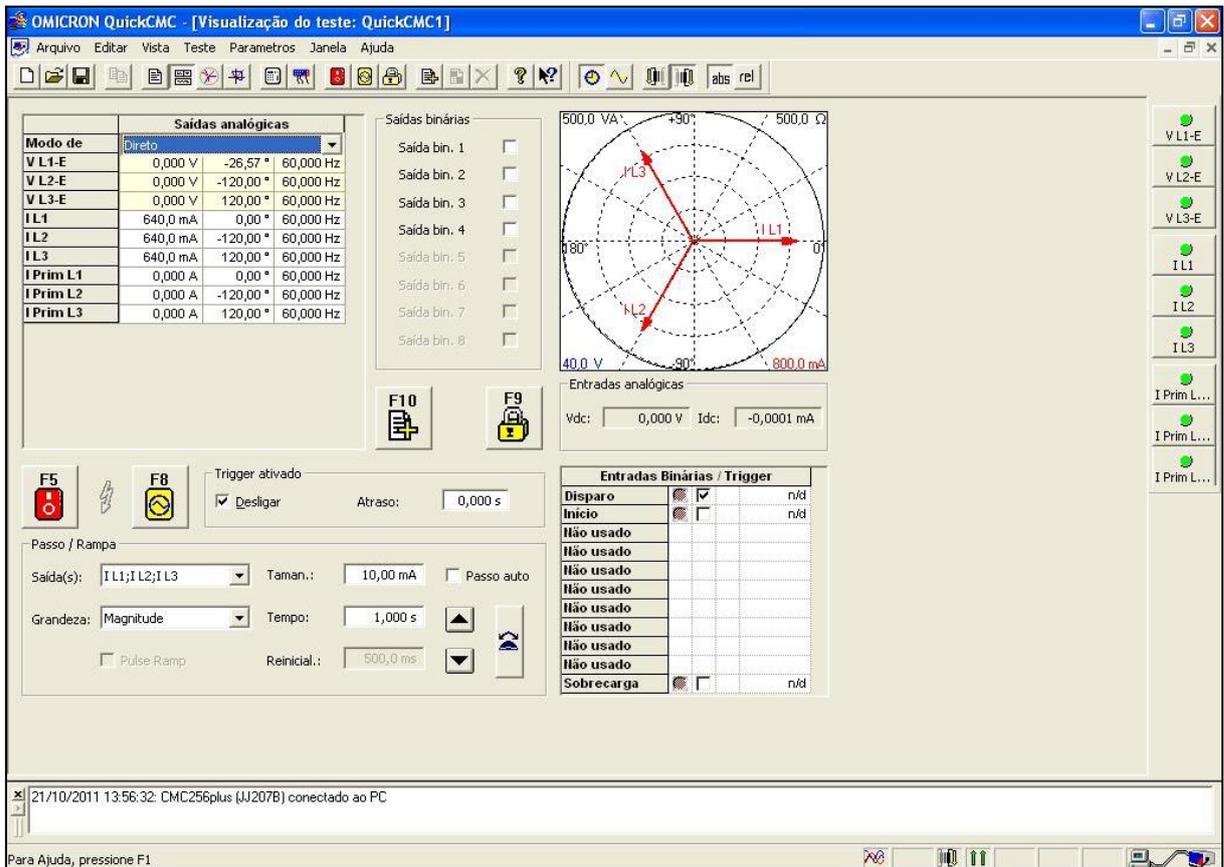
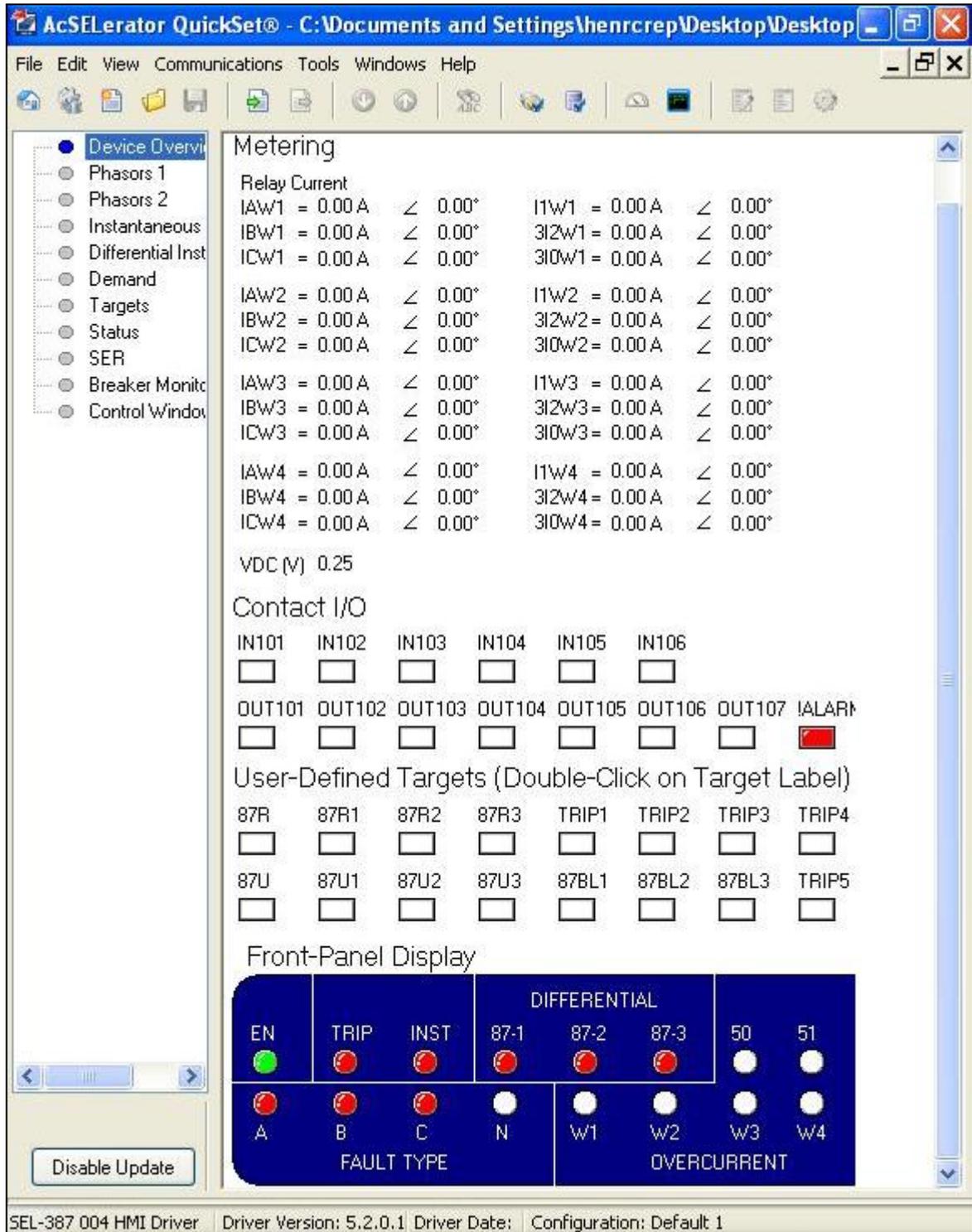


Figura 34 – Visualização do Teste Diferencial pelo software OMICRON

Fonte: Autoria Própria.



**Figura 35 – Visualização da Tela do Relé para o ensaio diferencial**

**Fonte: Autoria Própria.**

A figura 35 ilustra a tela do relé SEL-387 após a realização do ensaio diferencial. É possível notar que há o disparo das funções diferenciais, 87-1, 87-2, 87-3 e a falta nas três fases A, B e C, pois as correntes foram aplicadas às mesmas.

A figura 36 mostra a oscilografia de disparo do relé para o ensaio diferencial realizado. As senóides indicam as correntes IAW1, IBW1 e ICW1. Essas correntes apresentam amplitude de 640mA. A linha tracejada vertical vermelha indica o momento do *trip*, disparo do relé SEL-387 devido à atuação da proteção diferencial. As linhas horizontais azuis (TRIP4 e 87R) representam a proteção diferencial. É possível visualizar no gráfico dois pontos importantes. A abscissa do ponto (5,56; -0,97) refere-se ao momento do disparo do relé, após 5,56 ciclos (92,67ms). A abscissa do ponto (5,62; 1,67) indica o tempo que o relé enxerga a falta diferencial. A diferença entre as abscissas desses dois pontos que é 0,06 ciclo (1ms), representa o tempo que o relé demora para enxergar a falta a partir do momento do disparo.

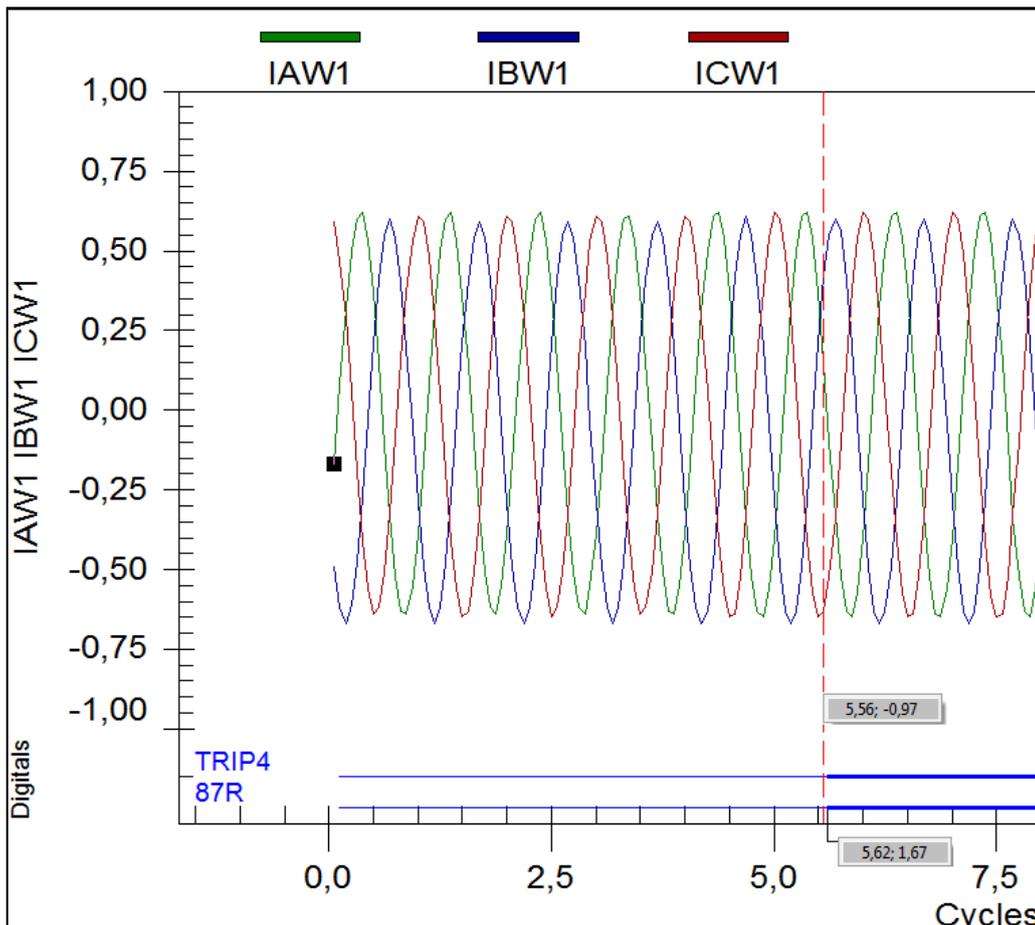


Figura 36 – Visualização da oscilografia com gráfico de disparo do relé SEL-387

Fonte: Autoria Própria.

A figura 37 mostra o diagrama fasorial das correntes nos enrolamentos. Esse valor varia ao longo do tempo. É possível observar que as correntes IAW1,

IBW1 e ICW1 têm um módulo maior que as demais correntes IAW2, IAW3, IAW4, IBW2, IBW3, IBW4, ICW2, ICW3, IWB4.

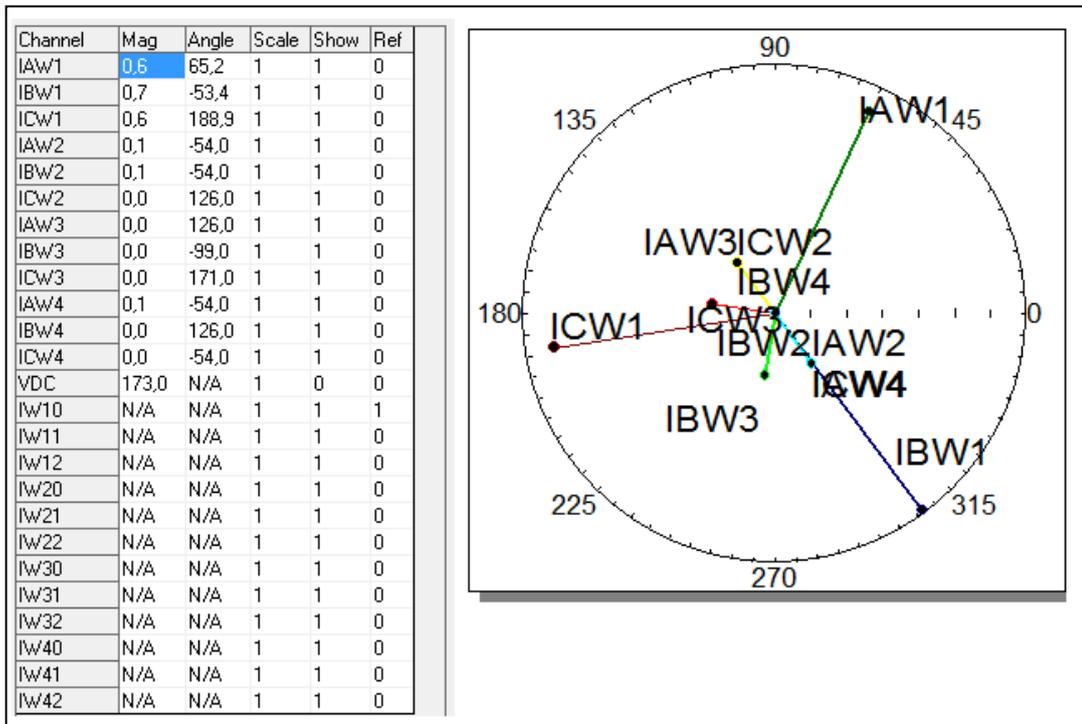


Figura 37 – Diagrama Fasorial das correntes.

Fonte: Autoria Própria.

A figura 38 representa a lógica da função diferencial do relé SEL-387.

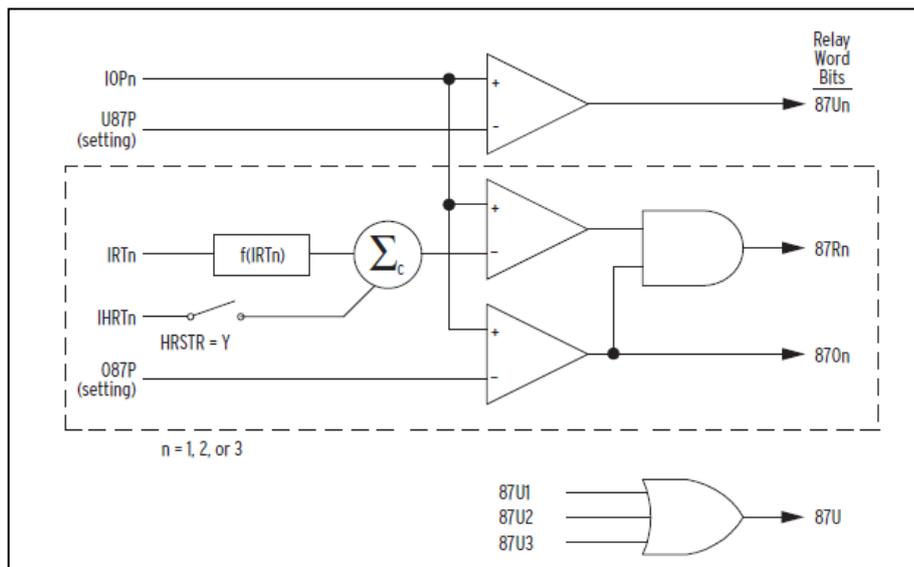


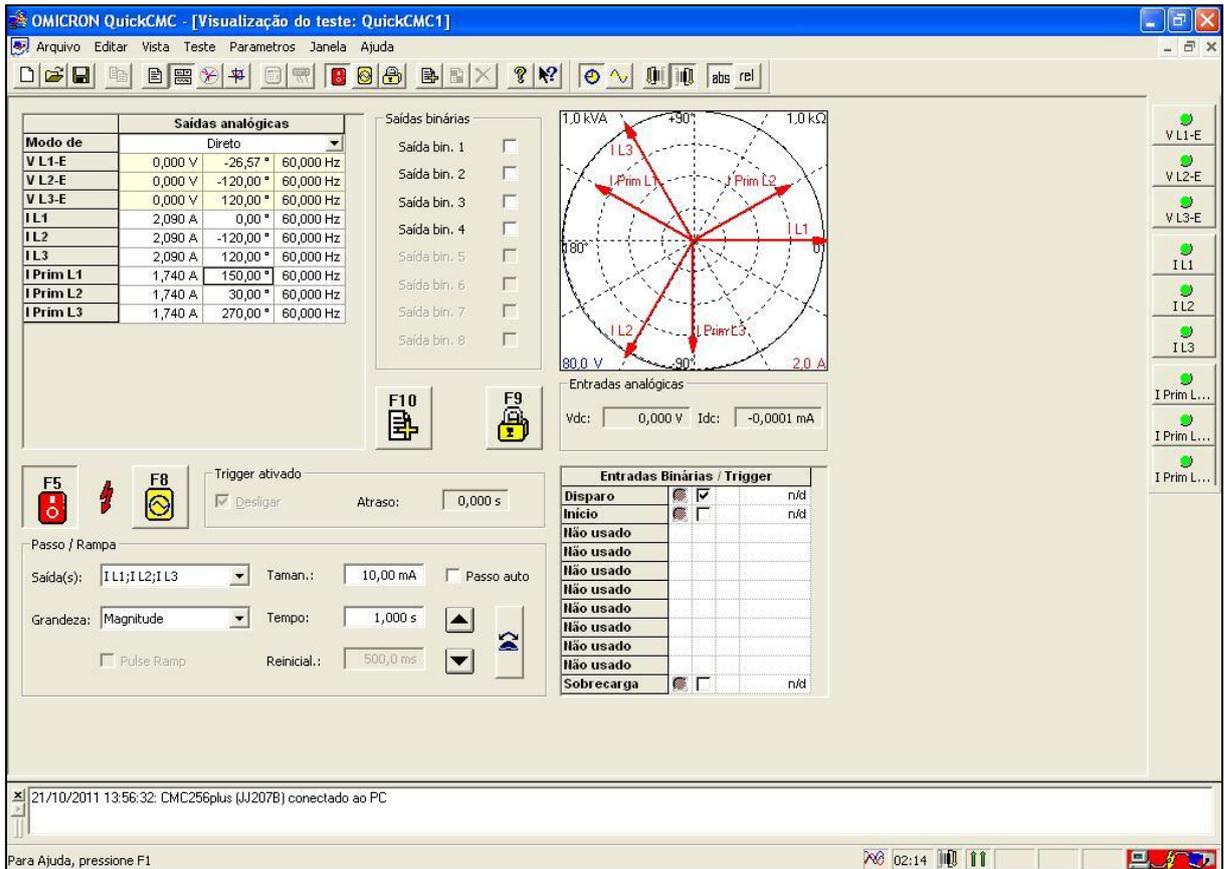
Figura 38 – Diagrama Lógico do Relé (Função Diferencial)

Fonte: Schweitzer Engineering Laboratories (2009).

O elemento diferencial calcula um limite em função da corrente de restrição,  $IRT_n$ . A corrente de operação,  $IOP_n$ , deve exceder esse limite para produzir a operação do relé. A função usa valores de ajuste do SLP1, SLP2 e IRS1, juntamente com  $IRT_n$ , para calcular o valor da corrente de operação. O diferencial lógico de decisão do elemento compara o valor calculado, denotado por  $f(IRT_n)$ , ao valor de  $IOP_n$  real. Se o valor da corrente de operação for maior, uma entrada da porta ao lado direito recebe uma lógica 1. A Comparação de  $IOP_n$  com o elemento diferencial, O87P, determina a segunda entrada. Se o valor de  $IOP_n$  for maior que O87P, a condição é então satisfeita, indicando operação do elemento diferencial de restrição.

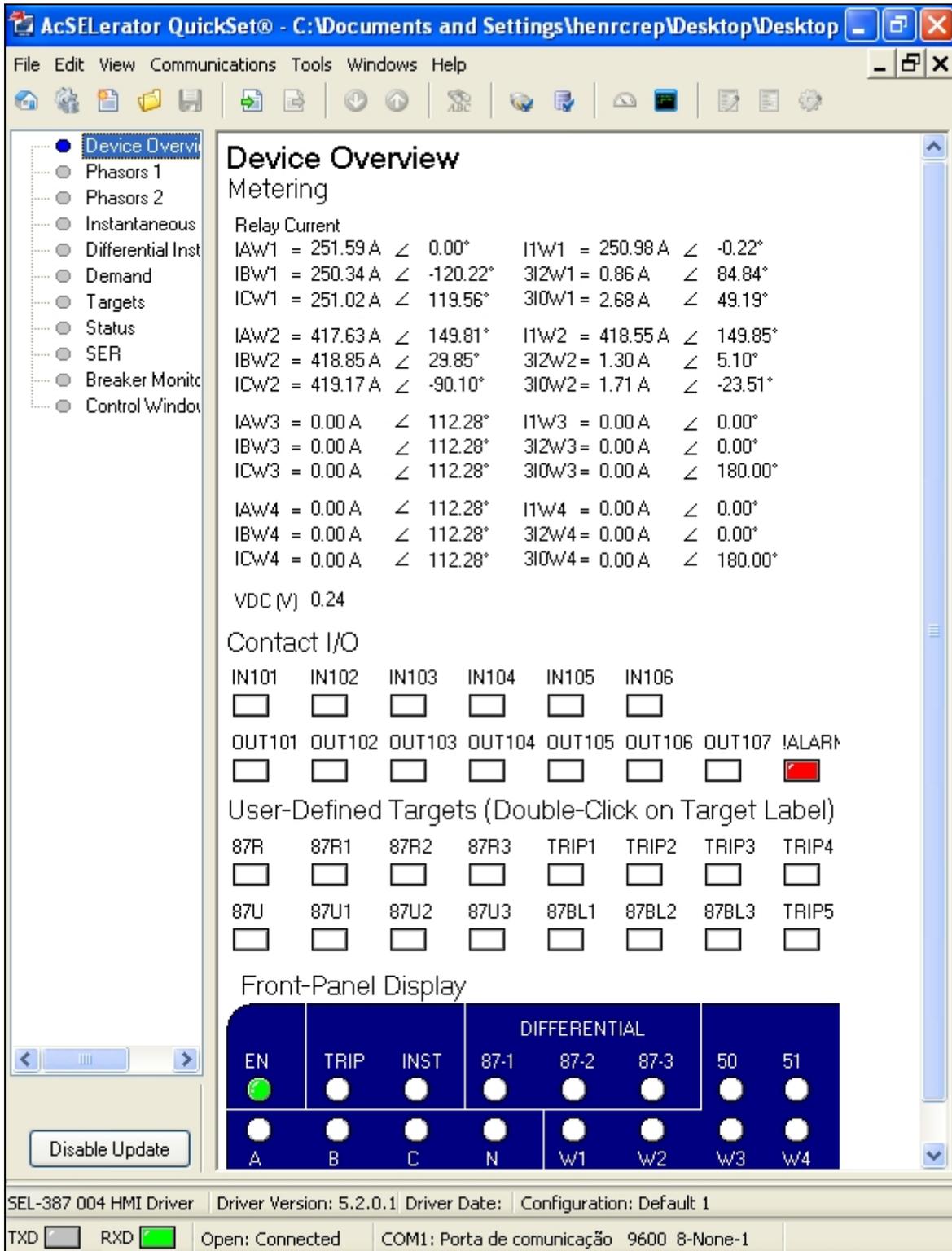
#### 6.6. ENSAIO PARA VERIFICAÇÃO DA CONDIÇÃO DE EQUILÍBRIO

Esse ensaio tem por objetivo verificar a condição de equilíbrio do relé SEL-387. Conforme figura 39, houve aplicação de correntes senoidais de 60Hz com módulo igual a 2,09A, com defasamento angular de  $120^\circ$  entre si. Esses valores de corrente correspondem exatamente ao valor ajustado do TAP1, de acordo com a figura 32. Houve também a aplicação de correntes, nos enrolamentos primários com módulo igual a 1,74A. Essas correntes também apresentam defasamento angular de  $120^\circ$  entre si, porém foram aplicadas com os ângulos de  $30^\circ$ ,  $150^\circ$  e  $270^\circ$ , respectivamente para  $I_{Prim L2}$ ,  $I_{Prim L1}$ ,  $I_{Prim L3}$ . Os valores das correntes de 1,74A correspondem exatamente ao valor ajustado para o TAP2, conforme figura 32.



**Figura 39 – Visualização da Condição de Equilíbrio**

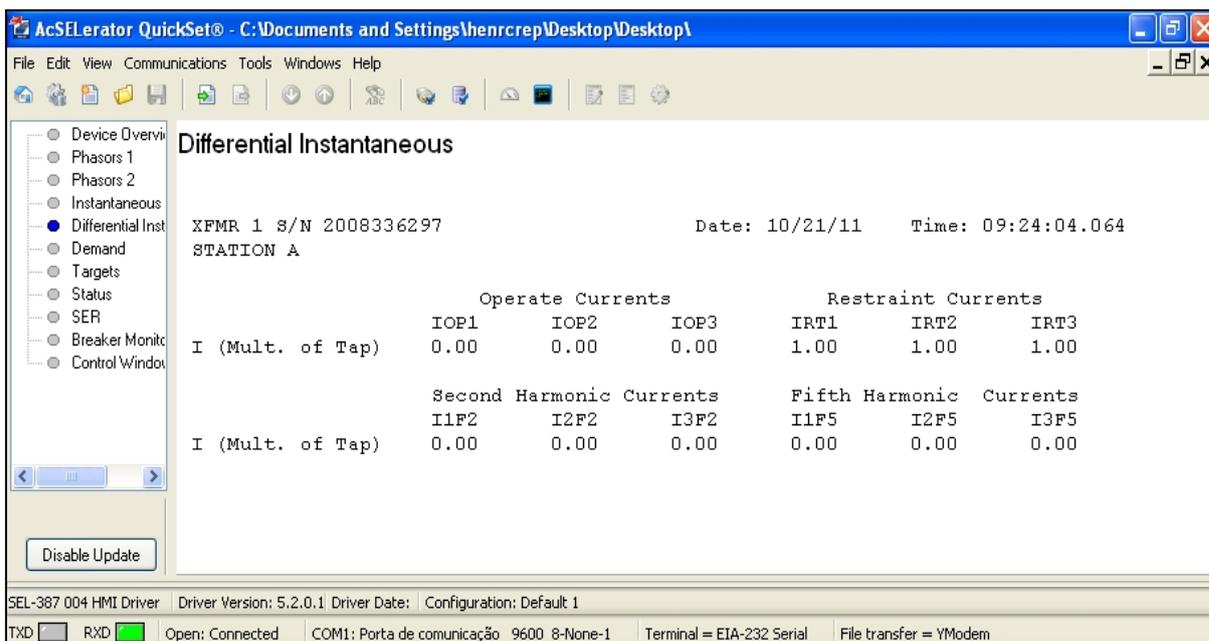
Fonte: Autoria Própria.



**Figura 40 – Visualização da Tela do Relé para o ensaio da condição de equilíbrio**

Fonte: Autoria Própria.

Conforme figura 40, é possível observar que não houve nenhum disparo do relé conforme esperado.



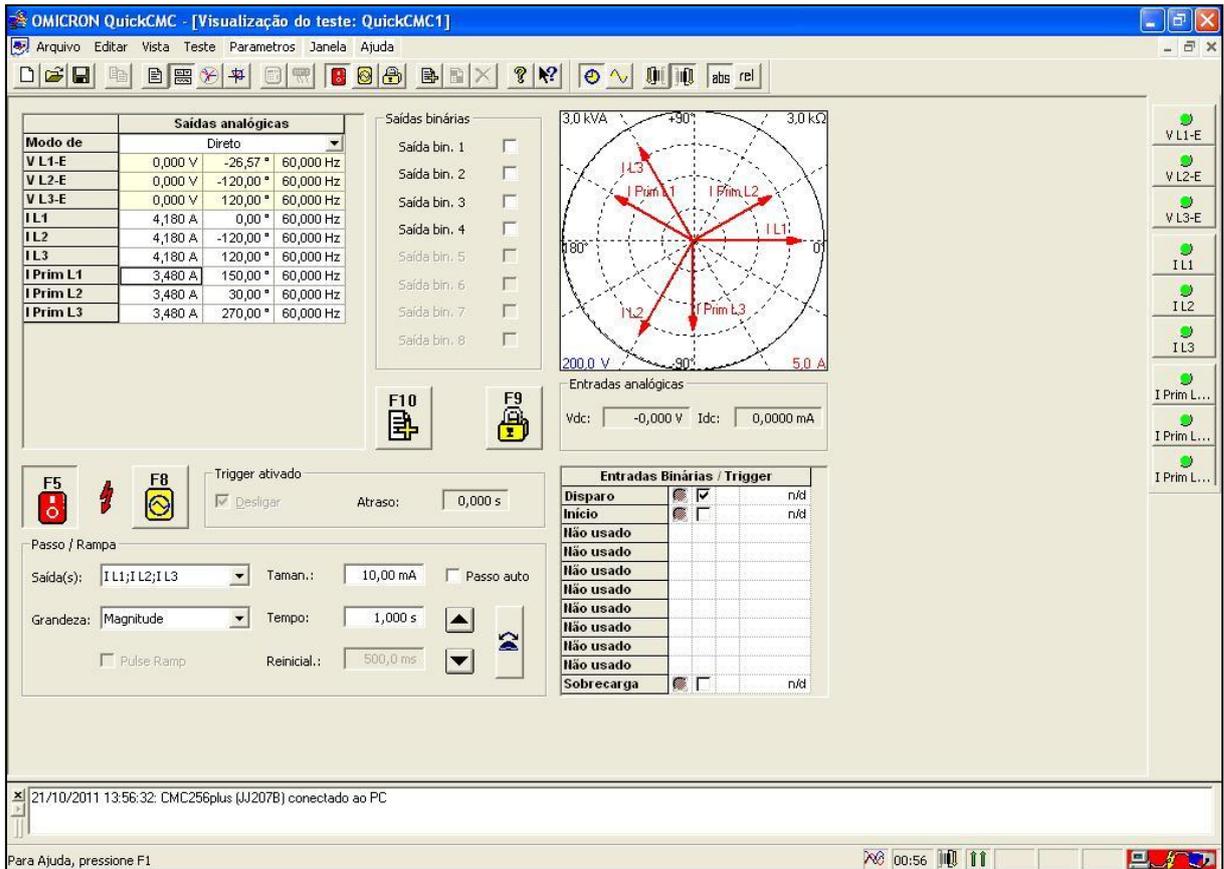
**Figura 41 – Visualização dos valores para o ensaio da condição de equilíbrio**

**Fonte: A autoria Própria.**

Através da figura 41, é possível visualizar os valores das correntes de restrição (IRT1, IRT2 e IRT3) e as correntes de operação (IOP1, IOP2 e IOP3). Conforme o esperado, os valores das correntes de restrição obtiveram o valor unitário. Como esse valor unitário corresponde aos valores múltiplos dos TAPs, obteremos exatamente os valores de corrente de 2,09A, 1,74A para IRT1 e IRT2, respectivamente, mostrando que o relé SEL-387 está em perfeita condição de equilíbrio. Como não houve disparo de nenhuma função do relé, não existe nenhuma oscilografia registrada para esse ensaio.

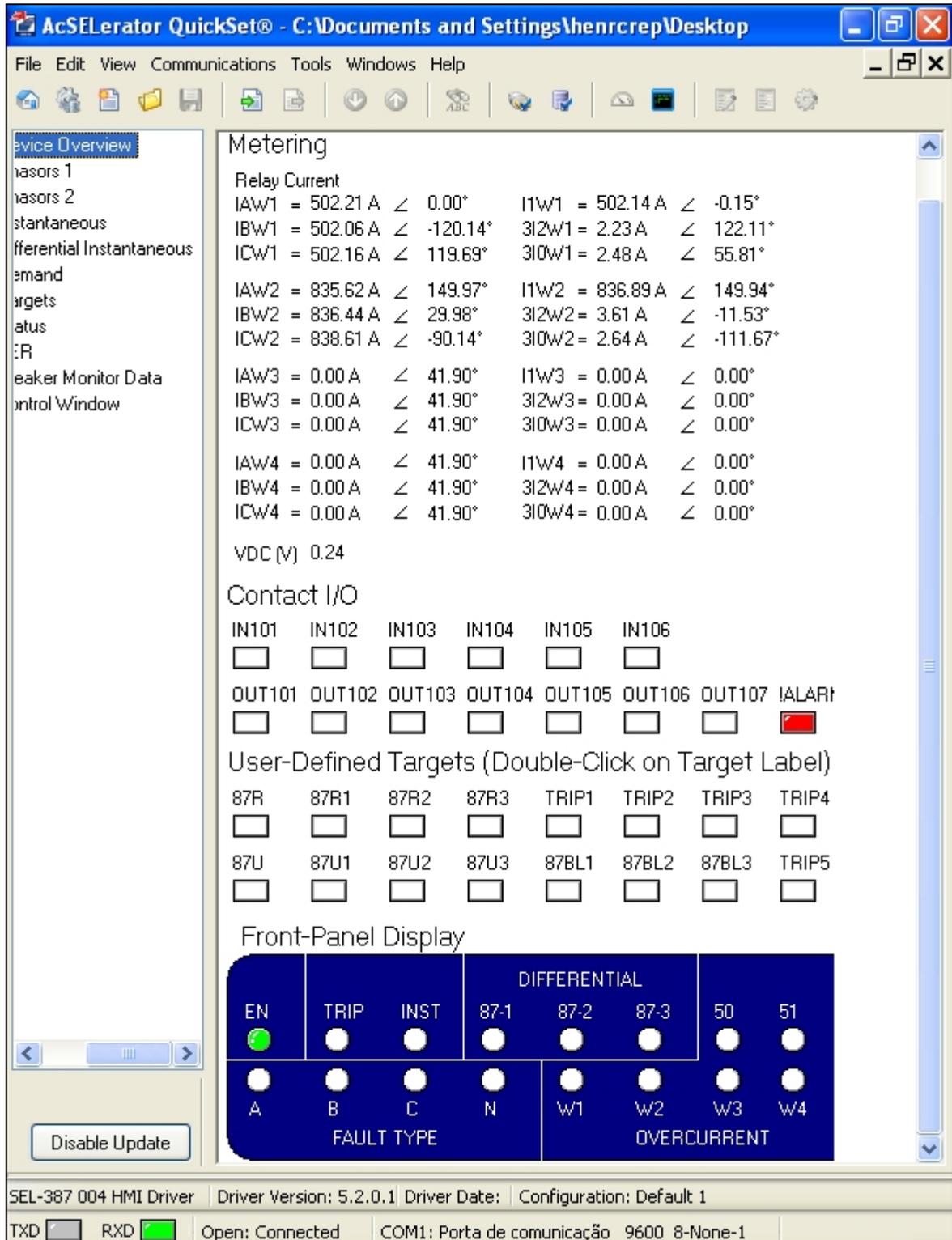
## 6.7. ENSAIO PARA VERIFICAÇÃO DA CONDIÇÃO DE EQUILÍBRIO PARA SOBRECARGA.

Esse ensaio tem por objetivo verificar a condição de equilíbrio do relé SEL-387 para a condição de sobrecarga. Conforme figura 42, houve aplicação de correntes de 60Hz, IL1, IL2 e IL3 com módulo igual a 4,18A, defasadas de 120° entre si. Houve também a aplicação de correntes, nos enrolamentos primários com módulo igual a 3,48A. Observa-se que as correntes são exatamente o dobro das correntes aplicadas à figura 39.



**Figura 42 – Visualização da Condição de Equilíbrio para sobrecarga**

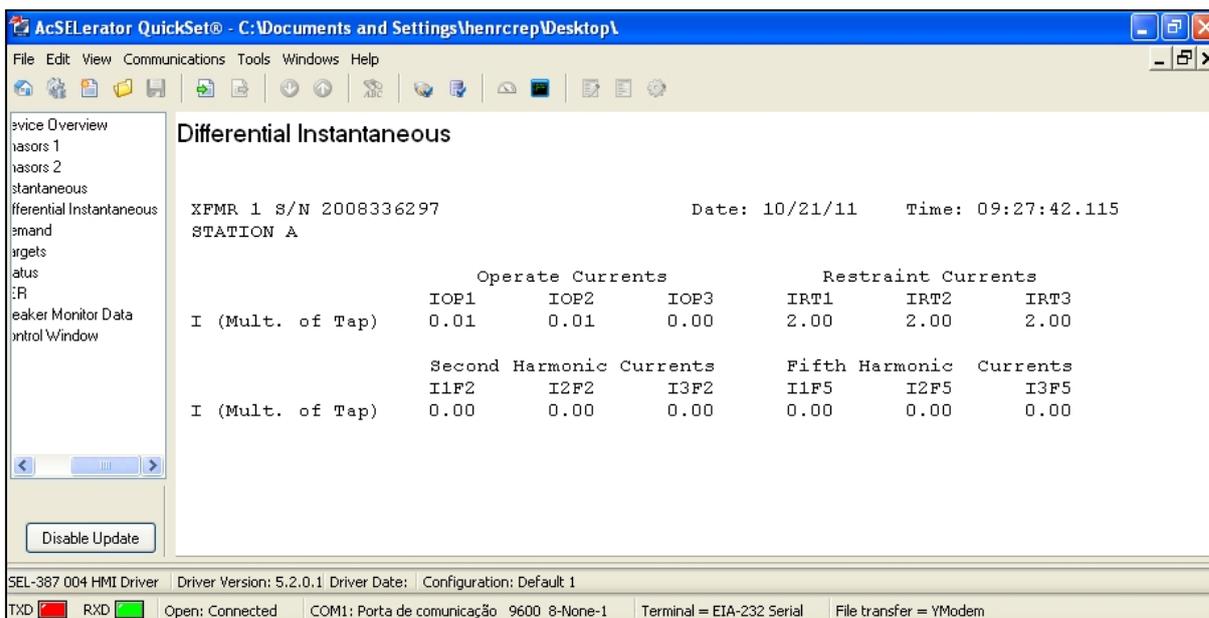
Fonte: Autoria Própria.



**Figura 43 – Visualização da tela do relé para o ensaio da condição de equilíbrio para sobrecarga**

**Fonte: Autoria Própria.**

Novamente, para o ensaio da condição de equilíbrio de sobrecarga não houve o disparo do relé, o que pode ser confirmado pela figura 43.



**Figura 44 – Visualização dos valores do ensaio da condição de equilíbrio para sobrecarga**  
**Fonte: Autoria Própria.**

Conforme o esperado, a figura 44 mostra o dobro dos valores das correntes de restrição (IRT1, IRT2 e IRT3) em comparação com a figura 41. Multiplicando-se os valores das correntes de restrição da figura 44 pelos respectivos valores de ajustes dos TAPs, de acordo com a figura 32, chega-se exatamente nos valores das correntes aplicadas para esse ensaio, conforme figura 42. Isso mostra que o relé SEL-387 está em perfeita condição de equilíbrio para o ensaio de sobrecarga. Como não houve disparo de nenhuma função do relé, não existe nenhuma oscilografia registrada para esse ensaio.

## 6.8. ENSAIO DA CURVA DE INCLINAÇÃO

Esse ensaio tem por objetivo determinar a curva de inclinação (“*Slope 1*”), a qual considera as correntes diferenciais resultantes dos erros dos TCs e alterações de TAP conforme figura 20. Para esse ensaio, houve aplicação de correntes senoidais 60Hz, IL1, IL2 e IL3, com módulo igual a 4,18A, com defasamento angular de 120° entre si. Houve também a aplicação de correntes senoidais 60Hz nos enrolamentos primários com módulo igual a 4,48A. Essas correntes também apresentam defasamento angular de 120° entre si, porém foram aplicadas com os ângulos de 30°, 150° e 270°, respectivamente, para IPrimL2, IPrimL1 e IPrimL3.

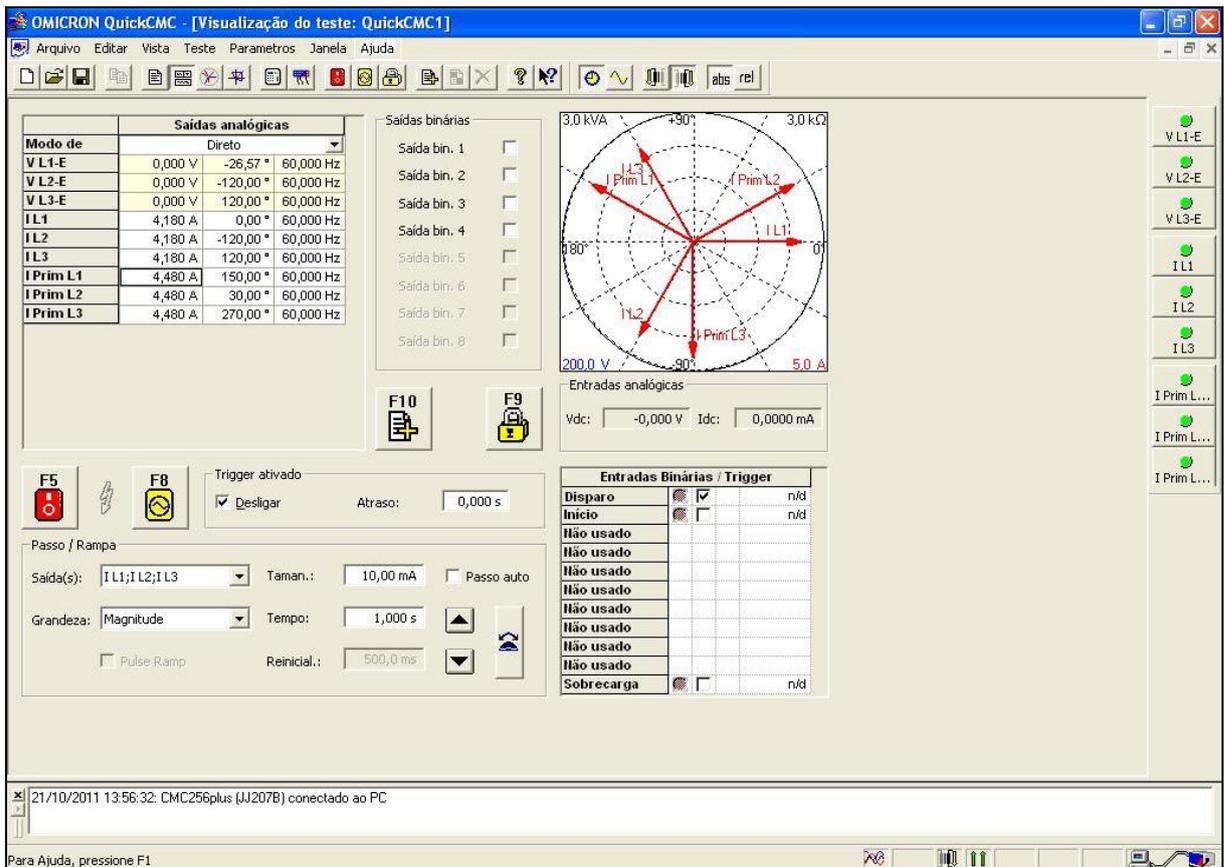


Figura 45 – Visualização do ensaio da Curva de Inclinação

Fonte: Autoria Própria.

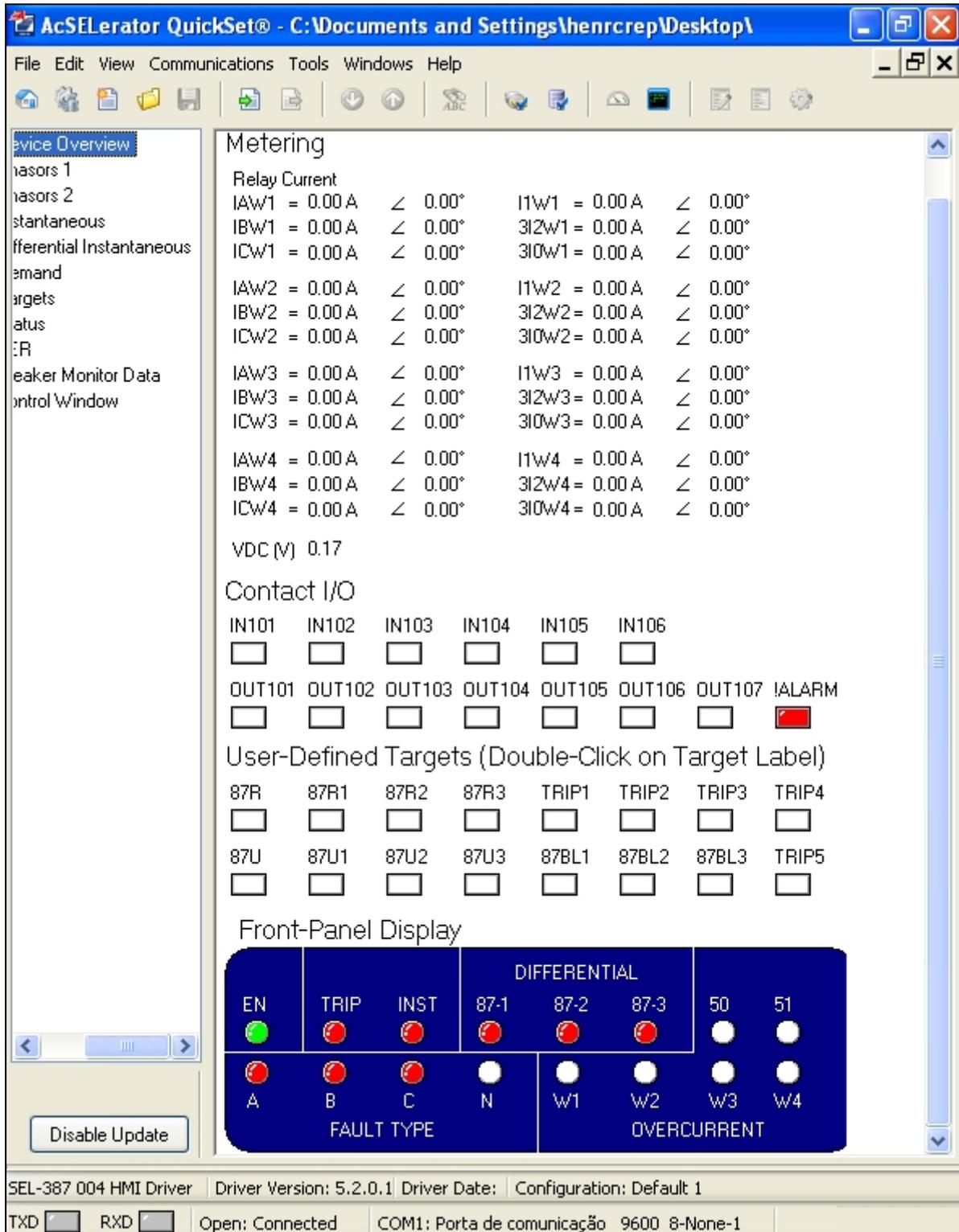
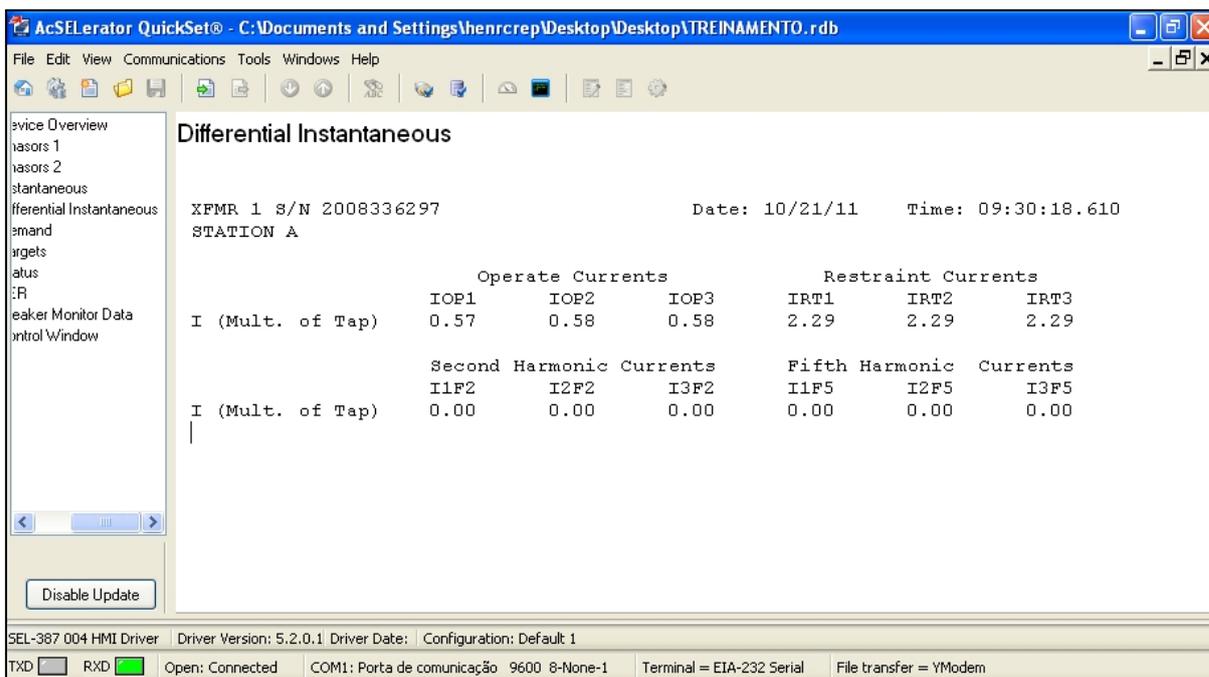


Figura 46 – Visualização da tela do relé para o ensaio da curva de inclinação

Fonte: Autoria Própria.

Conforme figura 46, é possível observar que houve disparo do relé devido à atuação das funções diferenciais de proteção. Ocorre o disparo instantâneo, *trip* das fases A, B e C.



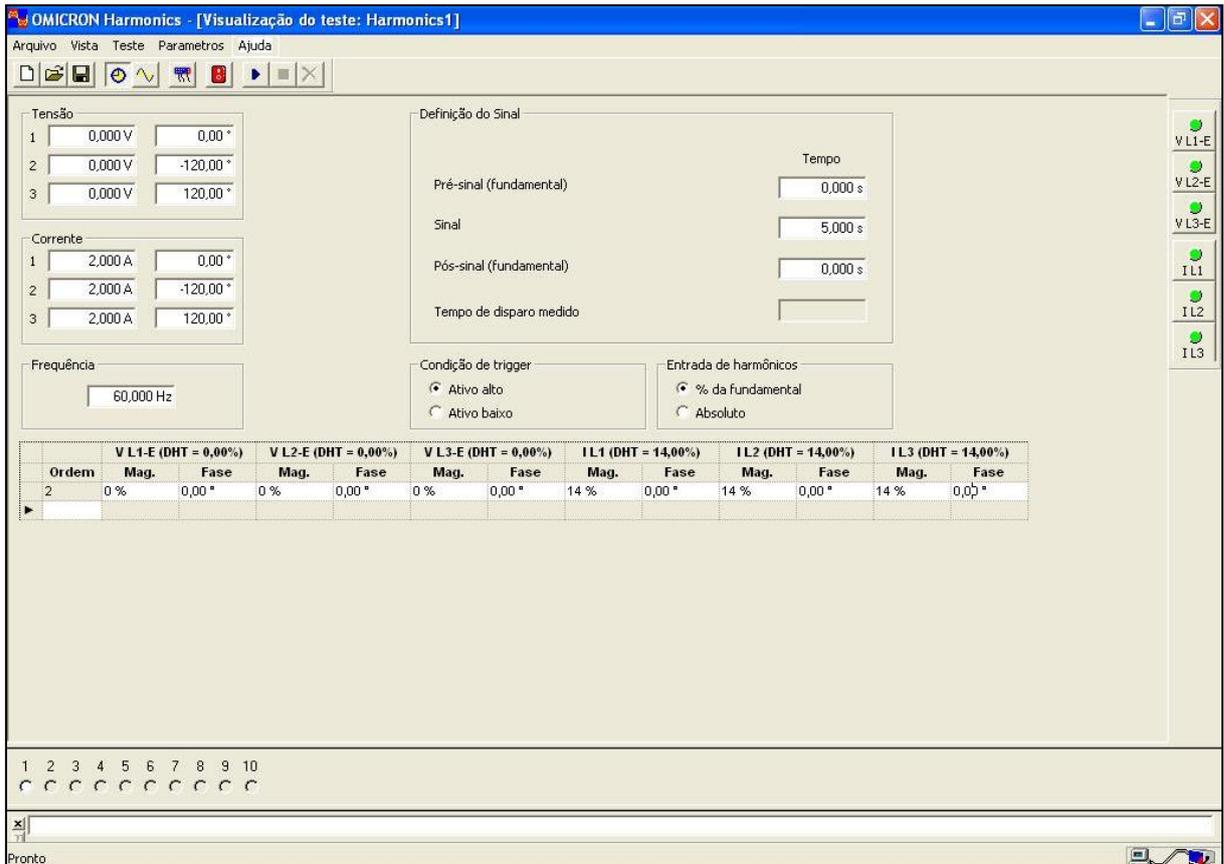
**Figura 47 – Visualização dos valores das correntes do relé para o ensaio da curva de inclinação.**

**Fonte: Autoria Própria.**

Através da figura 47, é possível obter os valores medidos das correntes de operação (IOP1, IOP2 e IOP3) e das correntes de restrição (IRT1, IRT2 e IRT3). Com esses valores, é possível determinar as curvas de operação do relé SEL-387, descritas no item 6.13, que são essenciais para verificar em quais situações e com que valores de corrente o mesmo irá disparar.

## 6.9. ENSAIO COM 14% DE HARMÔNICOS

Esse ensaio consiste em verificar a atuação do relé devido à aplicação de correntes com porcentagem de harmônicos. Conforme figura 48, houve aplicação de correntes trifásicas senoidais de 2A, 60Hz, com defasamento angular de 120° entre si. Essas correntes foram aplicadas com 14% de harmônicos.



**Figura 48 – Visualização do ensaio com 14% de correntes harmônicas**

**Fonte: Autoria Própria.**

Através da figura 49, é possível observar a oscilografia para o teste com 14% de corrente harmônica. Nota-se que os gráficos das correntes não apresentam deformação visível, pois essa porcentagem de harmônicos é muito pequena. Há o disparo do relé, pois o mesmo foi configurado para 15% de corrente de 2ª harmônica, em relação à corrente fundamental. Como o valor aplicado para esse ensaio foi menor; 14%, houve o disparo do relé.

Durante a energização, correntes anormais podem fluir no enrolamento, denominadas correntes de magnetização, causadas pela saturação do núcleo do transformador (Schweitzer Engineering Laboratories, 2009, p. 65). Essas correntes de magnetização contêm uma grande quantidade de correntes de 2º harmônico. Já as correntes de 3º harmônico são responsáveis por gerar sobrecorrentes, acarretando o disparo do relé.

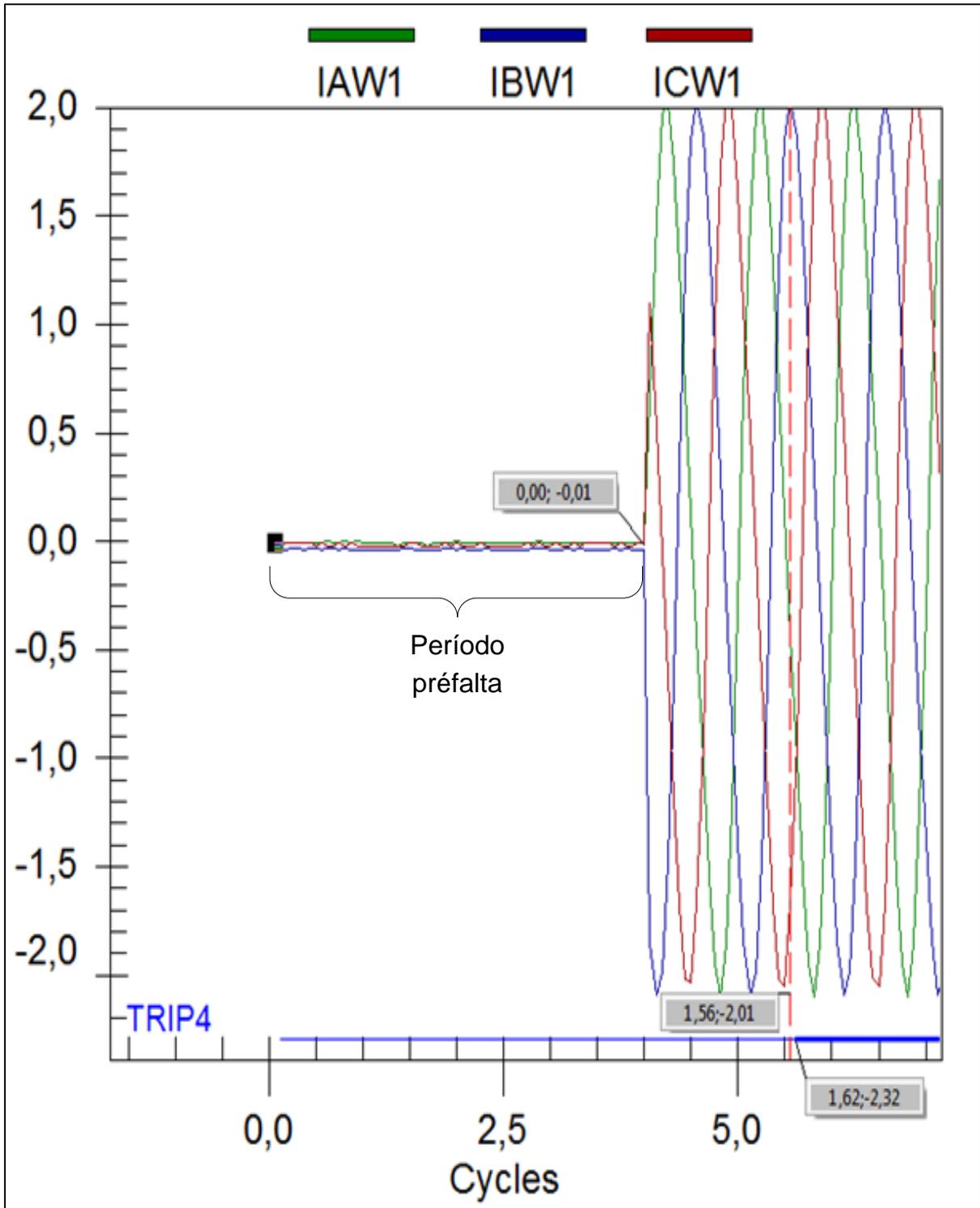


Figura 49 – Visualização da oscilografia do ensaio com 14% de corrente harmônicas

Fonte: Autoria Própria.

Analisando a figura 49, os gráficos das correntes IAW1, IBW1 e ICW1, começam no ponto (0,00;-0,01). É a partir desse ponto que se inicia a contagem dos ciclos. Os gráficos das correntes que aparecem antes sem sinal, correspondem ao

período de pré-falta. Eles não irão influenciar no tempo de disparo do relé, podendo ser desprezados.

A linha tracejada em vermelho indica o momento do disparo do relé. Isso ocorre em 1,56 ciclos ou 26ms, após a injeção de corrente no relé SEL-387. O TRIP4 corresponde à função 87 diferencial. Isso ocorre após 1,62 ciclos ou 27ms depois da injeção de corrente. O tempo de 1ms ou 0,06 ciclo entre os dois pontos, corresponde ao tempo que o relé demora para enxergar a falta desde o momento do disparo. A figura 50 ilustra a porcentagem de harmônicos da corrente IAW1.

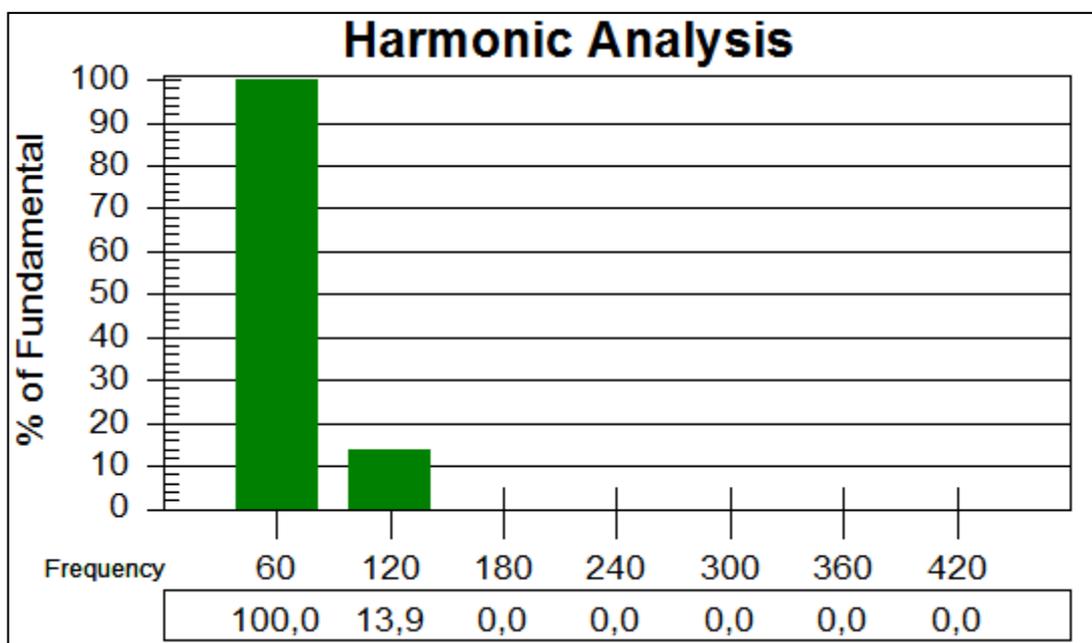
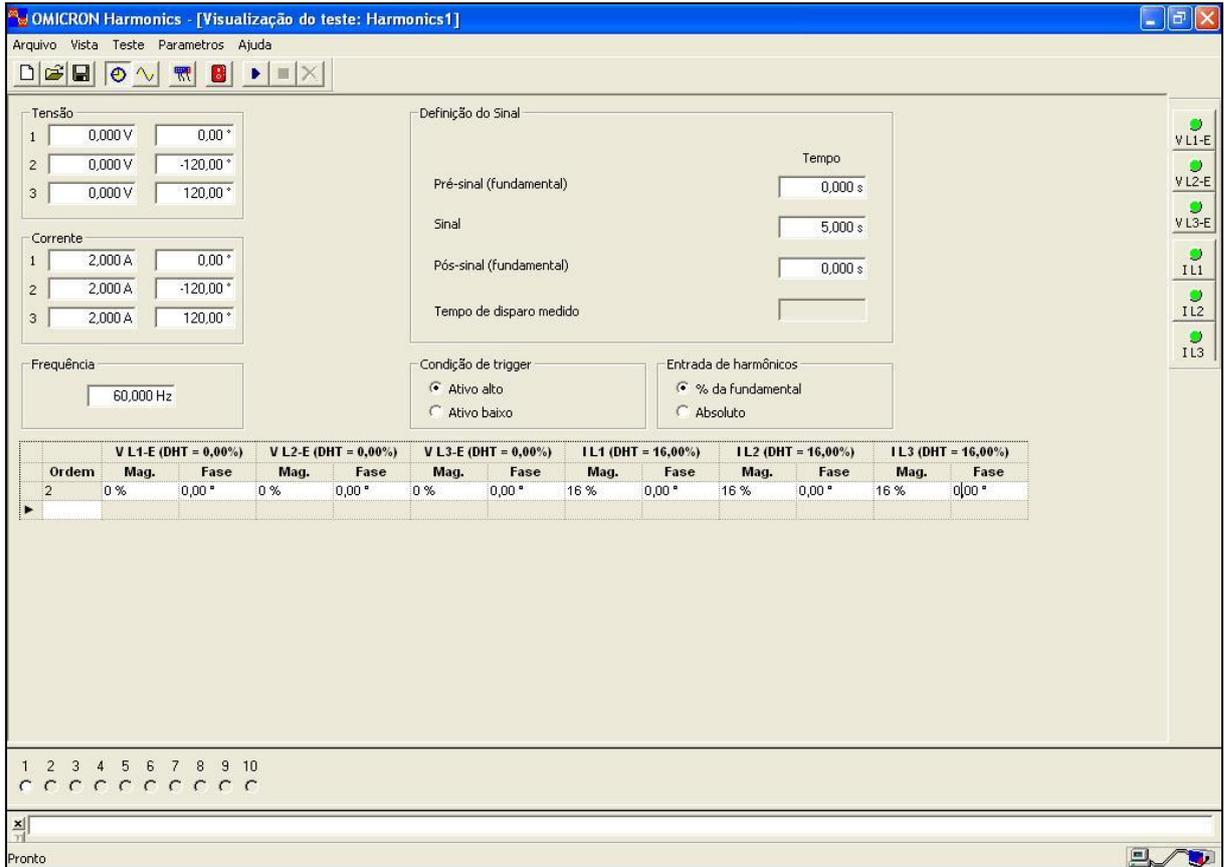


Figura 50 – Visualização de harmônicos da corrente IAW1

Fonte: Autoria Própria.

#### 6.10. ENSAIO COM 16% DE HARMÔNICOS

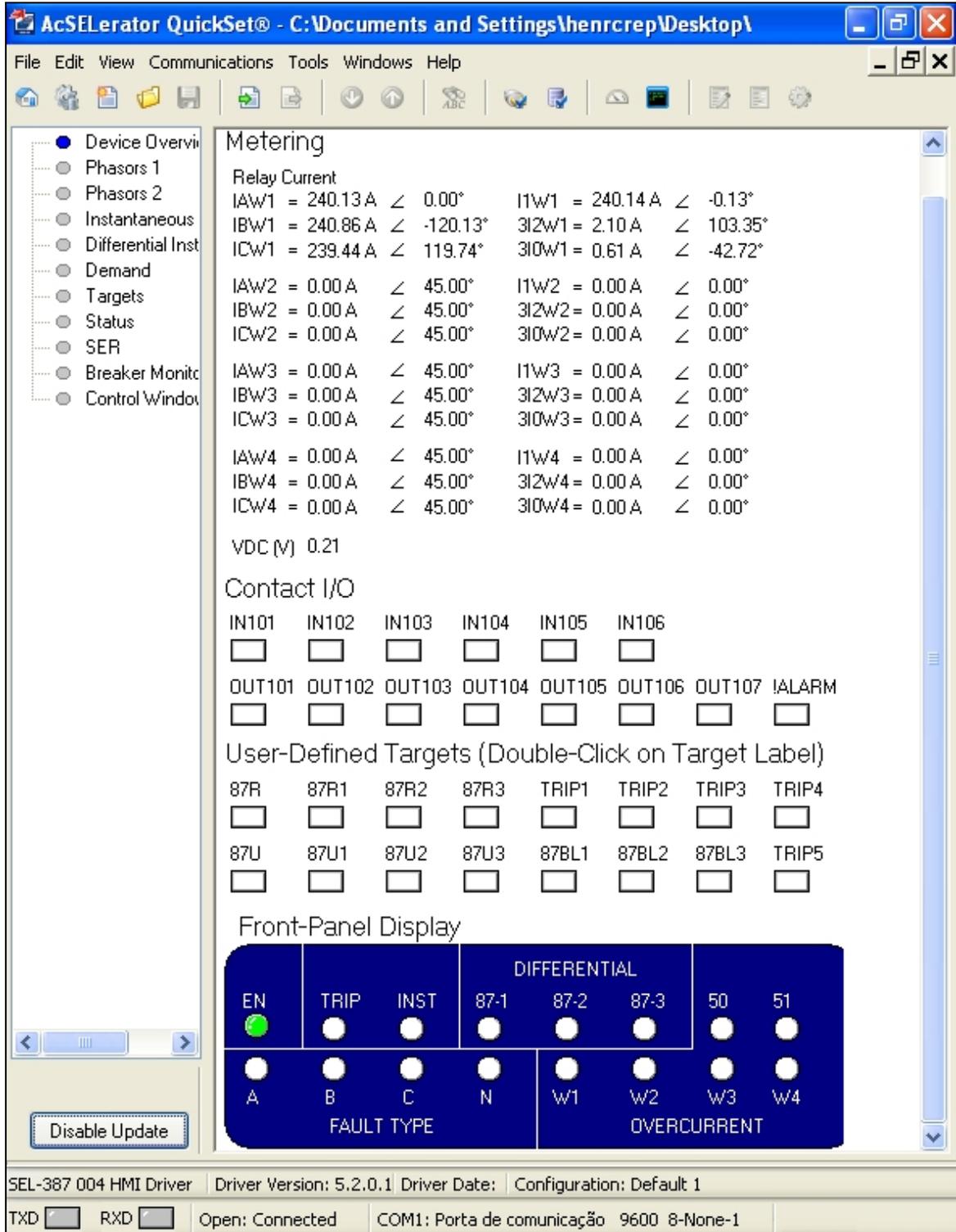
Esse ensaio é análogo ao ensaio com 14% de harmônicos. Conforme figura 51, aplica-se correntes senoidais de 2A, 60Hz, defasamento de 120° entre si, com 16% de corrente harmônica.



**Figura 51 – Visualização do ensaio com 16% de correntes harmônicas**

**Fonte: Autoria Própria.**

Através da figura 52, é possível observar os diferentes valores para as correntes IAW1, IBW1, ICW1 e o funcionamento do relé sem nenhuma função de disparo. Como a porcentagem de corrente harmônica foi superior ao valor ajustado de 15%, não houve disparo do relé nem registro de oscilografia.



**Figura 52 – Visualização da tela do relé para o ensaio com 16% de correntes harmônicas**  
**Fonte: Autoria Própria.**



corresponde a 0,63 ciclo ou 10,5ms. Esse é o tempo que o relé demora para extinguir a falta.

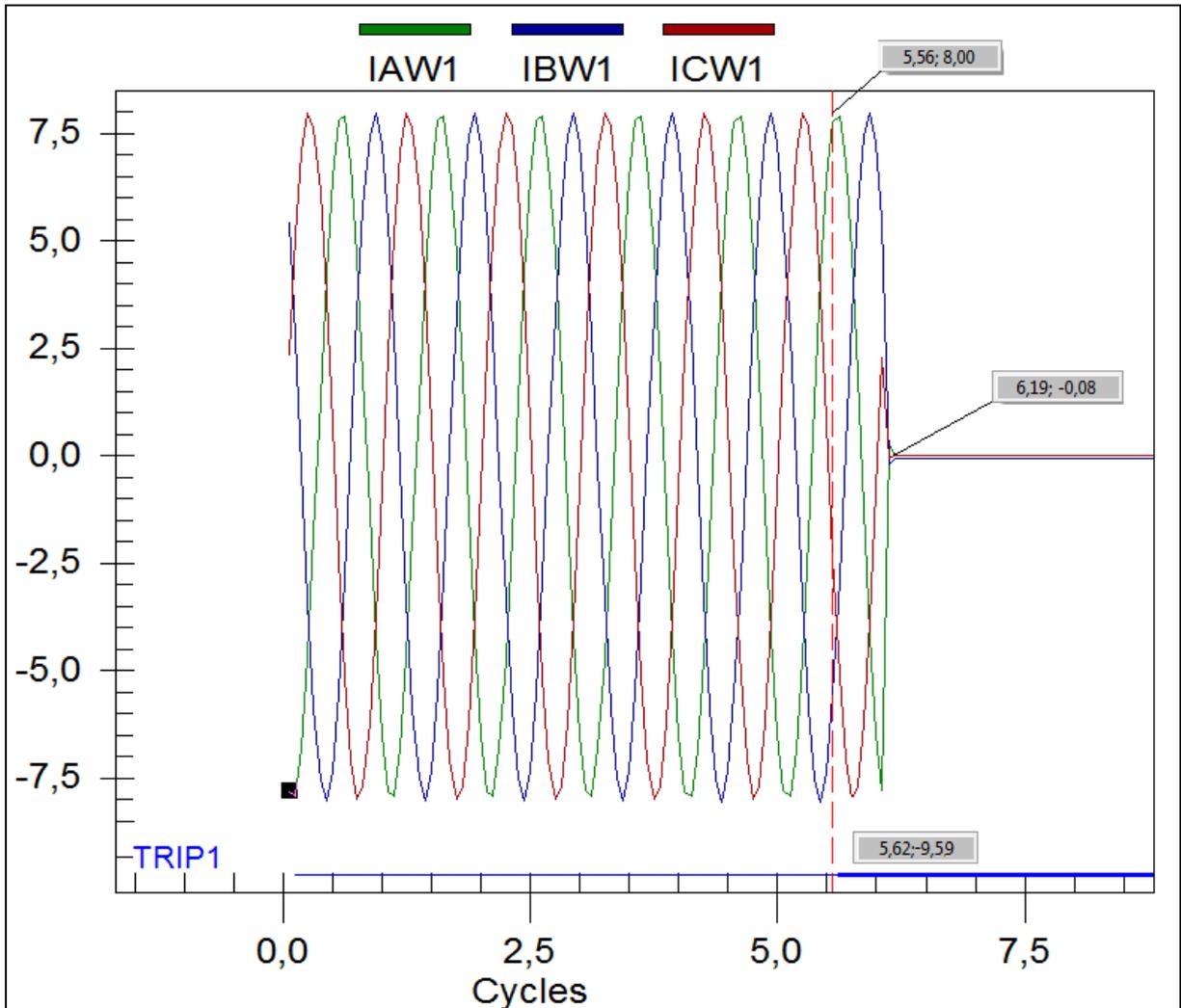
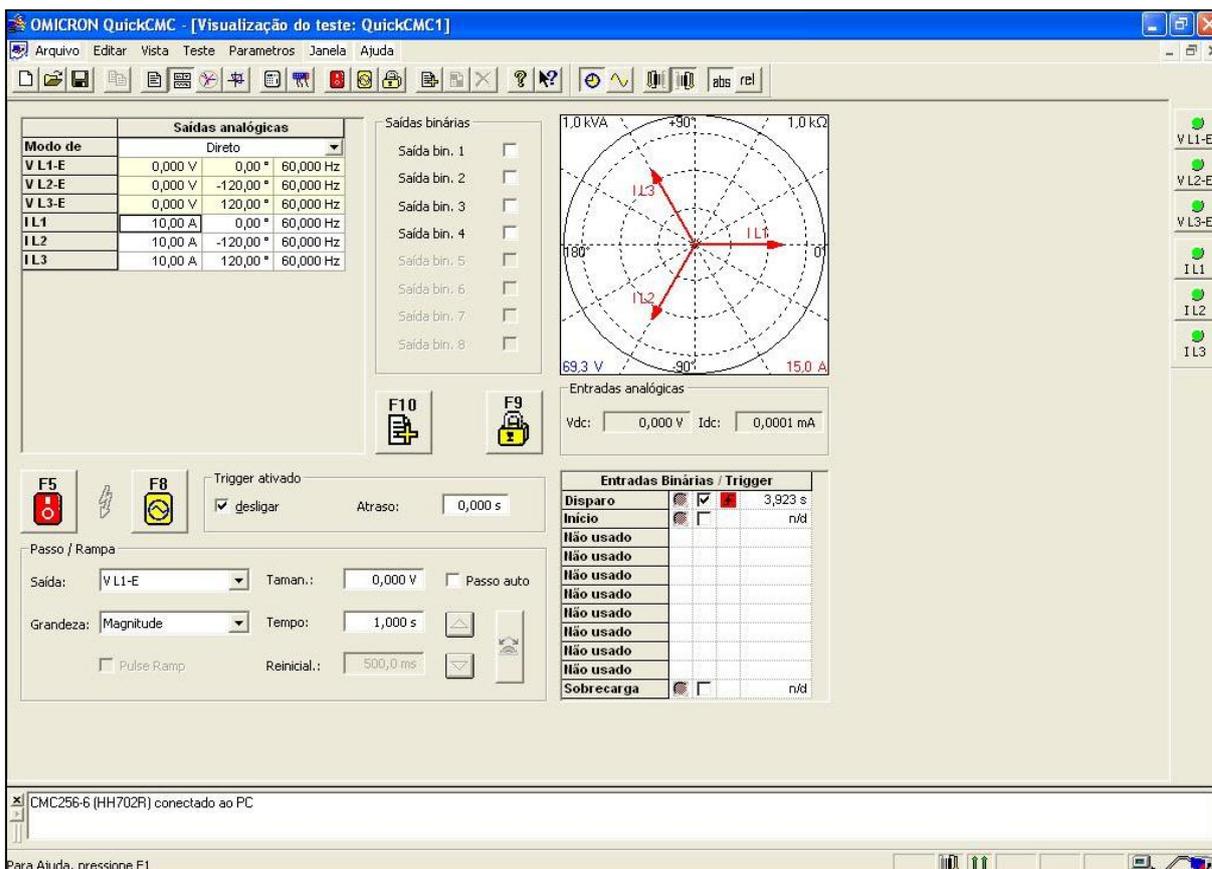


Figura 54 – Visualização do Ensaio de Sobrecorrente para a aplicação de 8A

Fonte: Autoria Própria.

## 6.12. ENSAIO DE TEMPORIZAÇÃO COM 10A

Esse ensaio é análogo ao ensaio anterior e tem por objetivo verificar a atuação do relé, após a aplicação de determinado valor de corrente pelo efeito temporizado. Conforme figura 55, houve aplicação de correntes senoidais de 60Hz, IL1, IL2 e IL3, com módulo igual a 10A e defasamento angular de 120° entre si.



**Figura 55 – Teste de Temporização com 10A**

**Fonte: Autoria Própria.**

Através da figura 55, nota-se o disparo do relé após 3,923s da aplicação de corrente pelo efeito temporizado. O tempo de atuação, conforme esperado foi menor do que o teste de temporização com 8A, pois quanto maior a corrente, menor deverá ser o tempo de resposta do relé para o efeito temporizado.

Conforme figura 56, é possível observar dois pontos importantes. A diferença entre as abscissas dos pontos (6,13; -0,26) e (5,56;10,98) corresponde a 0,57 ciclo, 9,5ms. Esse é o tempo que o relé demora para isolar a falta, após enxergar a falha. Houve disparo do TRIP1 devido à função de sobrecorrente instantânea. O tempo de atuação do relé para esse ensaio foi menor do que o ensaio anterior, o que já era esperado. Nota-se que o tempo de atuação do relé para uma corrente com módulo de 10A diminui bastante, 3,92s se comparado ao ensaio anterior, onde houve disparo após 6,45s com uma corrente de módulo igual a 8A. Porém, para o ensaio de sobrecorrente instantânea, a aplicação de 10A ou 8A acarretará no mesmo tempo de disparo realizado pelo relé SEL-387.

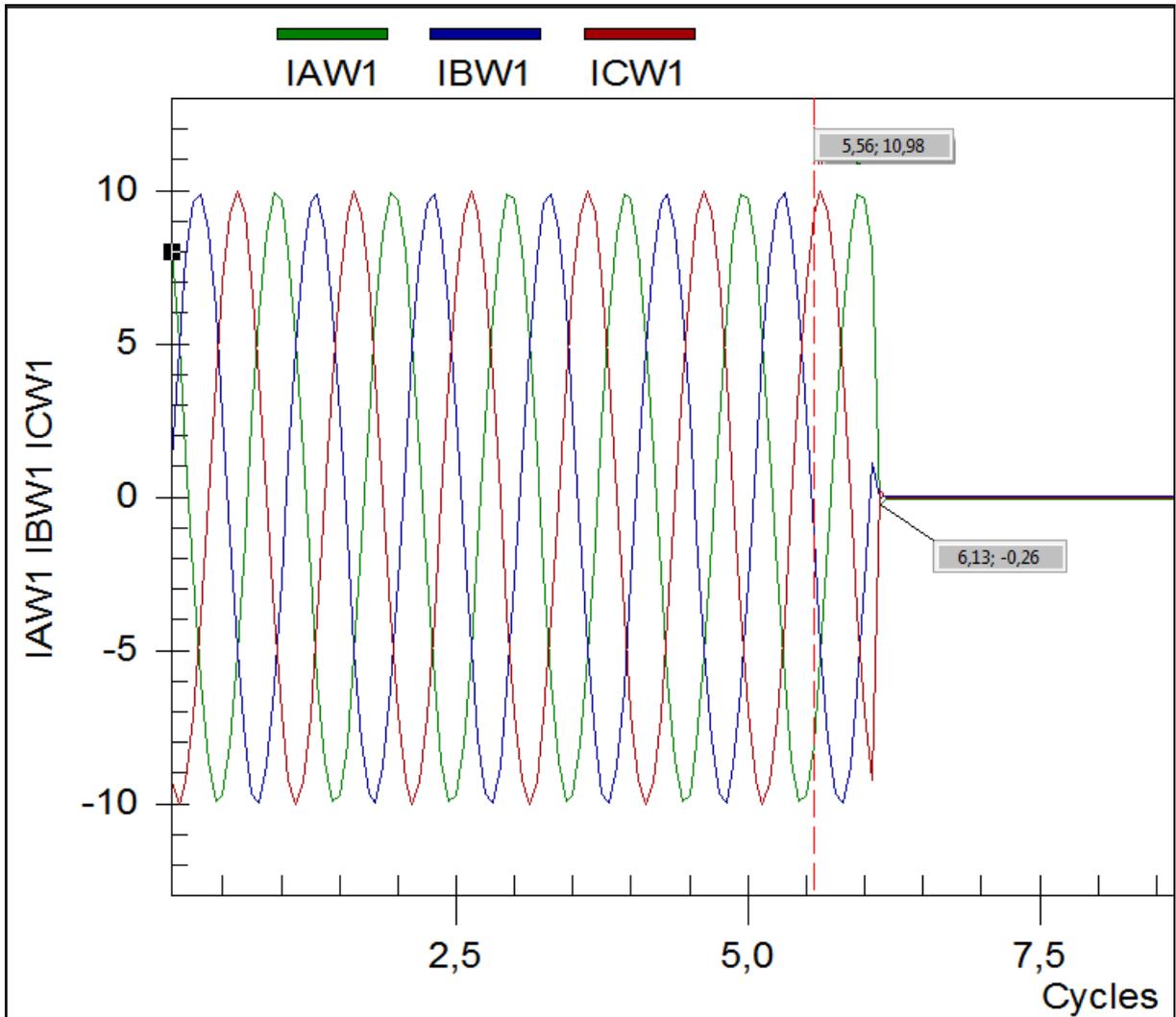


Figura 56 – Visualização da Oscilografia do Ensaio Temporizado

Fonte: Autoria Própria.

### 6.13. CURVA DA CORRENTE DE RESTRIÇÃO X CORRENTE DE OPERAÇÃO

A curva da corrente de restrição ( $I_{rest}$ ) “versus” corrente de operação ( $I_{op}$ ) é muito importante, pois indica as regiões de operação e restrição dos relés. O primeiro ponto da figura 57, (0;0,64) é calculado a partir do ensaio diferencial, representado na figura 34. Sabe-se que  $O_{87P}$  vale 0,3, logo, o valor da corrente mínima de operação é dado pela fórmula (9):

$$I_{op\text{mín}} = (0,3 \times TAP1) = (0,3 \times 2,09) = 0,627 \quad (9)$$

Observa-se uma pequena diferença entre o valor calculado para a corrente de operação mínima, 0,627 e o valor encontrado através do ensaio diferencial que foi de 0,64.

De acordo com a figura 32, o valor ajustado para IRS1 vale 3. Esse valor corresponde ao valor limite da curva 1 (*SLOPE1*). Conforme a figura 47, tem-se os valores medidos para a corrente de operação para o TAP1 (*IOP1*) que vale 0,57 e para a corrente de restrição do TAP1 (*IRT1*) que é igual a 2,29. Para construção da curva 1, é necessário transformar esses valores múltiplos do TAP1 em valores de correntes. Multiplicando os valores conforme (10) e (11):

$$IOP1 = (0,57 \times TAP1) = (0,57 \times 2,09) = 1,19A \quad (10)$$

$$IRT1 = (2,29 \times TAP1) = (2,29 \times 2,09) = 4,78A \quad (11)$$

Substituindo os pontos (0;0) e (4,78;1,19) na equação (12), chega-se em (13):

$$a = \frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} \quad (12)$$

$$y = 0,249x \quad (13)$$

A equação (13) corresponde à inclinação 1. Multiplicando o valor de IRS1 que é igual a 3 pelo valor do TAP1 que vale 2,09, obtemos o ponto 6,27. Substituindo esse ponto na equação (13), obtemos o ponto (6,27;1,56). Esse ponto pertence tanto à curva 1, quanto à curva 2. A curva 2 foi ajustada com uma inclinação de 50%, conforme figura 32. Esse valor corresponde ao dobro da inclinação da curva 1. O ângulo de inclinação para a curva 1 é de 13,98°. Logo, o ângulo de inclinação para a curva 2 é igual a 27,96°. Sabendo-se o ângulo de inclinação e com o ponto (6,27;1,56) pertencente à equação da reta 2, chega-se em (14):

$$y = 0,53x - 1,76 \quad (14)$$

A inclinação da curva 2 não foi possível realizar experimentalmente através dos ensaios, pois a fonte modelo OMICRON não fornece potência suficiente. Seria

necessário um amplificador de corrente. Por esse motivo, ela foi traçada matematicamente, considerando-a exatamente com o dobro de inclinação da curva 1.

As curvas das correntes de operação e restrição estão representadas na figura 57.

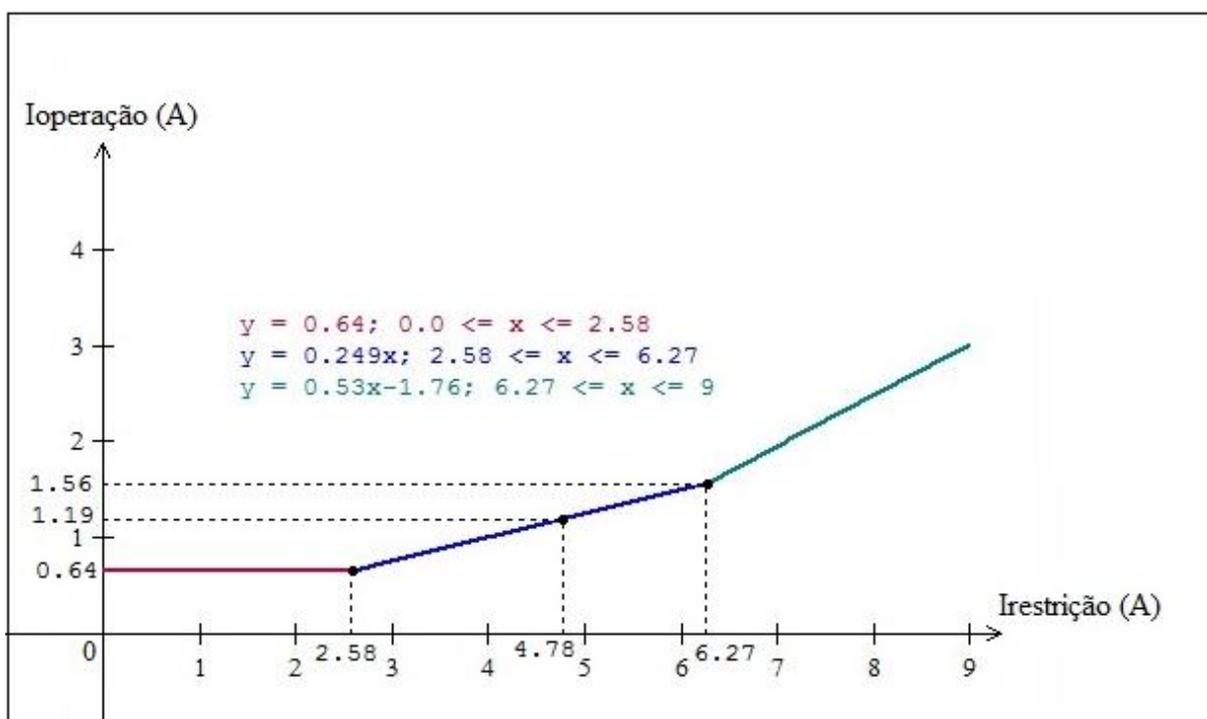
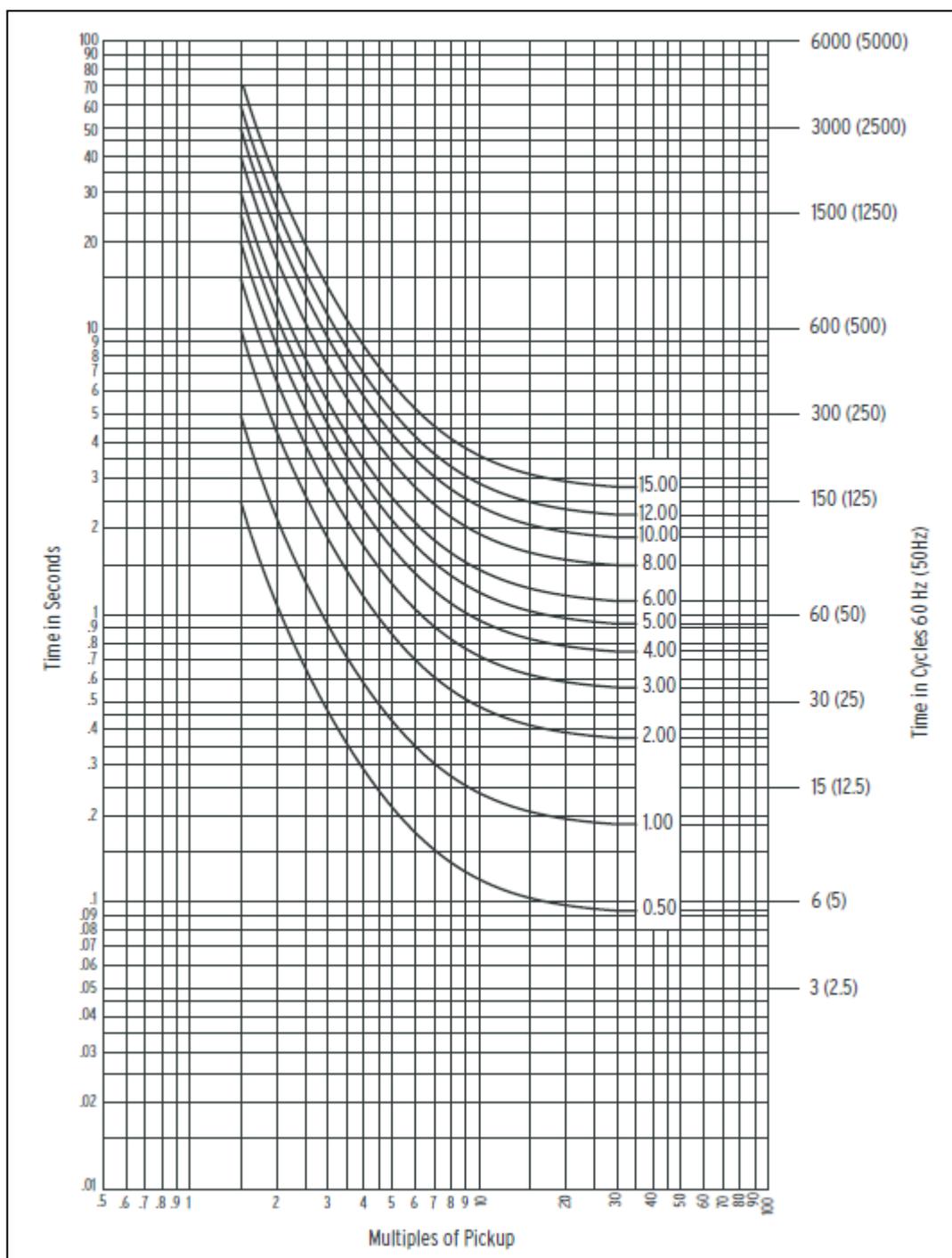


Figura 57 – Gráfico da Corrente de Operação x Corrente de restrição

Fonte: Autoria Própria.

## 6.14. PARAMETRIZAÇÃO DO RELÉ SEL-387

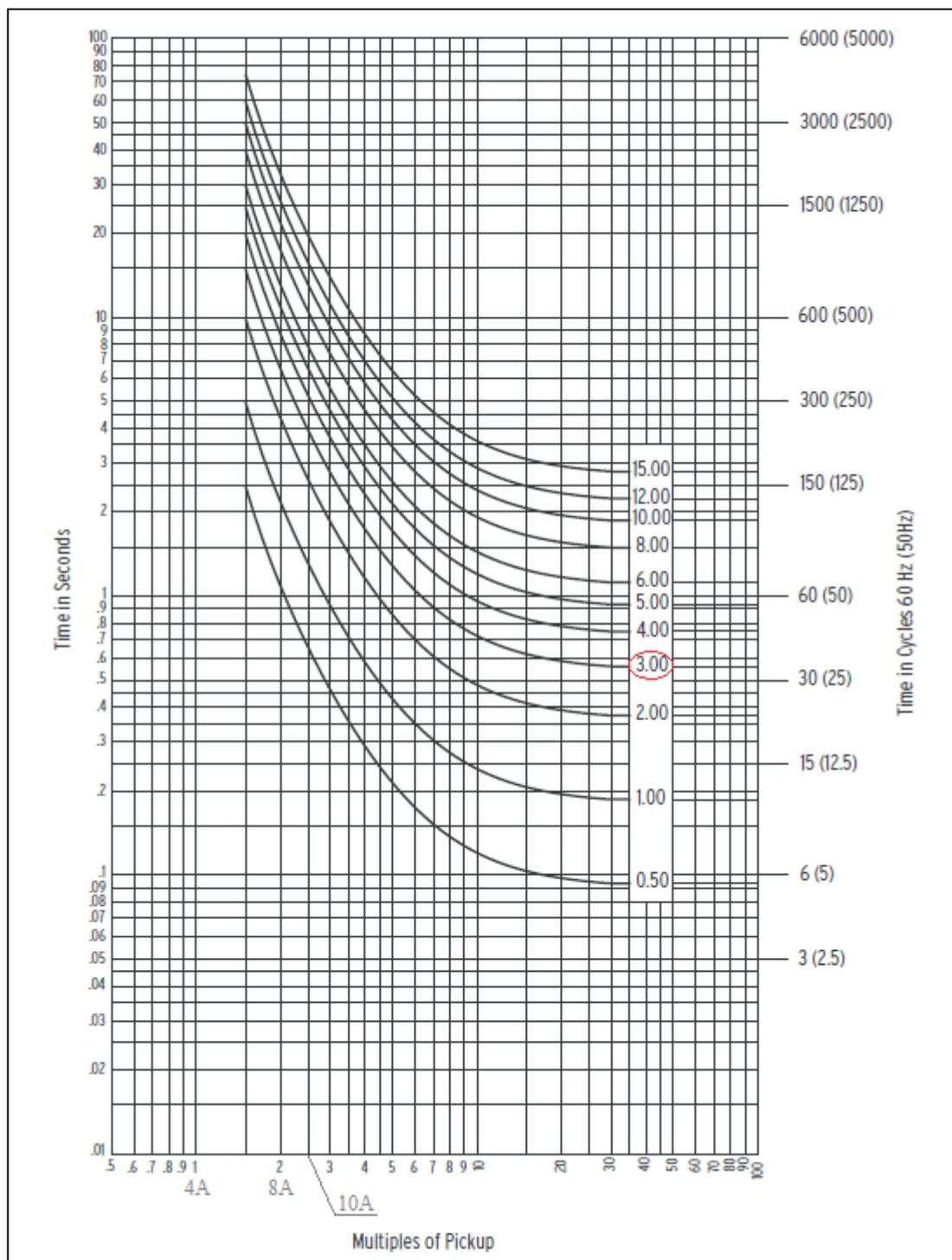
Para realizar a parametrização do relé SEL-387, utilizou-se a figura 58 abaixo.



**Figura 58 – Gráfico de Curvas Inversas**

**Fonte: Schweitzer Engineering Laboratories (2009, p. 126).**

Conforme as figuras 53 e 55 dos ensaios de temporização, obtiveram-se os valores de disparo de 6,46s para a aplicação das correntes senoidais de 8A e 3,92s para as correntes de 10A. Foi escolhida a curva 3.00 para realizar a parametrização do relé.



**Figura 59 – Gráfico de Curvas Inversas**

**Fonte: Schweitzer Engineering Laboratories (2009, p. 126).**

Através da figura 59, é possível observar a curva escolhida para realizar o ajuste do relé SEL-387. Para uma corrente de 8A, o valor é de aproximadamente 6,46s conforme o gráfico, e para a corrente de 10A o valor é de aproximadamente 3,92s. Para a parametrização, adotou-se o valor 1 de *pickup* como sendo correspondente a 4A. Analogamente, o valor 2 de *pickup* corresponde a 8A e o valor 2,5 corresponde a 10A. Para se obter o valor correspondente em Ampéres, basta multiplicar os valores de *pickup* da figura 59 por quatro.

## 7. CONCLUSÃO

A importância dos relés de proteção em um sistema elétrico é cada vez mais evidente devido à evolução das proteções de sistemas elétricos, ao crescimento contínuo e ao aumento do número de interligações. Para o desenvolvimento do presente trabalho, foram realizados estudos sobre a história e evolução dos relés, passando dos relés eletromecânicos aos digitais. Foram abordadas as vantagens e desvantagens dos relés digitais em relação aos seus antecessores, os eletromecânicos, a estrutura e o funcionamento dos mesmos.

Os equipamentos utilizados durante a realização dos ensaios também receberam um foco no estudo para que houvesse um domínio sobre o trabalho apresentado.

O uso da mala de testes trifásica, modelo OMICRON, foi essencial para a realização dos ensaios, pois possibilitou a utilização de correntes com valores apropriados para verificação das funções de atuação do relé SEL-387. Ela permitiu mostrar que o relé SEL-387 testado nesse trabalho está em boas condições e atuou conforme o esperado.

Vale a pena ressaltar a dificuldade de se realizar os ensaios descritos nesse trabalho, pois a mala de testes é um equipamento caro, difícil de ser encontrado e com pouca disponibilidade para utilização. Através dela foi possível realizar os ensaios com total segurança e eficiência, sem qualquer risco de dano ao relé SEL-387.

O *software* AcSELerator QuickSet® também teve um papel de destaque no presente trabalho, pois através dele foi possível a visualização das oscilografias dos ensaios, configuração, ajustes dos valores, sendo uma ferramenta muito importante para a realização dos ensaios.

Os ensaios realizados foram compreendidos e descritos de forma clara e objetiva, apresentando todos os gráficos e disparos dos relés devido à sua atuação. Foram apresentados alguns valores de ajustes essenciais para a realização dos ensaios de uma maneira correta e os mesmos apresentaram resultados dentro do esperado.

Notou-se que existe uma diferença de tempo entre o disparo e o tempo que o relé demora a reconhecer uma ocorrência e realizar as medidas de proteção. Houve um enfoque principal nos ensaios diferencial e de sobrecorrente, pois os

mesmos são de grande importância para a proteção de transformadores e representam as principais funções de proteção do relé SEL-387.

Foi possível comparar o gráfico de dupla inclinação com os valores obtidos experimentalmente e traçar as curvas de inclinação 1 e 2. Notou-se, como já era esperado, uma diferença muito pequena nos valores da corrente de operação mínima da figura 57. O valor calculado foi de 0,627, conforme equação (9), e o valor medido durante os ensaios foi de 0,64, mostrando que os ensaios tiveram os objetivos esperados. A curva de inclinação 1 teve um valor muito próximo para o coeficiente angular da reta.

O valor de inclinação ajustado para a curva 1 foi de 25%, de acordo com a figura 32, o que corresponde ao valor de 0,25 para o coeficiente angular. Através do ensaio da curva de inclinação, chegou-se ao valor de 0,249 para o coeficiente angular, mostrando que os ensaios tiveram um grande êxito.

Através dos ensaios de efeito temporizado, observou-se novamente valores condizentes com os valores próximos das curvas para esse modelo de relé. Para a realização do ensaio temporizado com 8A, obteve-se o valor de disparo de 6,46s. Com a aplicação de 10A para o mesmo ensaio, obteve-se o valor de disparo de 3,92s. Analisando as figuras 53, 55 e 59, nota-se claramente que os valores de disparo para os dois ensaios temporizados foram muito preciso, comparando-os com o gráfico das curvas inversas. Isso mostra que os ensaios foram realizados corretamente e tiveram um ótimo resultado.

## **8. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS**

Dentre as sugestões, pode-se dar ênfase à compra, ou busca de uma parceria para a aquisição de uma mala de testes similar à utilizada, para que seja possível que alunos da universidade possam realizar ensaios e desenvolver trabalhos e estudos com este relé e outros disponíveis na instituição. A mala de testes possibilita realizar diversos ensaios, com valores muito precisos de corrente e tensão, sem qualquer perigo de danificar ou mesmo queimar os equipamentos sob teste.

Como a universidade não dispõe de equipamentos adequados para realização de testes em relés, fica difícil a realização de experimentos com os mesmos. A utilização de varivolts e reostatos não é uma maneira eficaz e segura de realizar experimentos, já que existe o risco de danificar ou queimar o relé sob ensaio, não sendo possível também executar um controle preciso e adequado da corrente aplicada ao relé.

## 9. REFERÊNCIAS

ABB. **Type MG-6 Multi-Contact Auxiliary Relay**. Disponível em: <[http://www05.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/85461123a5330837c12574ce0055368a/\\$file/41-753.11.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/85461123a5330837c12574ce0055368a/$file/41-753.11.pdf)>. Acesso em: 01 de abr. 2011.

AcSELerator QuickSet® SEL-5030. Version 4.18.0.2. U.S.: Schweitzer Engineering Laboratories, Inc, [20--]. Disponível em: <<https://www.selinc.com/SEL-5030/>>. Acesso em: 05 de out. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5460: sistemas elétricos de potência – terminologia**. Rio de Janeiro, 2004.

ARAÚJO, Carlos André; CÂNDIDO, José Roberto; DE SOUZA, Flávio Câmara; DIAS, Marcos Pereira. **Proteção de Sistemas Elétricos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência: Light, 2002.

BARBOSA, Daniel. **Relés Numéricos de Proteção**. Disponível em: <[http://143.107.235.69/index.php?option=com\\_content&view=article&id=9:reles-numericos-de-protecao-&catid=8:protecao-digital-de-sistemas-eletricos-de-potencia&Itemid=18](http://143.107.235.69/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 out. 2010.

\_\_\_\_\_. **Estimação da frequência em sistemas elétricos de potência através de filtragem adaptativa** / Daniel Barbosa. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

BLACKBURN, J. L. **Protective Relaying: Principles and Application**. New York: Marcel Dekker, Inc., 1987.

CAMINHA, Amadeu C. **Introdução à proteção dos sistemas elétricos**. São Paulo, SP: Edgard Blücher; Itajubá: Escola Federal de Engenharia, 1977.

CHEMIN NETTO, U. **Aplicações de Controle e Supervisão Distribuídas em Subestações de Energia Elétrica Através do Uso de Relés Digitais de Proteção**.

2008. 142f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

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.

DA ROCHA CARDOSO, Abilio José. **Ensaio das funções de sobrecorrente e distância utilizando o relé digital de proteção e aplicação de sinais com caixa de teste**. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

DOS SANTOS, Luiz Fabiano; PEREIRA, Maurício. **Uma abordagem prática do IEC61850 para automação, proteção e controle de subestações**. Disponível em <<http://www.centralmat.com.br/Artigos/Mais/abordagemIEC61850LuisFabiano.pdf>>. Acesso em: 12 de abr. 2011.

HOWOWITZ, S. H.; PHADKE A. G. **Power System Relaying**. Research Studies Press Ltd. 1996.

KINDERMANN, Geraldo. **Proteção de sistemas elétricos de potência**. Florianópolis: Edição do autor, 1999. v. ISBN 8590085317

MASON, C. RUSSELL. **The Art & Science of Protective Relaying**. John Wiley and Sons, Inc. New York, 1956.

MELLO, F.P.de. **Proteção de sistemas elétricos de potência**. 2. ed. Santa Maria, RS: Santa Maria, 1983. v.1.

PEREIRA, Allan C. et al. **Integração de sistemas de proteção, controle e automação de subestações e usinas – estado da arte e tendências**. XVIII SNPTEE GPC-14, Curitiba, out. 2005.

PEREIRA, Dejanir Ricardo. **Um sistema de software para execução de estudos de coordenação e seletividade em sistemas de distribuição. 2007.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2007.

PHADKE, A.G.; THORP J. S. **Computer Relaying for Power Systems.** Somerset: Research Studies Press Ltd., 1994.

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 387: Instruction Manual.** Pullman, U.S. Vol. 1. 2009.

\_\_\_\_\_. **SEL Product Catalog: Solutions 2010.** Pullman, U.S. Vol. 1. 2009.

\_\_\_\_\_. **Usando o SEL 5030 AcSelerator®.** 2004. Disponível em: <[http://www.selinc.com.br/suporte/SEL%205030\\_V03.pdf](http://www.selinc.com.br/suporte/SEL%205030_V03.pdf)>. Acesso em: 07 de out. 2010.

\_\_\_\_\_. **Oscilografias.** Disponível em: <<http://www.selinc.com.br/oscilografia.aspx>>. Acesso em: 07 de abr. 2011.

\_\_\_\_\_. **SEL-387 Current Differential and Overcurrent Relay.** Disponível em: <<http://www.selinc.com/sel-387/>>. Acesso em: 15 de abr. 2011.

\_\_\_\_\_. **Relé de Proteção de Sobrecorrente e Diferencial de Corrente SEL-387.** São Paulo, 2001.

SOUTO, Wesley de A. **Apostila de comandos elétricos (compilado – 1).** 1992. Disponível em: <[http://www.eletronicosforum.com/cursos/eletricidade\\_eletronica/automacao/curso\\_tecnico\\_eletromecanica.pdf](http://www.eletronicosforum.com/cursos/eletricidade_eletronica/automacao/curso_tecnico_eletromecanica.pdf)>. Acesso em: 10 de Abr. 2010.

OMICRON. **CMC256-Datasheet** . Disponível em: < [http://www.powertech-rentals.com.au/uploaded/files/client\\_added/CMC256-Datasheet.pdf](http://www.powertech-rentals.com.au/uploaded/files/client_added/CMC256-Datasheet.pdf)>. Acesso em: 21 de set. 2011.

Universidade Tecnológica Federal do Paraná. **Normas para apresentação de documentos científicos**. Curitiba: Ed. UTFPR, 2008. Disponível em: <[http://www.utfpr.edu.br/dibid/normas-para-elaboracao-de-trabalhos-academicos/normas\\_trabalho\\_utfpr.pdf](http://www.utfpr.edu.br/dibid/normas-para-elaboracao-de-trabalhos-academicos/normas_trabalho_utfpr.pdf)> Acesso em: 06 de Nov. 2010.

WISTUBA, Jefferson Sotto Maior. **Módulo didático para estudo de seletividade e da coordenação da proteção por meio de relés de sobrecorrente eletromecânicos**. 2005. 117 f.:Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curso Superior de Engenharia Industrial Elétrica - Ênfase Eletrotécnica, Curitiba, 2005.

## 10. CRONOGRAMA

ATIVIDADE / ANO / MÉS	2010												2011											
	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEB	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ						
	1. Levantamento de bibliografia	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					
2. Redação da Proposta		X																						
3. Adequação em função das observações da banca				X																				
4. Revisão bibliográfica e redação de conceitos teóricos						X	X	X	X	X	X													
5. Desenvolvimento do Ensaio									X	X	X	X	X	X	X	X								
5.1. Levantamento de equipamentos e materiais									X															
5.4. Testes e ensaios										X	X													
5.2. Aquisição de dados do ensaio												X	X	X										
5.3. Filtragem dos dados e inserção no trabalho escrito													X	X										
6. Estudo de caso de utilização										X														
7. Análise e comparação de resultados																X								
8. Conclusões e comentários finais																	X							
9. Elaboração e redação do artigo																	X							
10. Confeção de poster																	X							
11. Elaboração e encaminhamento de documentos para defesa final																	X							
12. Defesa do trabalho de conclusão de curso																	X							
13. Correção pós defesa final																	X	X						
14. Elaboração e encaminhamento de documentação final																		X						