



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA  
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA  
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

*ESTUDO DA PROTEÇÃO DE SOBRECORRENTE PELO  
RELÉ SEL-351A*

Aluno: Luis Otávio Bueno Oiticica

Matrícula: 20621640

Campina Grande

2011

Luis Otávio Bueno Oiticica

*ESTUDO DA PROTEÇÃO DE SOBRECORRENTE PELO  
RELÉ SEL-351A*

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica UFCG, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.  
Área de concentração: Eletrotécnica.

**Orientador: Francisco das Chagas Fernandes Guerra**

**Doutor em Engenharia Elétrica**

Campina Grande

2011

Luis Otávio Bueno Oiticica

*ESTUDO DA PROTEÇÃO DE SOBRECORRENTE PELO  
RELÉ SEL-351A*

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica UFCG, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.  
Área de concentração: Eletrotécnica.

Aprovado em \_\_/\_\_/\_\_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

---

Francisco das Chagas Fernandes Guerra

Doutor em Engenharia Elétrica

---

Washington Luiz Araújo Neves

Doutor em Engenharia Elétrica

*Aos meus pais e irmã.*

*Aos amigos, pelo apoio e companheirismo.*

*À minha namorada pela força, apoio e compreensão.*

*“O único lugar onde o sucesso vem antes  
do trabalho é no dicionário.”*

*Albert Einstein*

## Resumo

O presente trabalho aborda um tema bastante discutido na área de proteção nos dias de hoje. Com a modernidade da tecnologia, os relés de proteção robustos que antes eram eletromecânicos e estáticos passaram a ser relés digitais no qual são muito mais simples e compactos. Esse foi o grande incentivo da escolha do tema. O trabalho consiste em um estudo dos relés eletromecânicos e digitais com o foco do relé digital SEL-351A, mostrando suas diversas funções e seus benefícios na escolha do mesmo. No início temos uma abordagem básica sobre o histórico dos relés, mostrando algumas vantagens e desvantagens. Logo em seguida discutimos sobre os princípios fundamentais dos relés, assim como a classificação e as qualidades requeridas por um relé. Depois de um pouco de teoria dos princípios básicos dos relés, passamos o foco para a função de sobrecorrente tanto dos relés eletromecânicos que são utilizados até hoje nos sistemas de potência quanto dos relés digitais. Em seguida, discutiremos sobre o relé digital SEL-351A no qual faz a proteção de alimentadores, destacando as múltiplas funções que este possui dando destaque para as funções de sobrecorrente instantânea e sobrecorrente temporizada. Por fim, fazemos a simulação deste relé utilizando a ferramenta AcSELerator Quickset e analisaremos resultados.

**Palavras-chaves:** relés de proteção, relés eletromecânicos, relés digitais, sobrecorrente instantânea, sobrecorrente temporizada.

## Abstract

This study addresses a topic widely discussed in the protection area today. With modern technology, protection relays that were robust electromechanical and static relays have become digital in which are much simpler and compact. That was the great incentive of choice of topic. The work consists of a study of electromechanical relays and digital focus of the digital SEL-351A relay, showing its various functions and its benefits in the same choice. At the beginning we have a basic approach on the history of the relays, showing some advantages and disadvantages. Soon after we discussed the fundamental principles of the relays, as well as the classification and the qualities required by a relay. After a little theory of the basic principles of the relays, we focus to the overcurrent function of both the electromechanical relays that are used today in power systems and digital relays. Then we will discuss about the digital SEL-351A relay in which makes the feeders, highlighting the multiple functions that have a focus for the functions of instantaneous overcurrent and time-overcurrent. Finally, we make this relay using the simulation tool AcSELerator Quickset and analyze results.

**Keywords:** protection relays, electromechanical relays, digital relays, instantaneous overcurrent and time-overcurrent.

## Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado forças e capacidade para aprender um conteúdo que tive bastante dificuldade durante o curso de engenharia elétrica e por ter iluminado meu caminho nas horas mais difíceis me fazendo chegar até aqui.

Agradeço aos meus pais Rogério e Ana por todo o suporte e subsídio para que eu concluísse meu curso da melhor forma possível.

Agradeço a minha irmã Renata por estar sempre presente compartilhando comigo os momentos vividos durante o curso.

Agradeço também ao meu professor orientador Chagas por ter aceitado me orientar, proposto esse desafio que me fez crescer bastante em uma área muito importante para a engenharia elétrica e me ajudado com o progresso do meu trabalho sempre que precisei.

Agradeço também ao amigo Daniel Araújo pela amizade e companheirismo nas horas que mais precisei.

Agradeço a todos que fazem a equipe de coordenação do DEE pelo tempo, ajuda e dedicação dispensados sempre que necessitei.

Agradeço a todos os meus amigos que estiveram comigo desde o começo dessa intensa caminhada pelos ótimos e difíceis momentos que vivenciamos juntos. Tenho certeza que depois dessa dolorosa, porém valiosa jornada que hoje estamos colhendo os frutos, uma grande família se formou.

Em especial, agradeço à minha namorada Giovanna pois foi ela quem mais me apoiou e me deu força durante todo o meu curso com toda sua paciência sacrificando muitos finais de semana para para que eu pudesse estudar.



# Sumário

<b>Lista de Figuras</b>	<b>8</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>10</b>
<b>2 História dos Relés</b>	<b>11</b>
<b>3 Princípios Fundamentais dos Relés</b>	<b>13</b>
3.1 Definição de Relé . . . . .	13
3.2 Classificação dos Relés . . . . .	13
3.3 Qualidades Requeridas de um Relé . . . . .	16
<b>4 Relés de Sobrecorrente</b>	<b>17</b>
4.1 Relés Eletromecânicos . . . . .	17
4.1.1 Função de Sobrecorrente Instantânea do Relé Eletromecânico (50) .	18
4.1.2 Função de Sobrecorrente Temporizada do Relé Eletromecânico (51)	20
4.2 Relés Digitais . . . . .	24
<b>5 Relé Digital SEL-351A</b>	<b>26</b>
5.1 Função Sobrecorrente Instantânea (50) . . . . .	29
5.1.1 Elementos de Sobrecorrente Instantânea de Fase . . . . .	29
5.1.2 Elementos de Sobrecorrente Instantânea de Neutro-Terra . . . . .	31
5.1.3 Elementos de Sobrecorrente Instantânea Residual-Terra . . . . .	33
5.2 Função Sobrecorrente Temporizado (51) . . . . .	34
5.2.1 Elementos de Sobrecorrente Temporizada de Fase . . . . .	34
5.2.2 Elementos de Sobrecorrente Temporizada de Neutro e Residual . . .	39

<b>6</b>	<b>Simulação do Funcionamento do Relé Digital SEL-351A Utilizando a Ferramenta Acselarator Quickset</b>	<b>40</b>
6.1	Simulação . . . . .	42
6.2	Resultados Obtidos . . . . .	51
<b>7</b>	<b>Conclusão</b>	<b>53</b>
	<b>Referências Bibliográficas</b>	<b>54</b>

## Lista de Figuras

1	Relé eletromecânico de sobrecorrente instantânea e temporizada da GE. . .	17
2	Relé eletromecânico de sobrecorrente instantânea [1]. . . . .	18
3	Característica ideal [1]. . . . .	19
4	Ajuste no relé eletromecânico de sobrecorrente instantânea. . . . .	19
5	Relé de sobrecorrente temporizada com tempo definido [1]. . . . .	20
6	Relé de sobrecorrente temporizada com tempo inverso [1]. . . . .	20
7	Diversas características do relé de sobrecorrente temporizada com tempo inverso [1]. . . . .	21
8	Relé de sobrecorrente temporizado do tipo indução [2]. . . . .	21
9	Defasagem entre os 2 fluxos [2]. . . . .	22
10	Relé de sobrecorrente temporizada [2]. . . . .	23
11	Relé SEL-351A. . . . .	26
12	Visão superior da placa de entrada. . . . .	26
13	Bobinas amperimétricas e voltimétricas. . . . .	27
14	Fonte chaveada e alimentação. . . . .	27
15	Placa de controle. . . . .	28
16	Encaixe das placas. . . . .	28
17	Visão traseira do relé. . . . .	29
18	Comparação da corrente de ajuste com as medições das correntes de fase [3].	30
19	Elementos de sobrecorrente instantânea de fase [3]. . . . .	31
20	Comparação da corrente de ajuste com as medições das correntes de neutro [3]. . . . .	32
21	Ligação da corrente de neutro [3]. . . . .	33

---

22	Comparação da corrente de ajuste com a medição da corrente residual-terra [3]. . . . .	34
23	Elementos da função de sobrecorrente temporizada [3]. . . . .	35
24	Fórmulas para obtenção do tempo de atuação [3]. . . . .	36
25	Curvas da U.S. [3]. . . . .	37
26	Curvas da I.E.C. [3]. . . . .	38
27	Alimentadores e diagrama unifilar. . . . .	40
28	Simulação de um disjuntor. . . . .	41
29	Interface do acselarator quickset. . . . .	42
30	Divisão do grupo 1 . . . . .	43
31	Configurações gerais do acselarator quickset. . . . .	44
32	Corrente de pickup de 2 fases e seus respectivos tempos da função de sobrecorrente instantânea. . . . .	45
33	Corrente de pickup de neutro e seu tempo da função de sobrecorrente instantânea. . . . .	46
34	Corrente de pickup residual e seu respectivo tempo da função de sobrecorrente instantânea. . . . .	47
35	Corrente de pickup de fase da função de sobrecorrente temporizada. . . .	48
36	Corrente de pickup de neutro da função de sobrecorrente temporizada. . .	48
37	Corrente de pickup residual da função de sobrecorrente temporizada. . . .	49
38	Configuração da lógica de trip do logic 1. . . . .	50
39	Relatório de eventos. . . . .	51
40	Oscilografia. . . . .	52

# 1 Introdução

Os Sistemas de proteção são sistemas aos quais estão associados todos os dispositivos necessários para detectar, localizar e comandar a eliminação de um curto-circuito ou uma condição anormal de operação de um sistema elétrico, diminuindo os danos aos equipamentos defeituosos, com consequente redução do tempo de indisponibilidade e menor custo de reparo. O dispositivo elétrico que sente a anormalidade do sistema e comanda a retirada do elemento defeituoso é o relé.

Com o avanço da tecnologia, os relés eletromecânicos e estáticos ficaram limitados pois o atual relé é do tipo digital que possui uma melhor exatidão, além de serem mais compactos, possuírem múltiplas funções, oscilografia, localização de falta, entre outras diversas aplicações que o torna o mais completo do mercado.

Vale ressaltar que o relé, independente do tipo construtivo, tem que estar associado a um circuito de potência fazendo com que seus contatos de saída operem nas bobinas de mínima, de fechamento e de abertura do disjuntor.

Para verificar tais efeitos, serão feitas simulações do funcionamento do relé digital SEL-351A com uso da ferramenta acSELerator Quickset.

## 2 História dos Relés

Os relés eletromecânicos surgiram no início do século XX e foram os pioneiros da proteção dos sistemas elétricos. Foram elaborados, projetados e construídos com predominância dos movimentos mecânicos proveniente dos acoplamentos magnéticos e elétricos. Tais dispositivos são constituídos por várias bobinas, núcleos magnéticos, molas, alavancas e engrenagens. Em relação ao princípio básico de funcionamento, tal relé opera de 2 modos:

1. Atração eletromagnética.
2. Indução eletromagnética.

Vários problemas foram apresentados pelos relés eletromecânicos, como elevado consumo, atrito e inércia das partes móveis.

Tais problemas foram superados na década de 30 com a chegada dos relés eletrônicos, também conhecidos como relés estáticos, nos quais eram utilizadas válvulas e os componentes mecânicos foram substituídos por componentes eletrônicos. Nestes relés não há nenhum dispositivo mecânico em movimento, daí a denominação de relé estático, e todos os comandos e operações são feitos eletronicamente. Possuem alta velocidade de operação e menor manutenção quando comparado com os relés eletromecânicos. Também surgiram os relés semi-estáticos, que possuíam componentes eletrônicos e eletromecânicos, mas possuíam elevado consumo além das válvulas possuírem alto índice de falha e por isso não foram utilizados em grande escala.

Em meados de 1950, os transistores começaram a surgir em escala industrial, substituindo as válvulas. Os primeiros relés a estado sólido possuíam suas principais partes constituídas por componentes eletrônicos, como diodo comum, transistores, diodo zener. Um ponto negativo deste relé é o elevado número de componentes, tornando-o muito complexo pois os componentes provinham de diferentes fabricantes. Com o desenvolvimento da tecnologia dos circuitos integrados (CI's) este problema foi contornado. Os relés estáticos com CI's foram introduzidos no Brasil na primeira metade da década de 70 e foi largamente utilizado por um período de 10 anos. Apresentam várias vantagens como o

---

tamanho e peso reduzido, menor consumo e apresentam maior confiabilidade.

Com o desenvolvimento dos computadores, surgiram os primeiros relés digitais, também conhecido como relés microprocessados, onde sinais de entrada das grandezas e parâmetros digitados são controlados via software que processa a lógica da proteção através de algoritmos. São conhecidos como relé multifunções pois podem simular um relé ou todos os relés existentes num só equipamento, produzindo ainda outras funções, tais como, medições de suas grandezas de entrada.

## 3 Princípios Fundamentais dos Relés

Duas regras básicas devem ser observadas pelos equipamentos de proteção. Se não há defeito, a proteção não deve atuar, uma vez que desligamentos desnecessários podem ser piores que a falha de atuação e caso haja defeito na zona de controle do relé, as ordens devem ser precisas [4]. Será introduzido na sequência os princípios fundamentais dos relés.

### 3.1 Definição de Relé

O relé é um dispositivo por meio do qual um equipamento elétrico é operado quando se produzem variações nas condições de operação destes equipamentos ou do circuito em que ele está ligado. Os relés de proteção são dispositivos que comparam os parâmetros reais com os de pré-ajuste e ao detectar anormalidades atua diretamente sobre um equipamento ou um sistema, retirando de operação os equipamentos envolvidos com a anormalidade, além de acionar circuitos de alarme quando necessário ou dar aviso adequado.

### 3.2 Classificação dos Relés

Existe uma grande variedade de relés, atendendo as diversas aplicações, porém eles podem ser reduzidos a um pequeno número de tipos. Podemos classificar os relés como:

a) Quanto as grandezas físicas de atuação:

1. Elétricas;
2. Mecânicas;
3. Térmicas;
4. Óticas;
5. Etc;



b) Quanto ao tipo de grandeza de atuação:

1. Corrente;
2. Tensão;
3. Potência;
4. Frequência;
5. Pressão;
6. Temperatura;
7. Etc;

c) Quanto ao tipo construtivo:

1. Eletromecânicos (indução);
2. Mecânicos (centrífugos);
3. Eletrônicos (fotoelétricos);
4. Estáticos (efeito Hall);
5. Etc;

d) Quanto à função:

1. Sobre e subcorrente;
2. Tensão ou potência;
3. Diferencial;
4. Distância;
5. Direcional de corrente ou potência;
6. Etc;

e) Quanto à forma de conexão do elemento sensor:

1. Direto no circuito primário;
2. Através de redutores de medida;

f) Quanto ao grau de importância:

1. Principal (51 ASA);
2. Intermediário (86 ASA);

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

1. Corrente alternada;
2. Corrente contínua;

h) Quanto à aplicação:

1. Máquinas rotativas (gerador);
2. Máquinas estáticas (transformadores);
3. Linhas aéreas ou subterrâneas;
4. Aparelhos em geral;

i) Quanto ao posicionamento dos contatos:

1. Normalmente aberto (NA);
2. Normalmente fechado (NF);

j) Quanto ao princípio de funcionamento:

1. Atração eletromagnética;
2. Indução eletromagnética;

k) Quanto ao tempo de atuação:

1. Instantâneo;
2. Temporizado;

### 3.3 Qualidades Requeridas de um Relé

Para cumprir sua finalidade, os relés devem:

- a) Ser simples e robustos o quanto possível;
- b) Ser rápidos, independente do valor, natureza e localização do defeito;
- c) Ter alta sensibilidade e poder de discriminação;
- d) Ter baixo consumo próprio;
- e) Manter seu ajuste, independente da temperatura exterior, variações de frequência, etc.
- f) Realizar contatos firmes evitando centelhamentos;

## 4 Relés de Sobrecorrente

São todos os relés que atuam para uma corrente maior do que a do seu ajuste, ou seja, quando a corrente de curto-circuito ultrapassa a corrente pré-ajustada do relé, o mesmo atua instantaneamente ou depois de um tempo, conforme a necessidade. Os relés de sobrecorrente podem ser eletromecânicos, eletrônicos ou digitais. Atualmente os relés eletromecânicos e eletrônicos estão sendo largamente substituídos pelos relés digitais devido a grande quantidade de informações que estes conseguem armazenar e do elevado potencial de integração com outros dispositivos.

A corrente de ajuste pode variar de acordo com o tracionamento da mola, variação do entreferro, variação de elementos do circuitos ou controle por software.

### 4.1 Relés Eletromecânicos

Os relés de sobrecorrente são os relés tradicionais, pioneiros da proteção, elaborados, projetados e construídos com predominância dos movimentos mecânicos provenientes de acoplamentos magnéticos e elétricos e são os mais utilizados em sistemas de subtransmissão e distribuição de concessionárias e indústrias. Apresentam baixo custo e são muito simples.

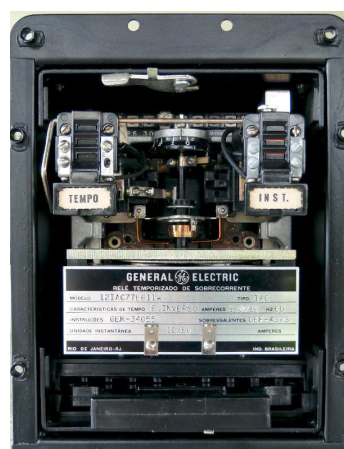


Figura 1: Relé eletromecânico de sobrecorrente instantânea e temporizada da GE.

Em relação ao princípio básico de funcionamento, atua de dois modos:

1. Indução Eletromagnética.
2. Atração Eletromagnética.

A atuação do relé de sobrecorrente pode ser instantânea ou temporizada.

#### 4.1.1 Função de Sobrecorrente Instantânea do Relé Eletromecânico (50)

O relé de sobrecorrente instantâneo atua instantaneamente para uma corrente maior do que seu ajuste, não possuindo característica temporizada. A Fig. 2 mostra um tipo de relé de sobrecorrente instantânea que funciona tanto em corrente contínua como em corrente alternada que funciona basicamente mediante atração de uma armadura basculante[ref], denominada armadura em charneira.

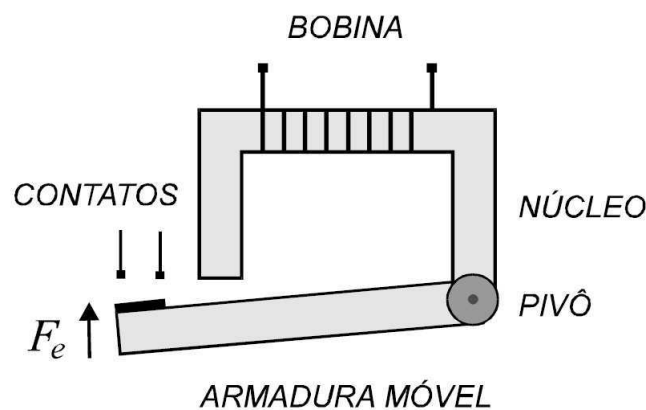


Figura 2: Relé eletromecânico de sobrecorrente instantânea [1].

Quando atingi-se um valor de corrente acima de  $I_a$  é desenvolvida uma força de atração no entreferro,  $F_e$ , que supera a ação da gravidade sobre a armadura móvel, ocasionando o fechamento dos contatos de um circuito provocando a retirada de funcionamento imediato do disjuntor.

O funcionamento ideal do relé de sobrecorrente instantânea pode ser visto na Fig. 3. Como existe um tempo do fechamento dos contatos do relé até a retirada de operação

do disjuntor, tem-se que na prática a atuação não é instantaneamente, levando-se alguns milésimos de segundo para retirada do disjuntor. Os relés eletromecânicos mais rápidos atingem 2,3 ciclos.

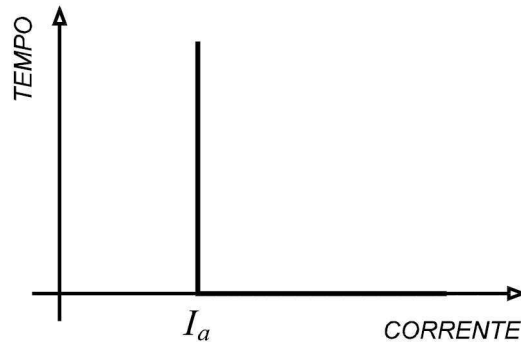


Figura 3: Característica ideal [1].

É importante ressaltar que o ajuste do relé eletromecânico de sobrecorrente instantânea é de extrema dificuldade pois esse ajuste varia de acordo com o aperto de um parafuso que possui um deslocamento de aproximadamente 5 centímetros tendo uma variação de 70 amperes. É inviável fazer o ajuste nesse tipo de relé para ter uma exatidão como ilustrado na Fig.4

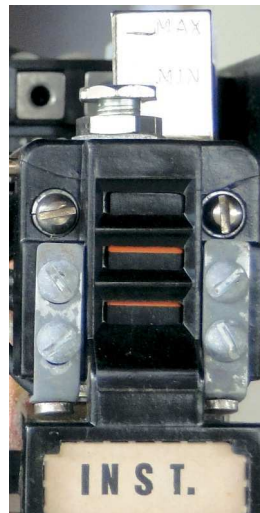


Figura 4: Ajuste no relé eletromecânico de sobrecorrente instantânea.

### 4.1.2 Função de Sobrecorrente Temporizada do Relé Eletromecânico (51)

São classificados como relés de tempo definido ou de tempo inverso. Na característica de tempo definido o relé não atua para correntes menores que  $I_a$ , enquanto para corrente maiores o relé atua com um tempo ajustável  $T_a$  como mostrado na Fig. 5 abaixo.

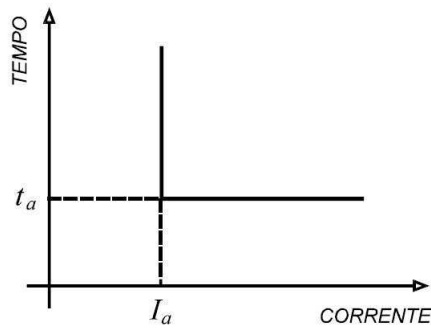


Figura 5: Relé de sobrecorrente temporizada com tempo definido [1].

Na característica de tempo inverso, o tempo de atuação diminui com o aumento da corrente como pode-se perceber de acordo com a Fig. 6.

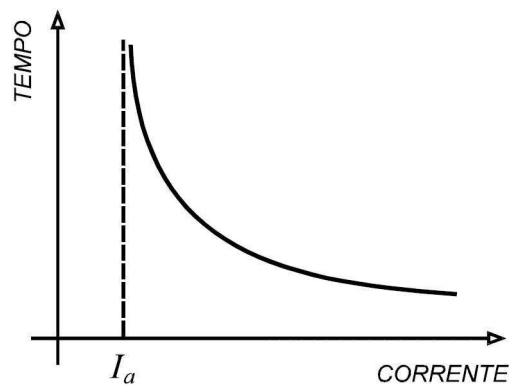


Figura 6: Relé de sobrecorrente temporizada com tempo inverso [1].

As diversas formas das características de tempo inverso que muda-se de aplicação para aplicação são mostradas na Fig. 7

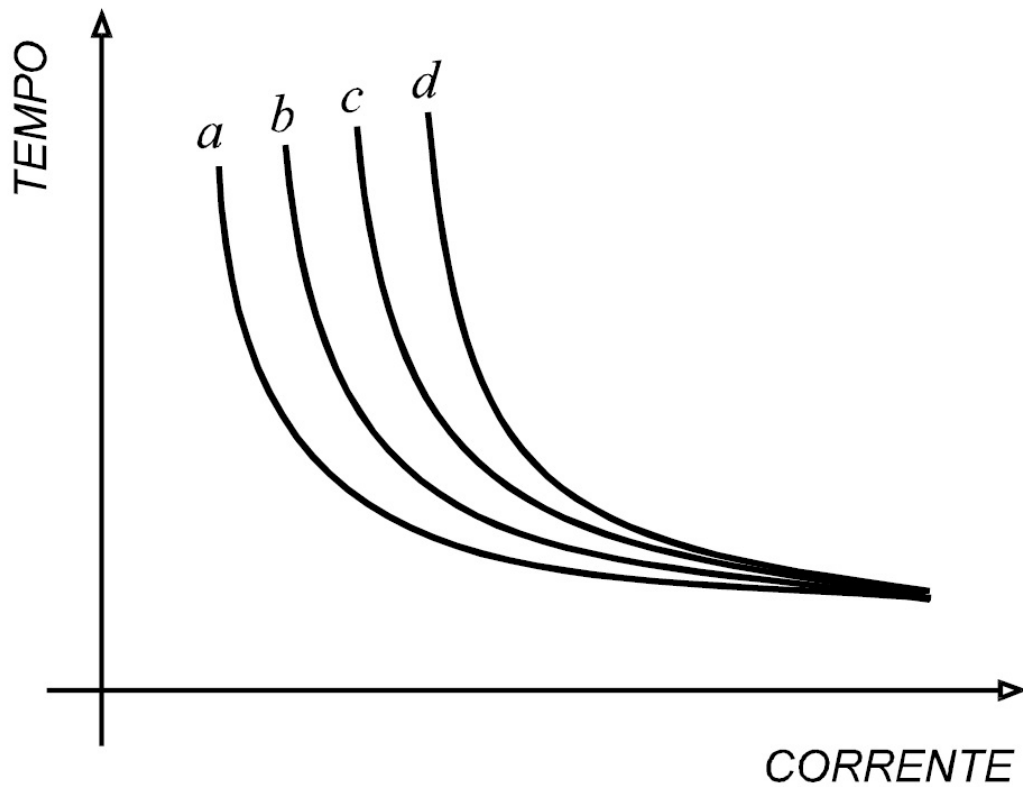


Figura 7: Diversas características do relé de sobrecorrente temporizada com tempo inverso [1].

Essas características podem ser obtidas utilizando uma estrutura baseado na indução das correntes parasitas em um disco metálico, como visto nas figuras abaixo.

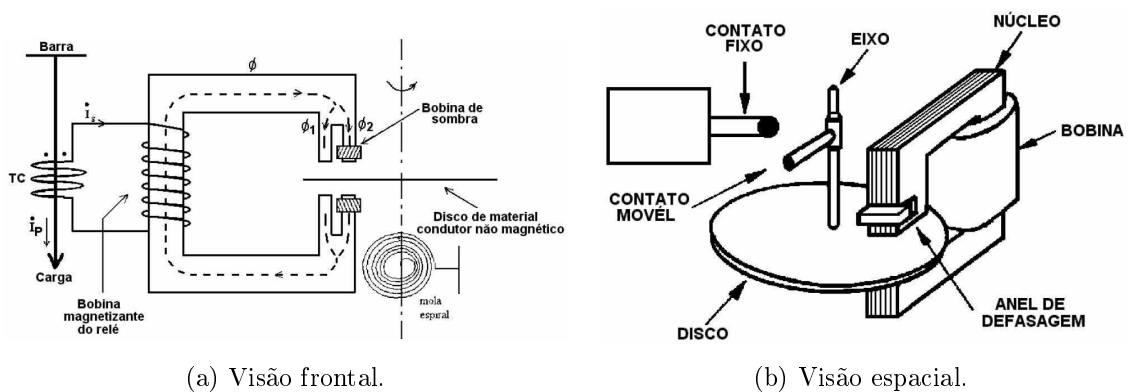


Figura 8: Relé de sobrecorrente temporizado do tipo indução [2].

Os relés de Indução eletromecânica utilizam o princípio de um motor de indução, onde um torque gira um rotor que produz o fechamento de contatos NA de relés que ativam o circuito ou mecanismo que provoca a abertura do disjuntor. Esses relés operam



somente com corrente alternada. A função da mola é produzir um conjugado antagonista, mantendo os contatos abertos ao máximo em condições normais.

A corrente secundária ( $I_s$ ) percorre a bobina magnetizante, gerando uma força magneto-motriz que cria um fluxo magnético dentro do circuito magnético do núcleo do relé.

O fluxo  $\phi$  terá característica senoidal, pois a corrente secundária ( $I_s$ ) é alternada. De acordo com a Lei de Lenz, a variação do fluxo  $\phi$  gera uma corrente induzida que cria um novo fluxo magnético de oposição à variação do fluxo original  $\phi$ .

Da interação desses 2 fluxos, resulta o fluxo  $\phi_2(t)$  que está um pouco defasado em relação ao fluxo  $\phi_1(t)$ . O fluxo  $\phi_1(t)$  está em fase com o fluxo  $\phi(t)$  original. A filosofia do funcionamento desses relés é que os fluxos  $\phi_1(t)$  e  $\phi_2(t)$  estão defasados, agindo no disco provocando a rotação deste. Temos que :

$$\phi_1 = \phi_{M1} \text{sen}(wt) \quad (4.1)$$

$$\phi_2 = \phi_{M2} \text{sen}(wt + \theta) \quad (4.2)$$

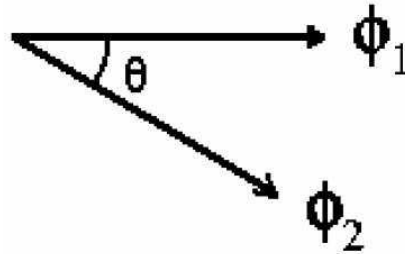


Figura 9: Defasagem entre os 2 fluxos [2].

- $\theta$  É a defasagem entre  $\phi_1$  e  $\phi_2$ .

Apesar de os fluxos serem senoidais, a força que atua no disco é constante gerando um torque( $\tau$ ) constante, dando um movimento de giro no disco sem vibrações. A equação geral do torque do motor é dado pela expressão 4.3:

$$\tau = K_1 \phi_{M1} \phi_{M2} \text{sen}(\theta) \quad (4.3)$$

- $\phi_{M1} \rightarrow$  Valor eficaz do fluxo  $\phi_1$ .

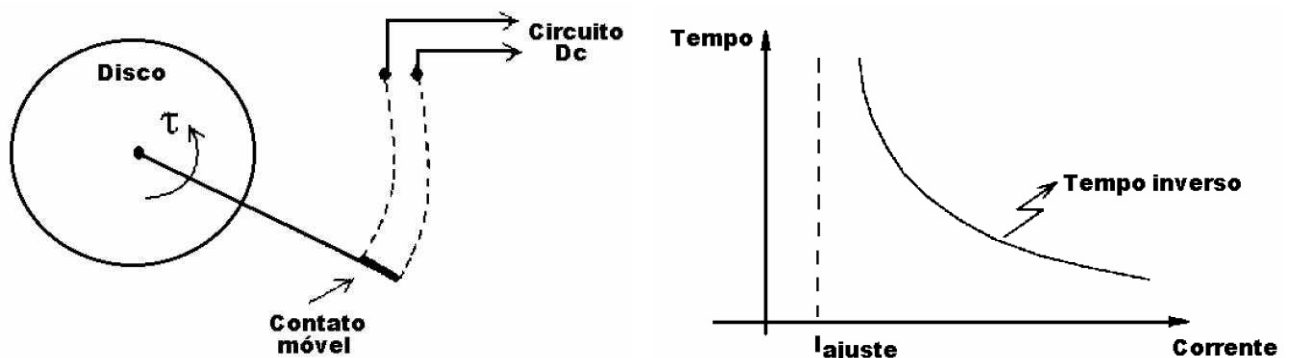
- $\phi_{M2} \rightarrow$  Valor eficaz do fluxo  $\phi_2$ .
- $K_1 \rightarrow$  Constante que depende de cada posição da alavanca entre os contatos fixo e móvel do relé.

O torque( $\tau$ ) máximo ocorre para um ângulo  $\theta = 90^\circ$ . Isto seria ideal para o relé, mas não é possível pois a bobina de sombra consegue apenas produzir variações de  $20^\circ$  a  $33^\circ$ .

Como a distância entre o contato fixo e móvel para uma regulagem é fixa e cada corrente de curto-circuito produz um torque( $\tau$ ) diferente, pode-se obter uma equação genérica do relé, que é dada por:

$$K = I^2 t \quad (4.4)$$

A alavanca de tempo, assim como a curva característica inversa é mostrada na figura a seguir :



(a) Disco de indução e alavanca de tempo.

(b) Característica de tempo inverso.

Figura 10: Relé de sobrecorrente temporizada [2].

Para cada posição da alavanca de tempo, corresponde a uma diferente expressão 4.4 mudando apenas o valor de  $K$ .

A corrente  $I_a$  é a corrente mínima de atuação (corrente de pickup) do relé. Ela depende dos seguintes fatores:

- Número de espiras da bobina principal.
- Tamanho do entreferro, permeabilidade e dimensões geométricas do núcleo ferromagnético, bem como características da bobina de defasagem, relacionados à constante  $K_1$ .

- Características da mola e ímã permanente.

Na prática são feitos dois ajustes nesse relé:

- Ajuste de corrente feito por escolha do tape com o número de espiras adequado (ajuste grosso) e da regulagem da ação da mola (ajuste fino).
- Ajuste de tempo, feito através da regulagem da distância inicial entre o contato fixo e o contato móvel.

## 4.2 Relés Digitais

A tecnologia digital tem se tornado a base da maioria dos sistemas de proteção, atuando em diversas funções como: proteção, medição, controle e comunicação. Nos relés digitais, não existe nenhum dispositivo mecânico em movimento e todos os comandos e operações são feitos eletronicamente .

Os relés digitais são relés eletrônicos gerenciados por microprocessadores onde sinais de entrada das grandezas medidas são comparadas com as grandezas pré-ajustadas por um software que processa a lógica da proteção através de um algoritmo. Pode simular um relé ou todos os relés existentes num só equipamento, produzindo outras funções como medições de suas grandezas de entrada e/ou associadas e realizando outras facilidades sendo por isto denominado re relé de multifunção [2].

Os relés digitais possuem inúmeras funções, tais como :

- Proteção.
- Supervisão de rede.
- Transmissão de sinais.
- Oscilografia.
- Religamento dos disjuntores.
- Identificação do tipo do defeito.
- Localizador de falta.

---

Outra importante função deste relé é o autoteste ou autodiagnóstico. Essa função faz com que o relé realize uma supervisão contínua de seu software e hardware, detectando anormalidades que venham a surgir e que possam ser reparadas antes que o relé opere incorretamente ou deixe de fazê-lo na ocasião certa [5].

## 5 Relé Digital SEL-351A

O relé digital SEL-351A (Fig.11) é usado na proteção de alimentadores comparando os valores medidos com os ajustados via software acselerator quickset.



Figura 11: Relé SEL-351A.

Esse relé é composto por 2 placas. Uma placa é denominada de placa de entrada (Fig.12) e a outra é chamada de placa de controle.

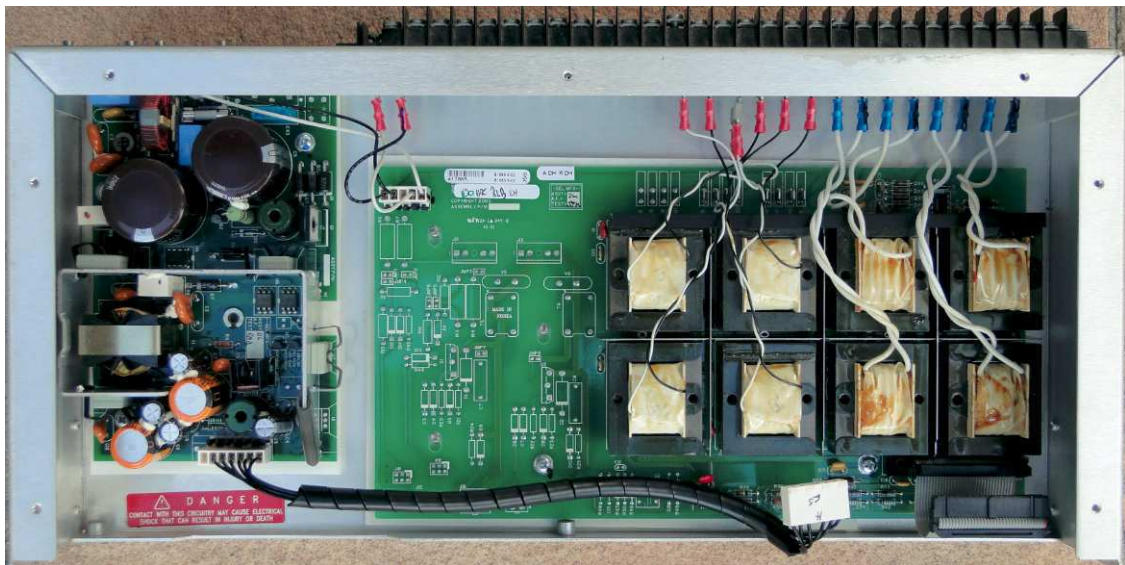


Figura 12: Visão superior da placa de entrada.

Na placa de entrada tem-se 4 bobinas amperimétricas (das 3 fases e uma do neutro), 4 bobinas voltimétricas (das 3 fases e  $V_s$ ), uma fonte chaveada que alimentará internamente os componentes do relé e a alimentação do relé.

As figuras 13 e 14 mostram exatamente as 8 bobinas e a fonte chaveada respectivamente.

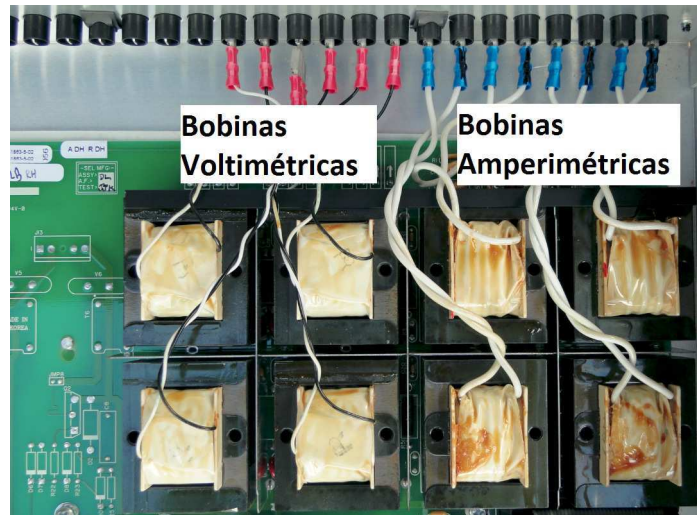


Figura 13: Bobinas amperimétricas e voltimétricas.

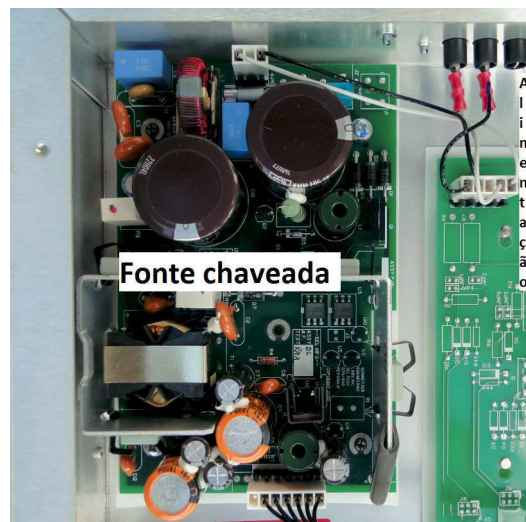


Figura 14: Fonte chaveada e alimentação.

Na placa de controle tem-se as portas de comunicação, os 8 relés de saída (do OUT101 ao OUT108 sendo o OUT108 a saída de alarme), 6 relés de entrada (do IN101 ao IN106), alarmes, botões, conversores A/D, CPU e conectores para comunicação das 2 placas, como mostra a Fig.15.

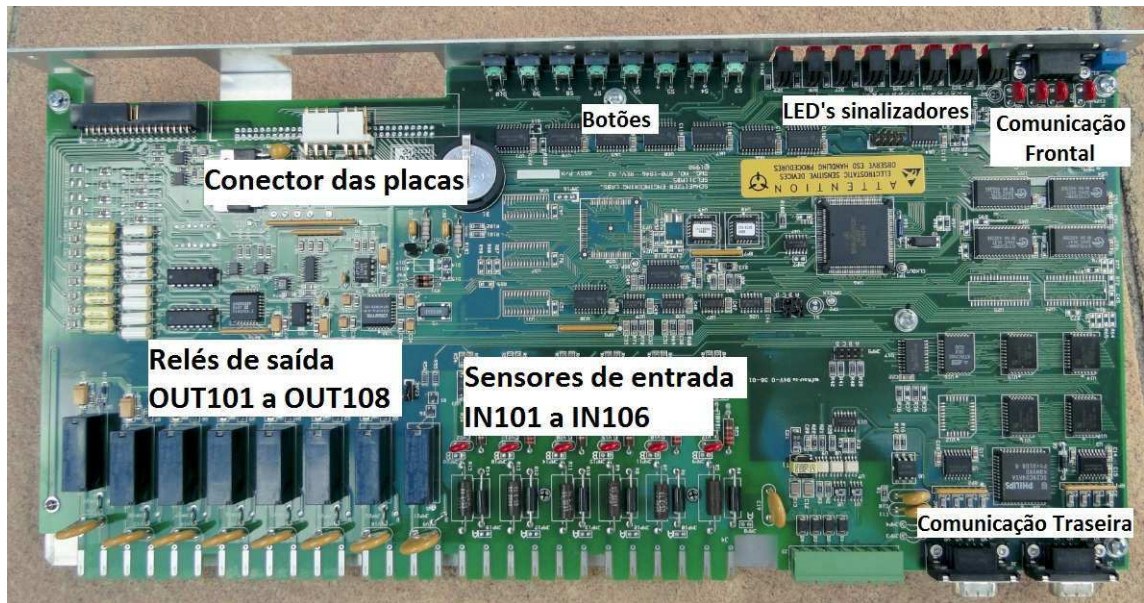


Figura 15: Placa de controle.

Através da Fig.16 tem-se o encaixe das 2 placas no relé, e na Fig.17 tem-se a visão traseira com os contatos OUT, IN, correntes de fase e tensões de fase.



Figura 16: Encaixe das placas.

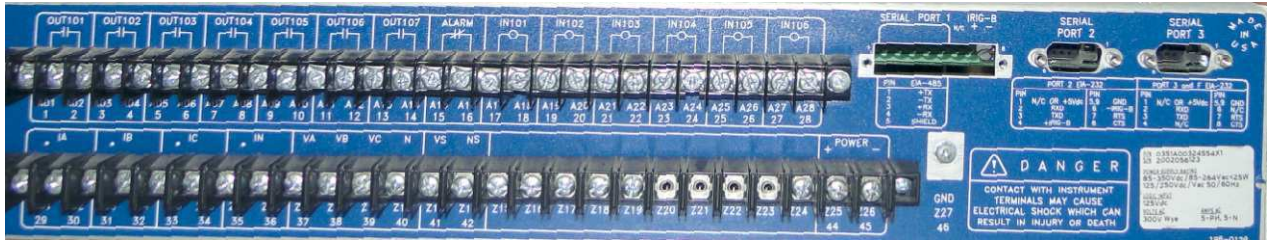


Figura 17: Visão traseira do relé.

## 5.1 Função Sobrecorrente Instantânea (50)

A função de sobrecorrente instantânea é representada pelo número 50 de acordo com a tabela da ANSI.

### 5.1.1 Elementos de Sobrecorrente Instantânea de Fase

Intervalos de ajuste:

- 0,25 - 100,00A no secundário (5A de entrada de corrente de fase nominal, IA,IB,IC).
- 0,05 - 20,00A no secundário (1A de entrada de corrente de fase nominal, IA,IB,IC).

$50P1P \rightarrow$  Ajuste (Pickup) da corrente de fase da função de sobrecorrente instantânea do level 1, tendo em vista que esse relé possui 6 níveis de ajuste para obtermos 6 tipos diferentes de programação.

$50P1P$  faz a comparação através de amplificadores operacionais com as medições das correntes das fases A, B e C como é mostrada na Fig.18. Os bits das palavras da função de sobrecorrente instantânea serão ativadas se:

- $I_a$  for maior que  $50P1P$  seta-se  $50A1$ .
- $I_b$  for maior que  $50P1P$  seta-se  $50B1$ .
- $I_c$  for maior que  $50P1P$  seta-se  $50C1$ .

As saídas  $50A1$ ,  $50B1$  e  $50C1$  entram em uma porta lógica  $OU$  e ativa a palavra  $50P1$ .



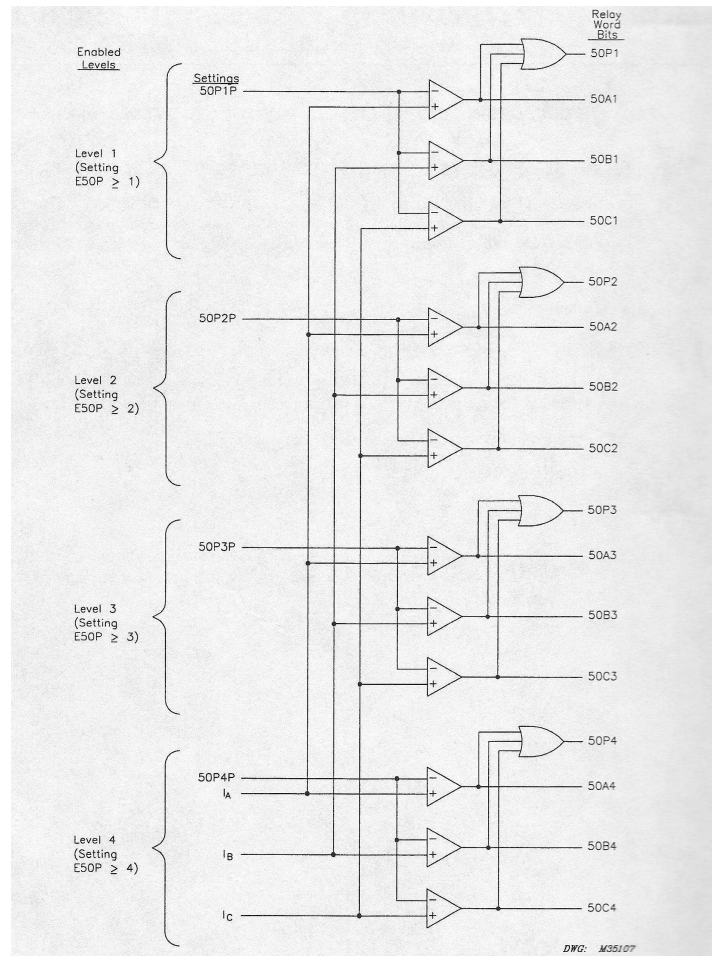


Figura 18: Comparação da corrente de ajuste com as medições das correntes de fase [3].

A palavra  $50P1$  entra em uma porta lógica  $E$  juntamente com o SELogic controle de torque e o controle direcional (se  $E32 = N$  a lógica desse controle direcional é 1). De acordo com a Fig.19 se as 3 condições forem níveis lógicos 1, a palavra  $67P1$  será ativada e passará por um temporizador  $67P1D$ . Se essa palavra  $67P1$  continuar ativa pelo tempo  $67P1D$  que ajustaremos, então a palavra  $67P1T$  será ativada.

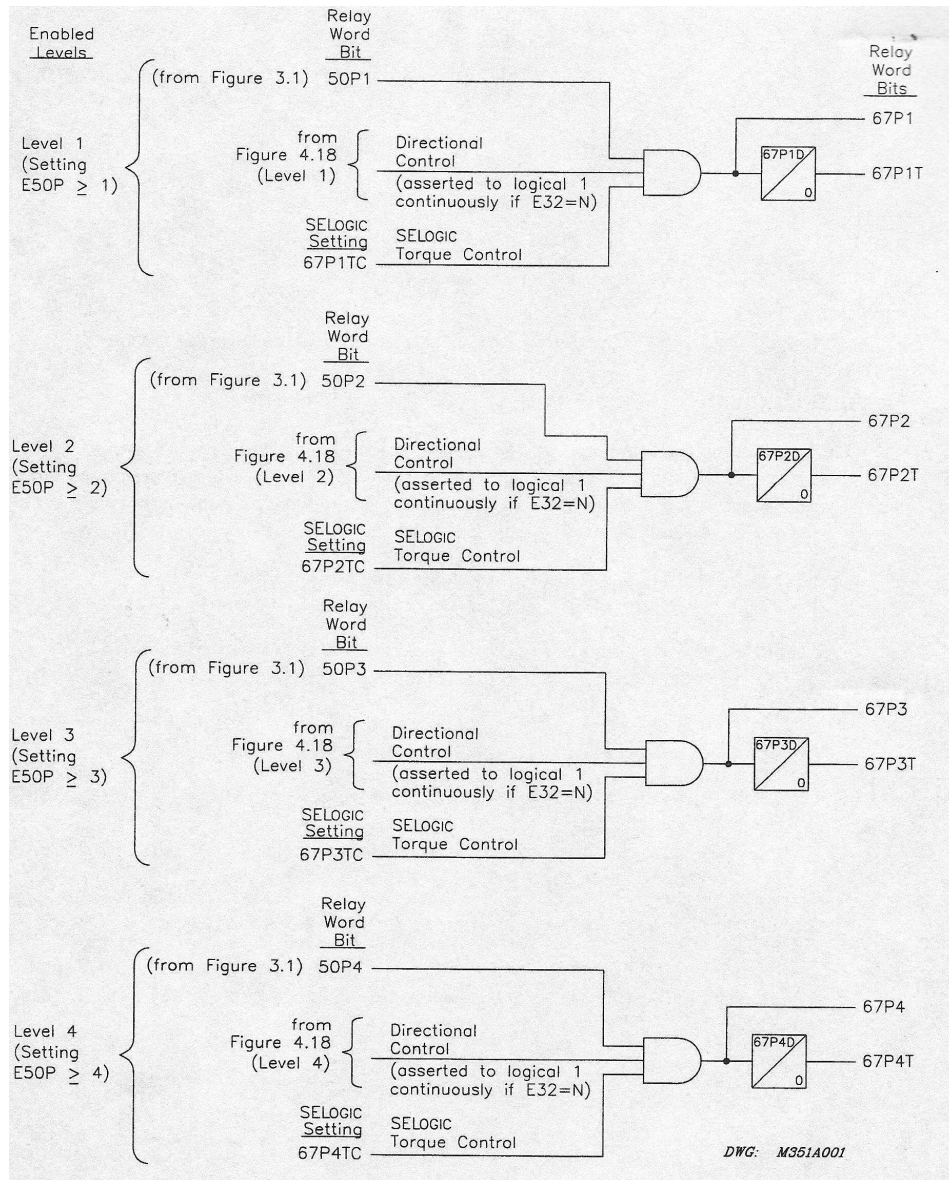


Figura 19: Elementos de sobrecorrente instantânea de fase [3].

### 5.1.2 Elementos de Sobrecorrente Instantânea de Neutro-Terra

Intervalos de ajuste:

- 0,25 - 100,00A no secundário (5A de entrada de corrente de fase nominal, IA,IB,IC).
- 0,05 - 20,00A no secundário (1A de entrada de corrente de fase nominal, IA,IB,IC).
- 0,005 - 1,50A no secundário (0,05A de entrada corrente de fase nominal, IA,IB,IC).

50N1P → Pick up da corrente de neutro da função de sobrecorrente instantânea do level

1.

$50N1P$  compara através de amplificadores operacionais ilustrados na Fig.20 com a corrente medida no neutro. Se  $In$  for maior que  $50N1P$  a palavra  $50N1$  vai para nível lógico 1. A palavra  $50N1$  entra em uma porta lógica  $E$  juntamente com o SELogic controle de torque e o controle direcional(se  $E32 = N$  a lógica desse controle direcional é 1).Se as 3 condições forem níveis lógicos 1, a palavra  $67N1$  será ativada e passará por um temporizador  $67P1D$ . Se essa palavra  $67N1$  continuar ativa pelo tempo que ajustaremos, então a palavra  $67N1T$  será ativada.

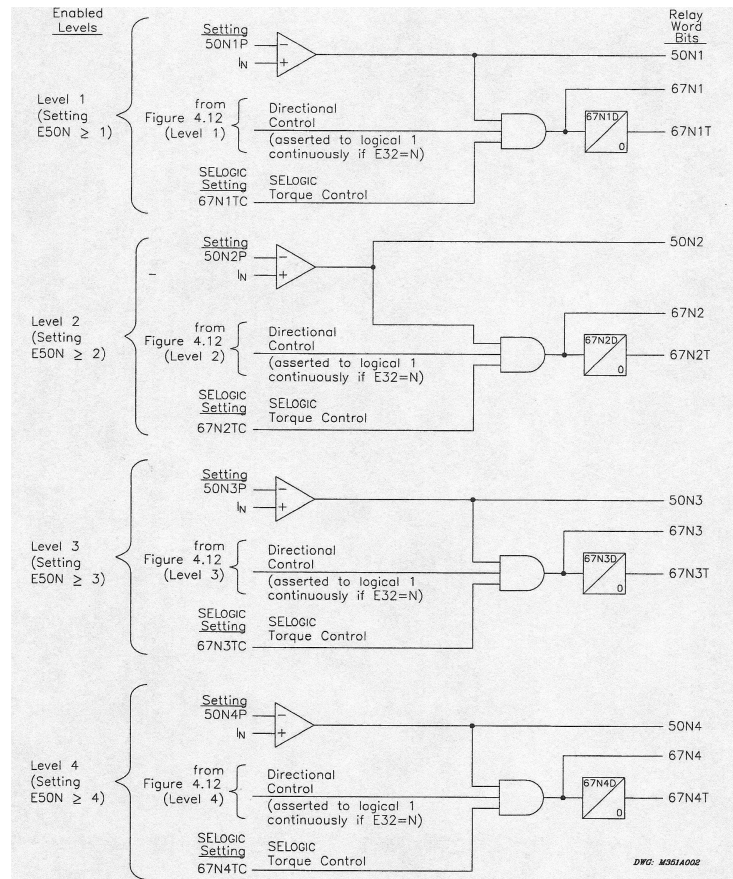


Figura 20: Comparação da corrente de ajuste com as medições das correntes de neutro [3].

A corrente de neutro provém do secundário do TC e tem 2 formas de serem obtidas:

A diferença entre essas ligações é que a transformação de corrente das fases seria igual para o neutro na letra  $b$ ). Na letra  $a$ ) poderíamos ter uma relação de transformação de corrente diferente que para aplicações de uma sensibilidade de falta pra terra seria muito melhor. Devemos botar  $In$  no canal de intervalo de ajuste de  $0.05A$  nominal.

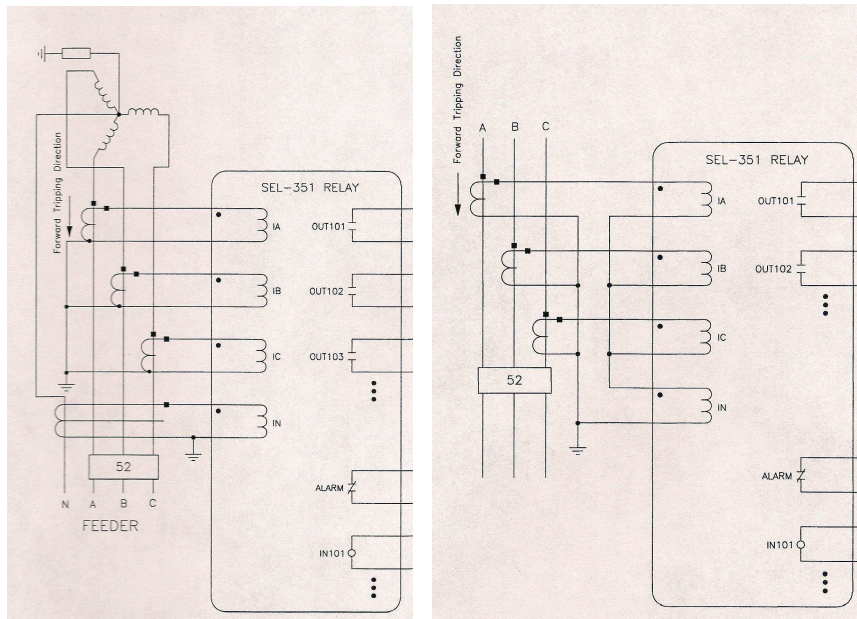
(a) Um TC próprio para  $I_n$ .(b)  $I_n$  através dos TC's das fases.

Figura 21: Ligação da corrente de neutro [3].

### 5.1.3 Elementos de Sobrecorrente Instantânea Residual-Terra

Intervalos de ajuste:

- 0,25 - 100,00A no secundário (5A de entrada de corrente de fase nominal, IA,IB,IC).
- 0,05 - 20,00A no secundário (1A de entrada de corrente de fase nominal, IA,IB,IC).

$I_G$  é a soma vetorial de IA , IB e IC.

Se  $I_G$  for maior que  $50G1P$  seta a palavra  $50G1$ . A lógica é a mesma dos elementos de sobrecorrente instantânea de fase e de neutro.

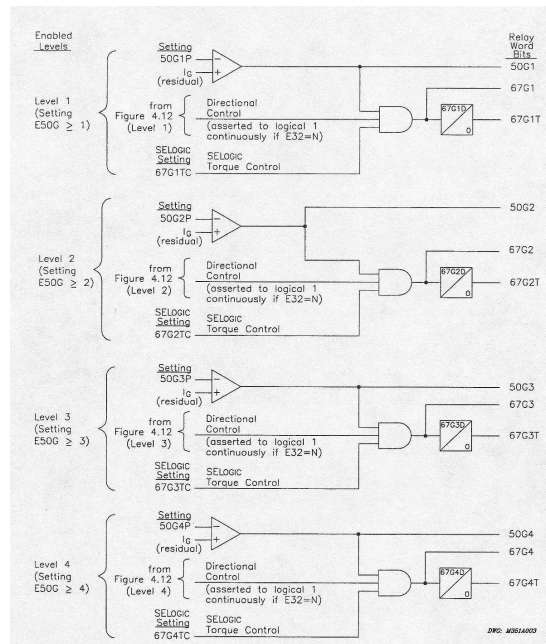


Figura 22: Comparação da corrente de ajuste com a medição da corrente residual-terra [3].

Ajustamos um tempo para 67G1 através da palavra 67G1D, e se o mesmo permanecer ajustado após passado esse tempo, a palavra 67G1T será ativada.

## 5.2 Função Sobrecorrente Temporizado (51)

A função de sobrecorrente temporizada é representada pelo número 51 de acordo com a tabela da ANSI.

### 5.2.1 Elementos de Sobrecorrente Temporizada de Fase

Para fazermos o ajuste da função de sobrecorrente temporizada no relé SEL-351A temos que definir a corrente de pickup(51PP) que será comparada através de amplificadores operacionais com a maior das correntes medidas de cada fase como mostrado na Fig. 23.

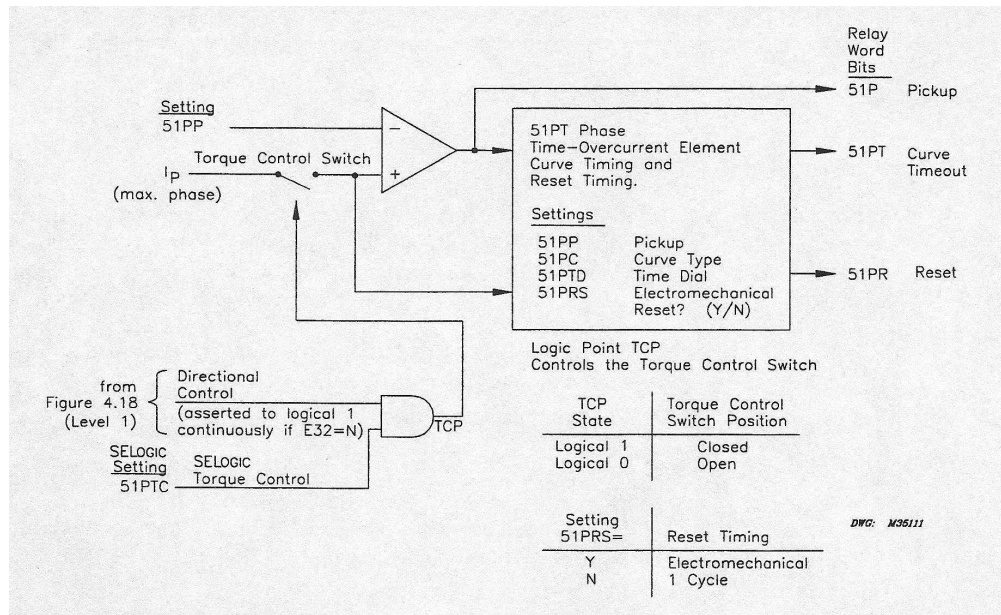


Figura 23: Elementos da função de sobrecorrente temporizada [3].

Intervalo de ajuste da função 51PP:

- 0,50 – 16,00A no secundário (5A nominais das correntes de fase IA,IB,IC).
- 0,10 – 3,20A no secundário (1A nominal das correntes de fase IA,IB,IC).

Temos que ajustar também o tipo de curva (51PC) e sua característica que varia de normalmente inversa até extremamente inversa, assim como o time dial(51PTD) que diferentemente da função de sobrecorrente instantânea não é o tempo em segundos que o relé atuará se a palavra continuar ativa e sim o fator multiplicativo da curva.

A utilização de diferentes curvas e características variam de acordo com o projeto. Existem 2 tipos de curvas (I.E.C. e U.S.) e cada curva possui 5 características diferentes fazendo com que atuem em tempos diferentes. Esse tempo(segundos) de atuação é denominado de  $tp$  e pode ser representado através de fórmulas( Fig.24 ) ou então pelo gráfico de curvas.

**U.S. Moderately Inverse Curve: U1**

$$\begin{aligned} \text{tp} &= \text{TD} * (0.0226 + 0.0104 / (M^{0.02} - 1)) \\ \text{tr} &= \text{TD} * (1.08 / (1 - M^2)) \end{aligned}$$

**U.S. Very Inverse Curve: U3**

$$\begin{aligned} \text{tp} &= \text{TD} * (0.0963 + 3.88 / (M^2 - 1)) \\ \text{tr} &= \text{TD} * (3.88 / (1 - M^2)) \end{aligned}$$

**U.S. Short-Time Inverse Curve: U5**

$$\begin{aligned} \text{tp} &= \text{TD} * (0.00262 + 0.00342 / (M^{0.02} - 1)) \\ \text{tr} &= \text{TD} * (0.323 / (1 - M^2)) \end{aligned}$$

**I.E.C. Class A Curve (Standard Inverse): C1**

$$\begin{aligned} \text{tp} &= \text{TD} * (0.14 / (M^{0.02} - 1)) \\ \text{tr} &= \text{TD} * (13.5 / (1 - M^2)) \end{aligned}$$

**I.E.C. Class C Curve (Extremely Inverse): C3**

$$\begin{aligned} \text{tp} &= \text{TD} * (80.0 / (M^2 - 1)) \\ \text{tr} &= \text{TD} * (80.0 / (1 - M^2)) \end{aligned}$$

**I.E.C. Short-Time Inverse Curve: C5**

$$\begin{aligned} \text{tp} &= \text{TD} * (0.05 / (M^{0.04} - 1)) \\ \text{tr} &= \text{TD} * (4.85 / (1 - M^2)) \end{aligned}$$

**U.S. Inverse Curve: U2**

$$\begin{aligned} \text{tp} &= \text{TD} * (0.180 + 5.95 / (M^2 - 1)) \\ \text{tr} &= \text{TD} * (5.95 / (1 - M^2)) \end{aligned}$$

**U.S. Extremely Inverse Curve: U4**

$$\begin{aligned} \text{tp} &= \text{TD} * (0.0352 + 5.67 / (M^2 - 1)) \\ \text{tr} &= \text{TD} * (5.67 / (1 - M^2)) \end{aligned}$$

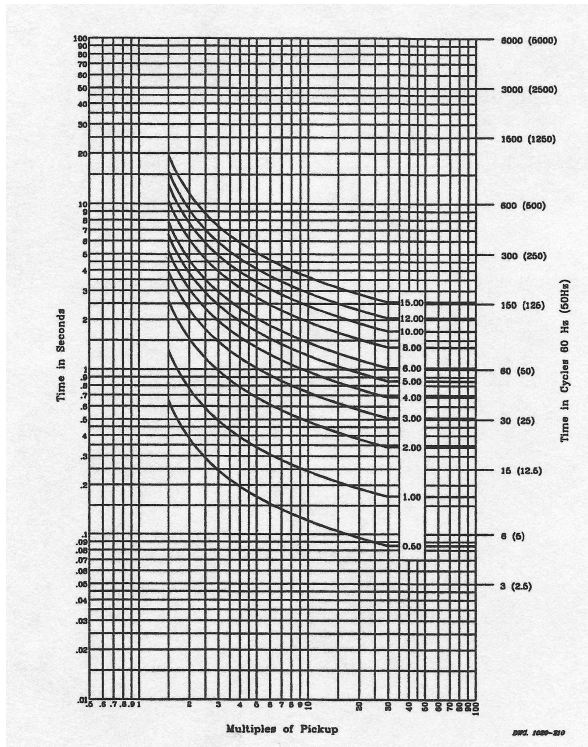
**I.E.C. Class B Curve (Very Inverse): C2)**

$$\begin{aligned} \text{tp} &= \text{TD} * (13.5 / (M - 1)) \\ \text{tr} &= \text{TD} * (47.3 / (1 - M^2)) \end{aligned}$$

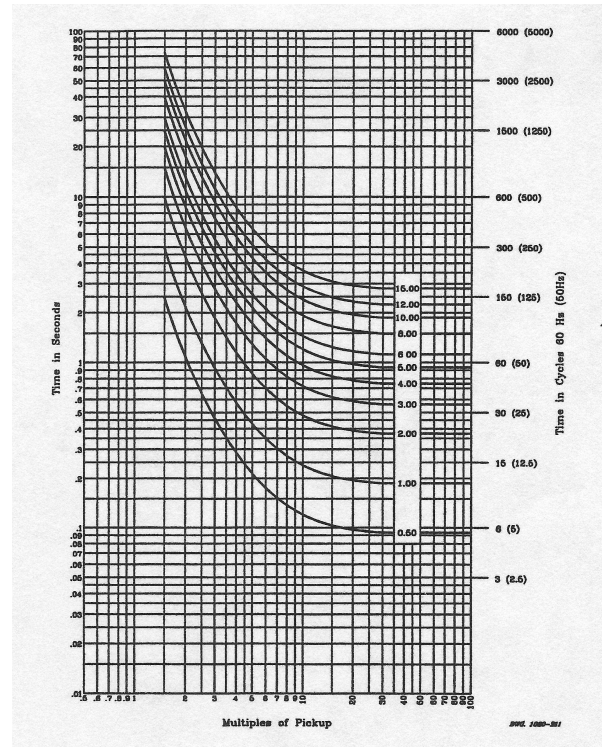
**I.E.C. Long-Time Inverse Curve: C4**

$$\begin{aligned} \text{tp} &= \text{TD} * (120.0 / (M - 1)) \\ \text{tr} &= \text{TD} * (120.0 / (1 - M)) \end{aligned}$$

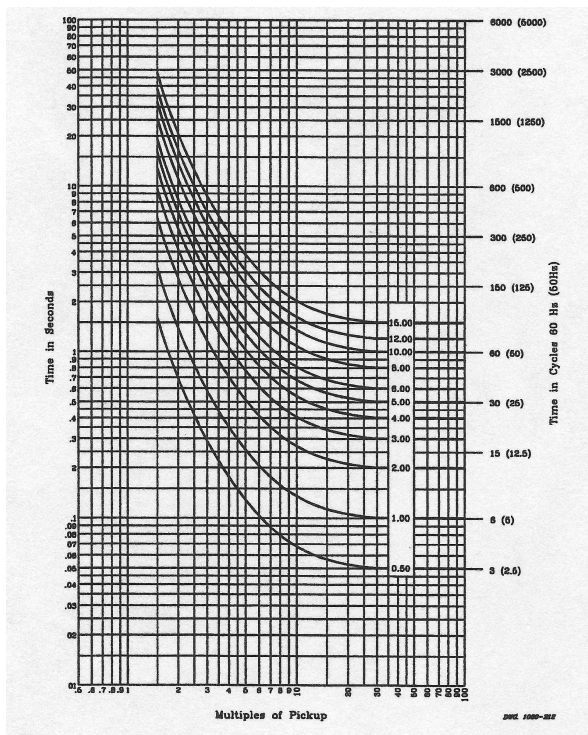
Figura 24: Fórmulas para obtenção do tempo de atuação [3].



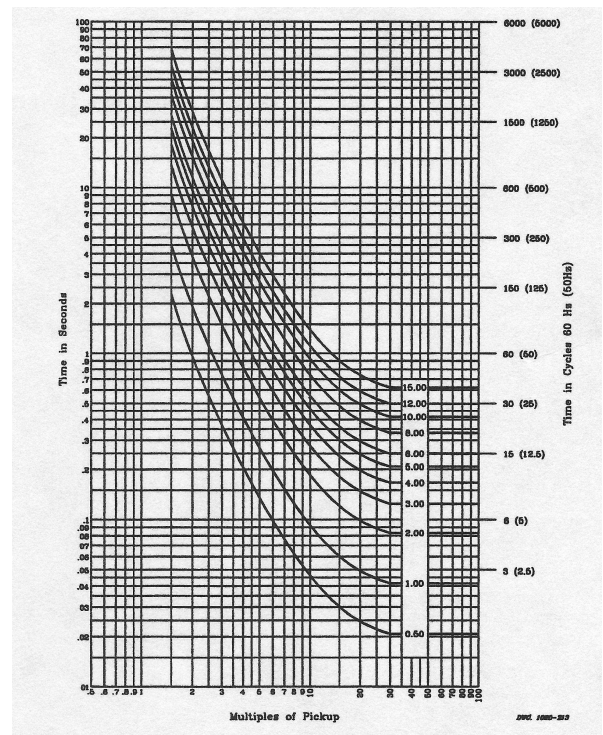
(a) Curva moderadamente inversa : U1.



(b) Curva inversa : U2.



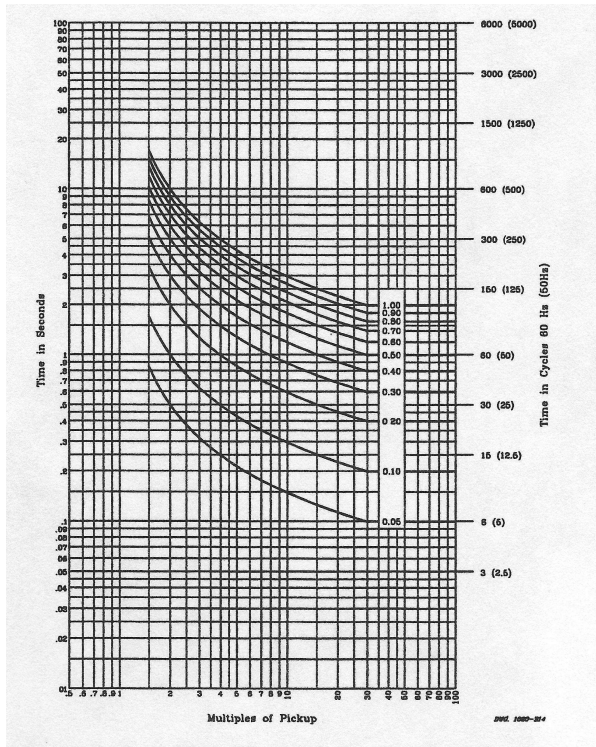
(c) Curva muito inversa : U3.



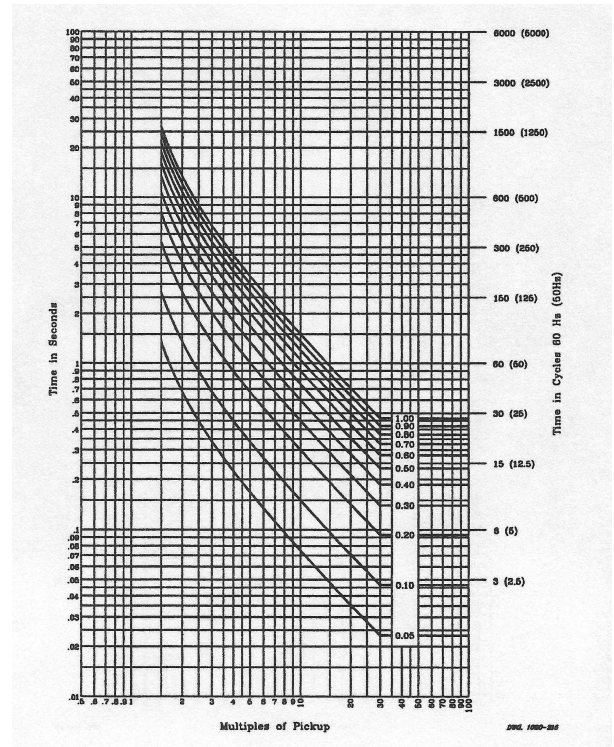
(d) Curva extremamente inversa : U4.

Figura 25: Curvas da U.S. [3].

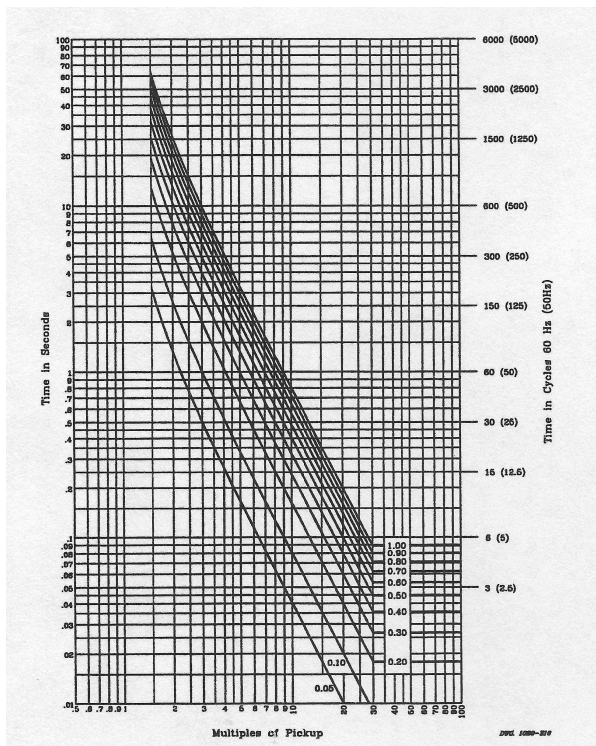




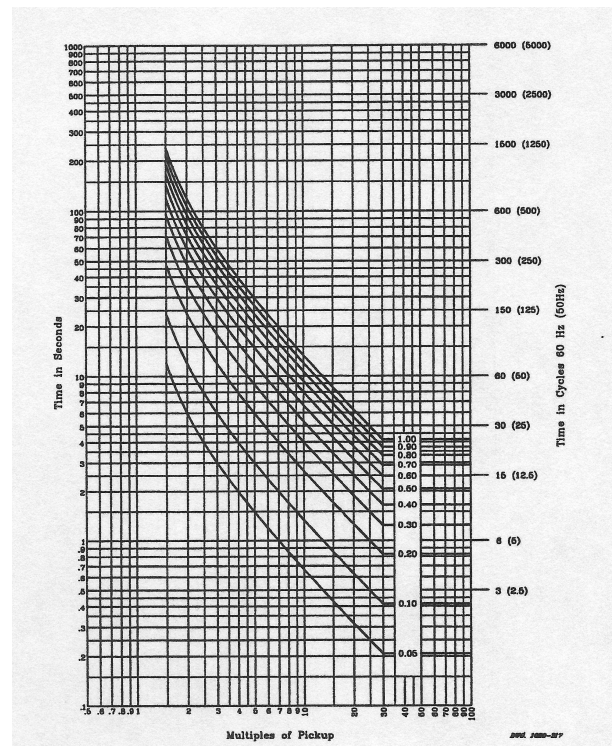
(a) Curva normalmente inversa : C1.



(b) Curva muito inversa : C2.



(c) Curva extremamente inversa : C3.



(d) Curva inversa de longo tempo : C4.

Figura 26: Curvas da I.E.C. [3].

### 5.2.2 Elementos de Sobrecorrente Temporizada de Neutro e Residual

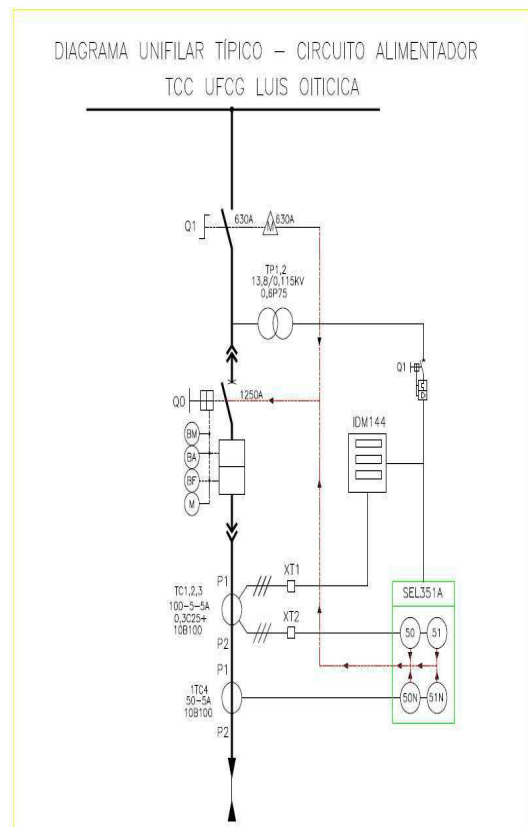
Possuem exatamente a mesma lógica de configuração dos elementos de sobrecorrente temporizada de fase, alterando apenas as palavras de ajuste de  $51PP$  para  $51NP$  e  $51GP$ . Temos que definir o tipo de curva, assim como o fator multiplicativo das curvas ( $TD$ ). A fórmula para o tempo de atuação  $tp$  é a mesma já apresentada anteriormente.

## 6 Simulação do Funcionamento do Relé Digital SEL-351A Utilizando a Ferramenta Acelarator Quickset

A ferramenta acelarator quickset é um software que processa toda a lógica de comparação entre os valores medidos e os valores ajustados. Na simulação, simula-se um comando de TRIP para abertura de um disjuntor. Ressaltando que o relé tem que estar associado a um circuito de proteção, mandando os comandos para as bobinas de fechamento, de abertura e de mínima tensão do disjuntor, pois sozinho não tem a mínima função.



(a) Alimentador.

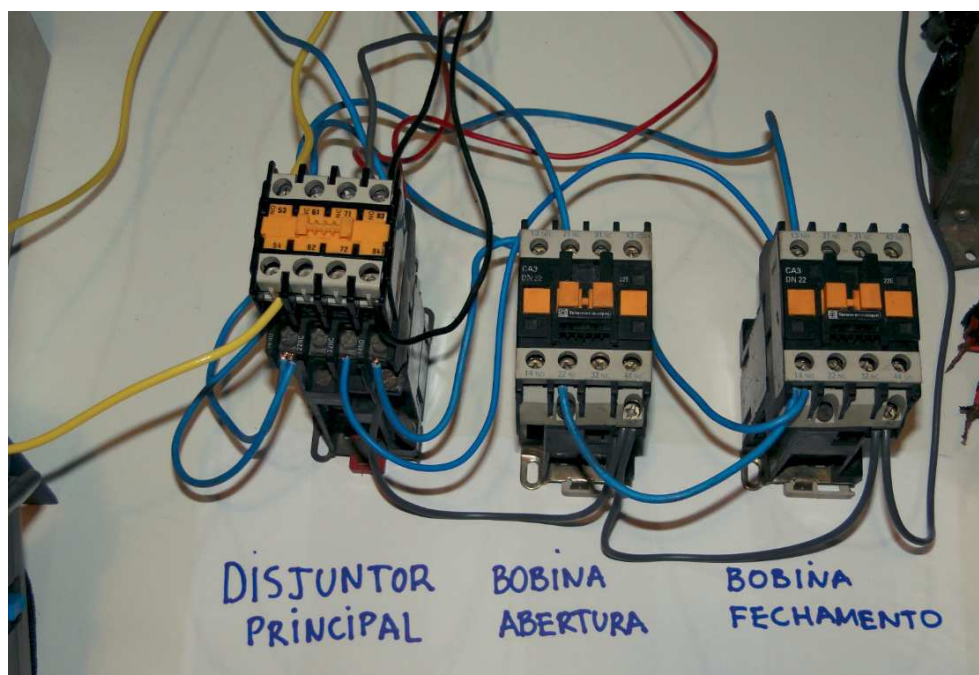


(b) Diagrama unifilar típico - Circuito alimentador.

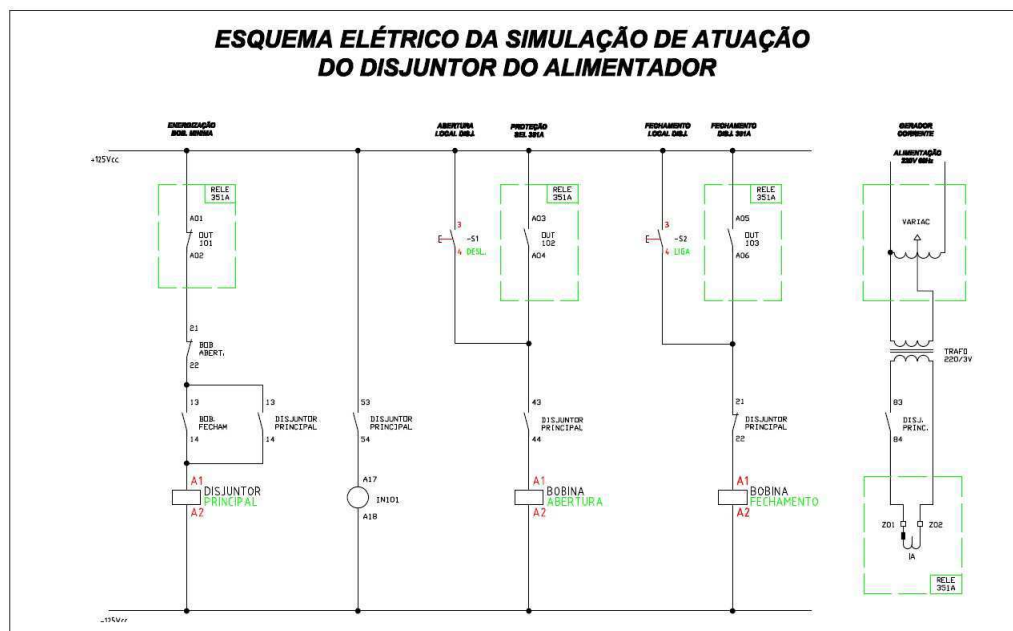
Figura 27: Alimentadores e diagrama unifilar.

## 6 Simulação do Funcionamento do Relé Digital SEL-351A Utilizando a Ferramenta AcseLarator Quickset41

Na simulação, como não tivemos acesso a um disjuntor, simulamos as bobinas do disjuntor como sendo 3 contactores (bobina do disjuntor principal, bobina de fechamento e bobina de abertura).



(a) Bobinas dos contactores simulando um disjuntor..



(b) Simulação do disjuntor através de 3 contactores.

Figura 28: Simulação de um disjuntor.

## 6.1 Simulação

Considerando uma carga de  $1000kVA$  e uma tensão de  $13,8KV$  temos :

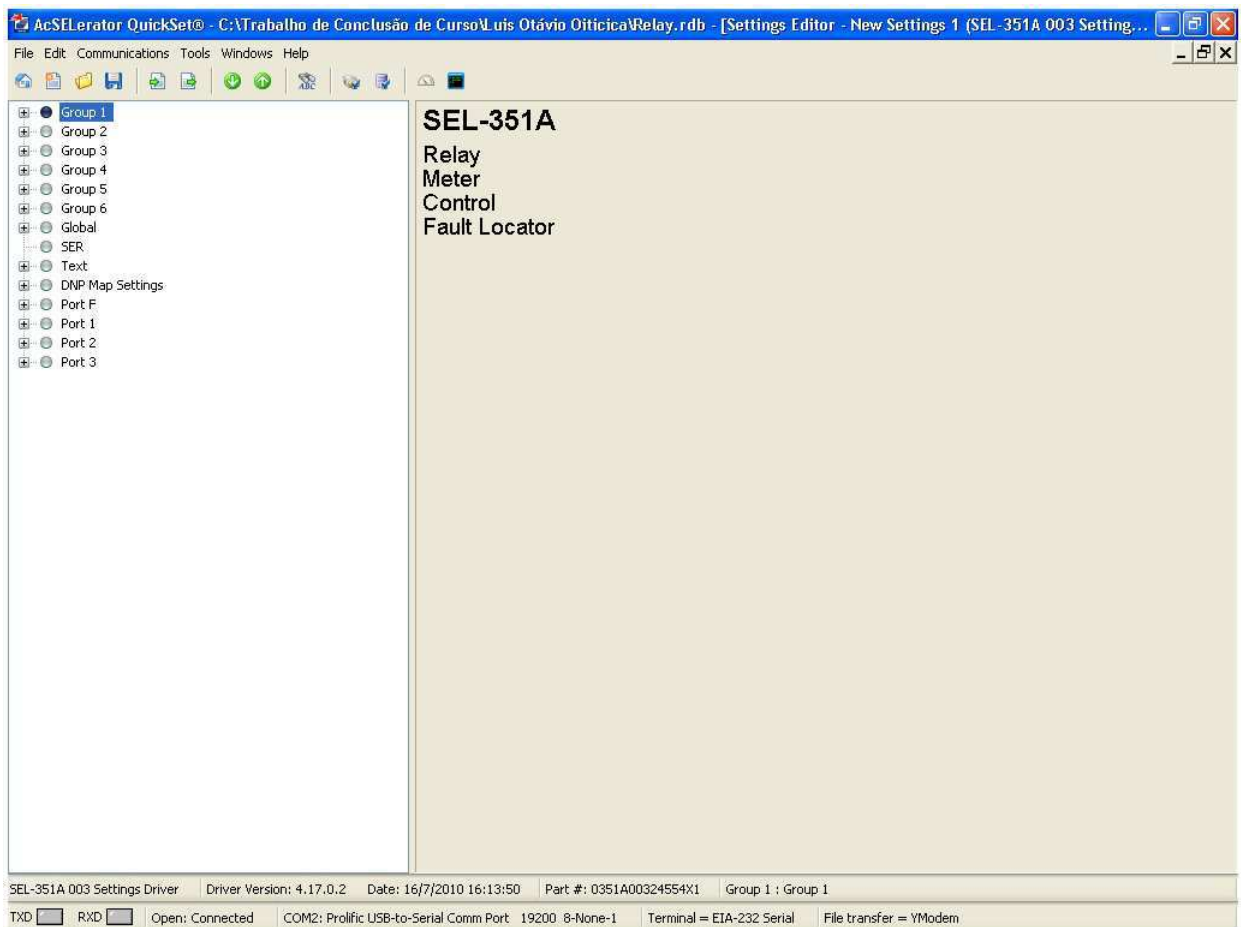


Figura 29: Interface do acselarator quickset.

Na simulação utiliza-se apenas 1 grupo dos 6 permitidos pois todos são exatamente iguais. A divisão do grupo 1 é mostrada na Fig.30.

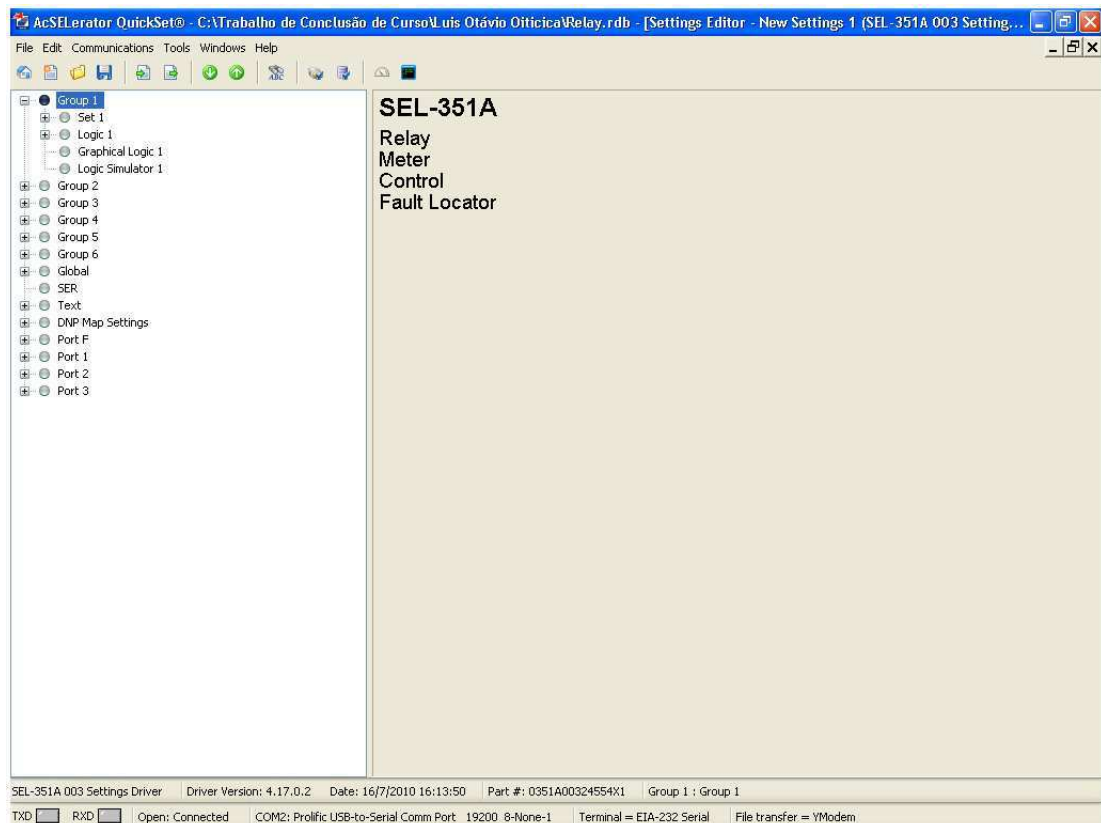


Figura 30: Divisão do grupo 1 .

No Set 1 faz-se os ajustes de todas as funções que o relé irá utilizar. Nessa simulação ajusta-se as configurações gerais do relé (relação de transformação do TC e TP), as funções de sobrecorrente instantânea (50) e de sobrecorrente temporizada (51). Nas configurações gerais ajusta-se a relação do TC das fases e do neutro para 20, e do TP para 120.

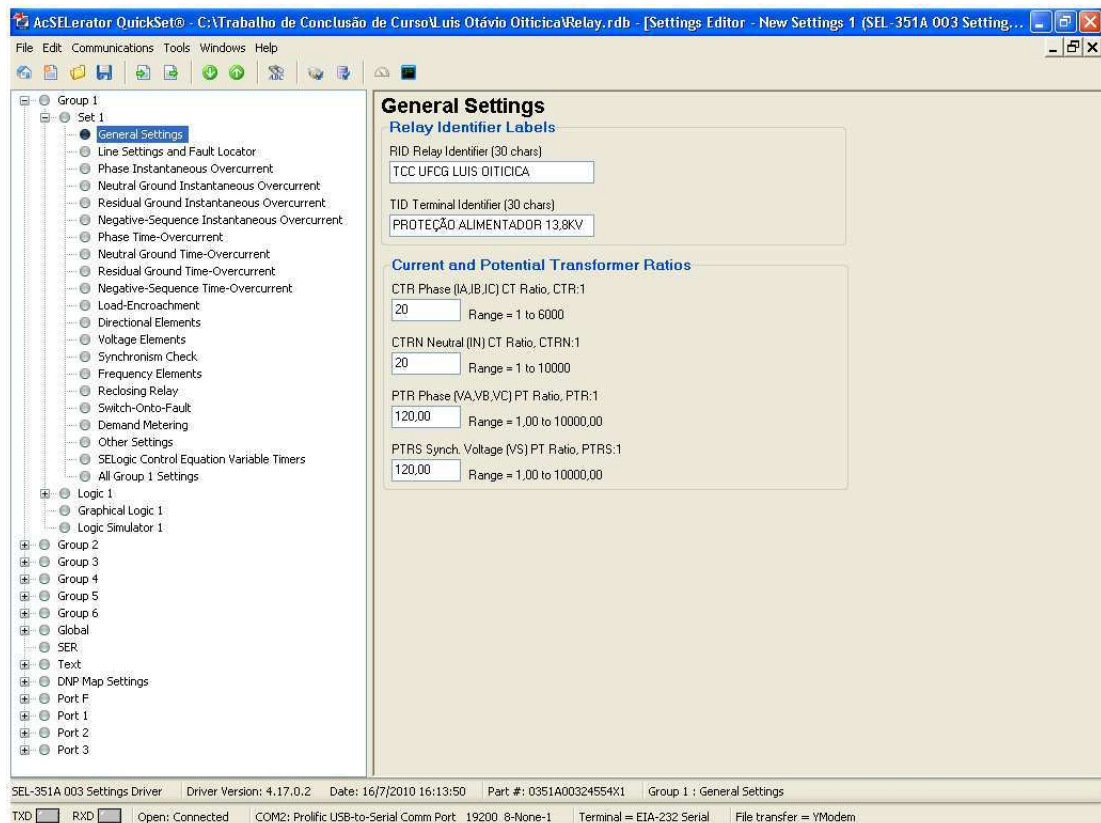


Figura 31: Configurações gerais do acselarator quickset.

Na função de sobrecorrente instantânea de fase ajusta-se o pickup de 2 fases para uma maior confiabilidade, assim como o elemento de sobrecorrente de tempo definido associado aos 2 pickups. Na função de sobrecorrente instantânea de neutro e de residual ajusta-se 1 pickup para cada função e para seus tempos.

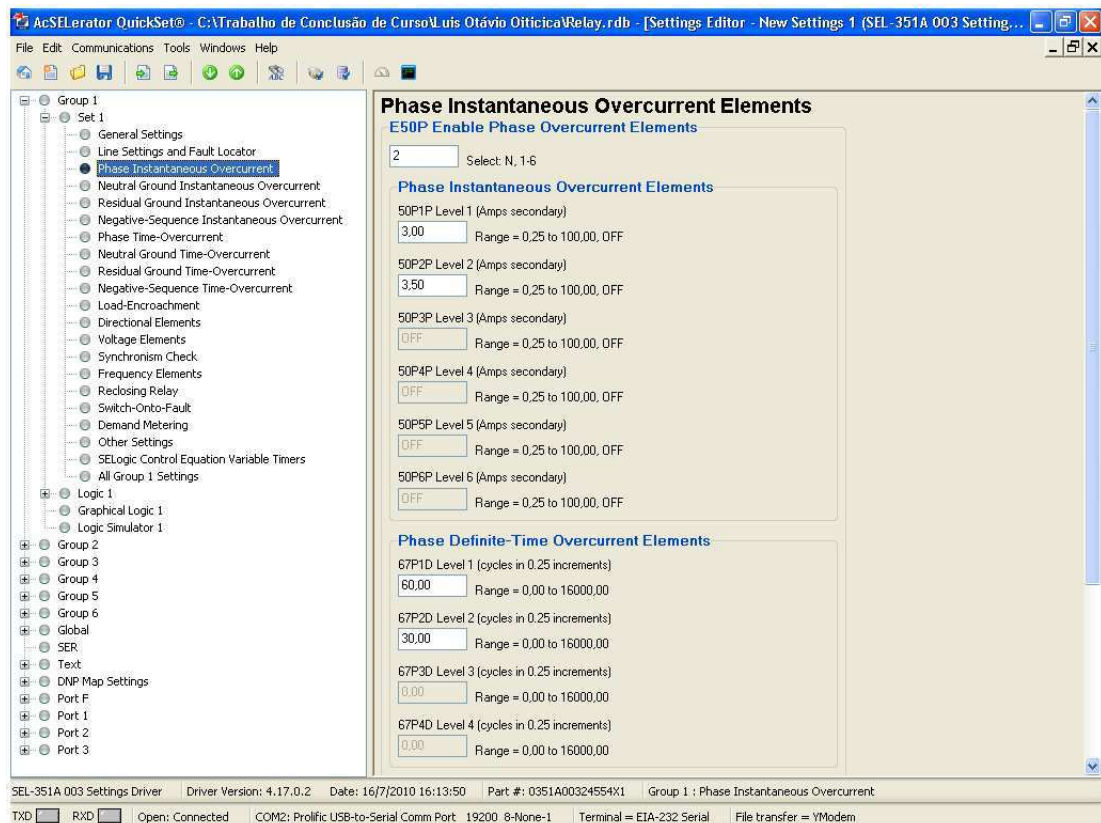


Figura 32: Corrente de pickup de 2 fases e seus respectivos tempos da função de sobre-corrente instantânea.



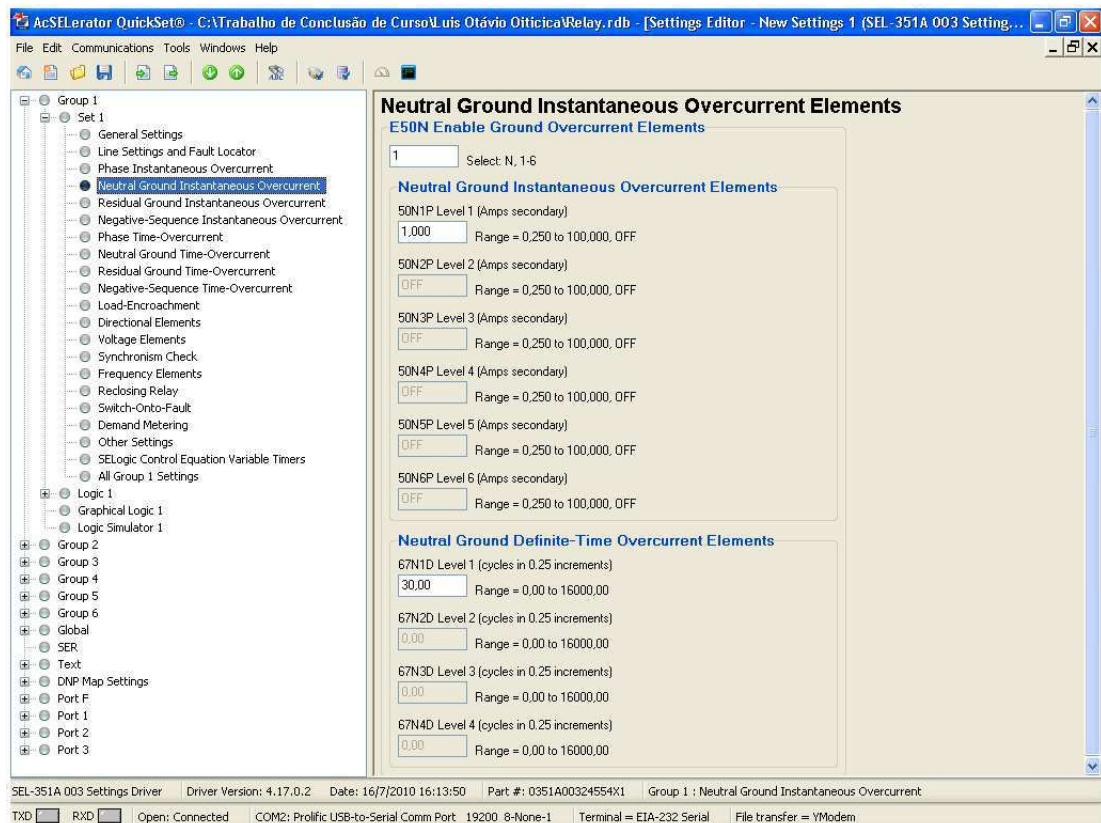


Figura 33: Corrente de pickup de neutro e seu tempo da função de sobrecorrente instantânea.

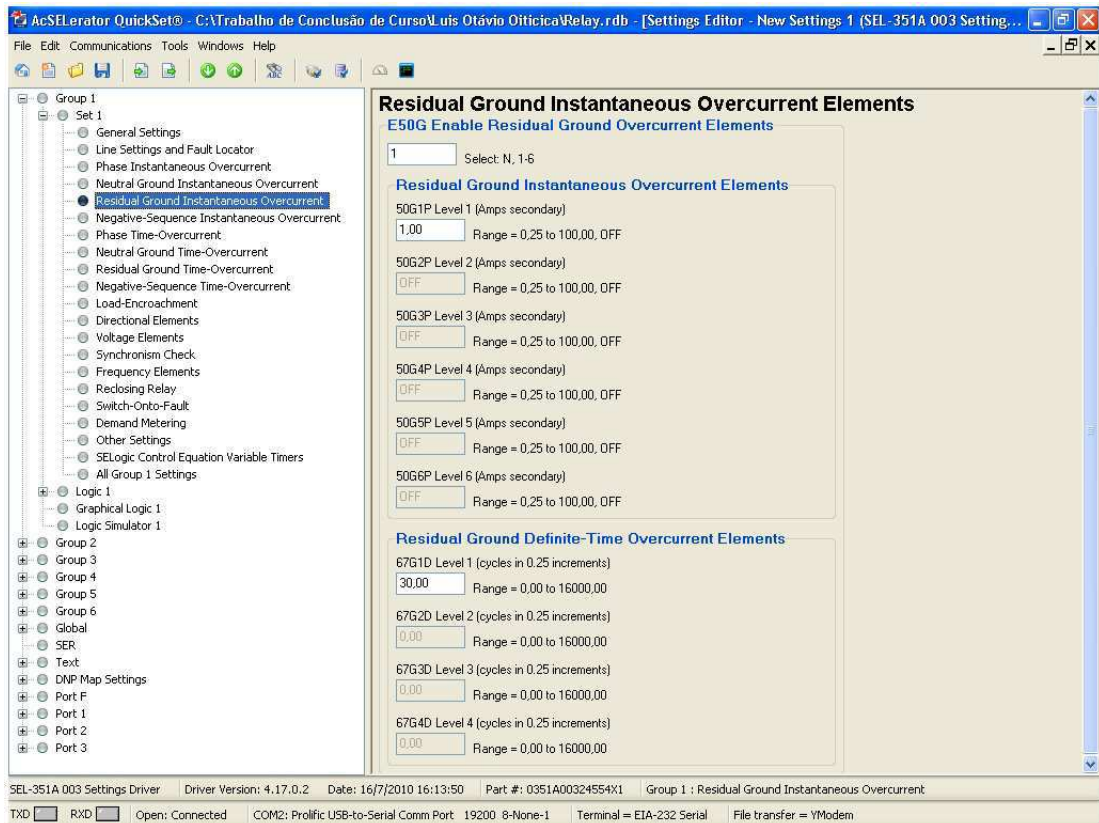


Figura 34: Corrente de pickup residual e seu respectivo tempo da função de sobrecorrente instantânea.

Depois de configurada a função de sobrecorrente instantânea, configura-se a função de sobrecorrente temporizada. Ajusta-se a corrente de pickup de fase para 2,50 pois a corrente nominal da carga no secundário é de 2,09A. A curva  $C1$  (normalmente inversa) foi a escolhida e o fator multiplicativo ( $TD$ ) foi 0,1. Faz-se exatamente a mesma abordagem para o ajuste da função de sobrecorrente temporizada de neutro e residual.

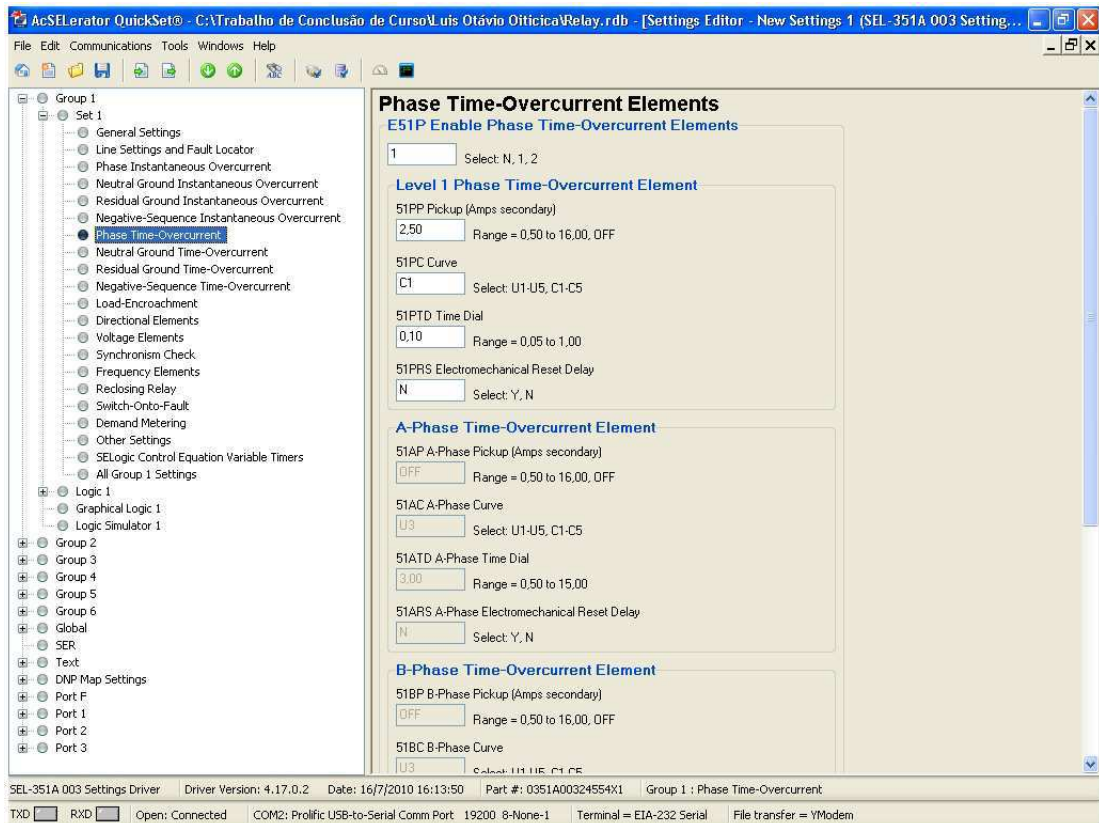


Figura 35: Corrente de pickup de fase da função de sobrecorrente temporizada.

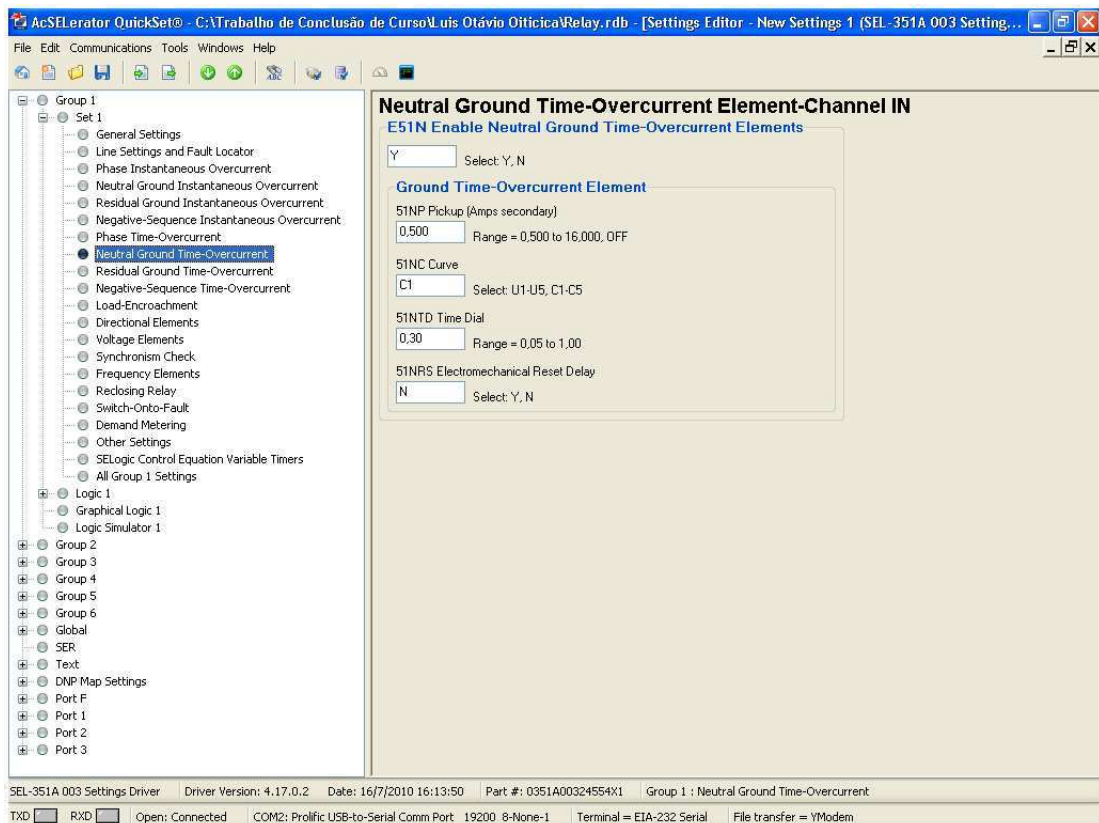


Figura 36: Corrente de pickup de neutro da função de sobrecorrente temporizada.

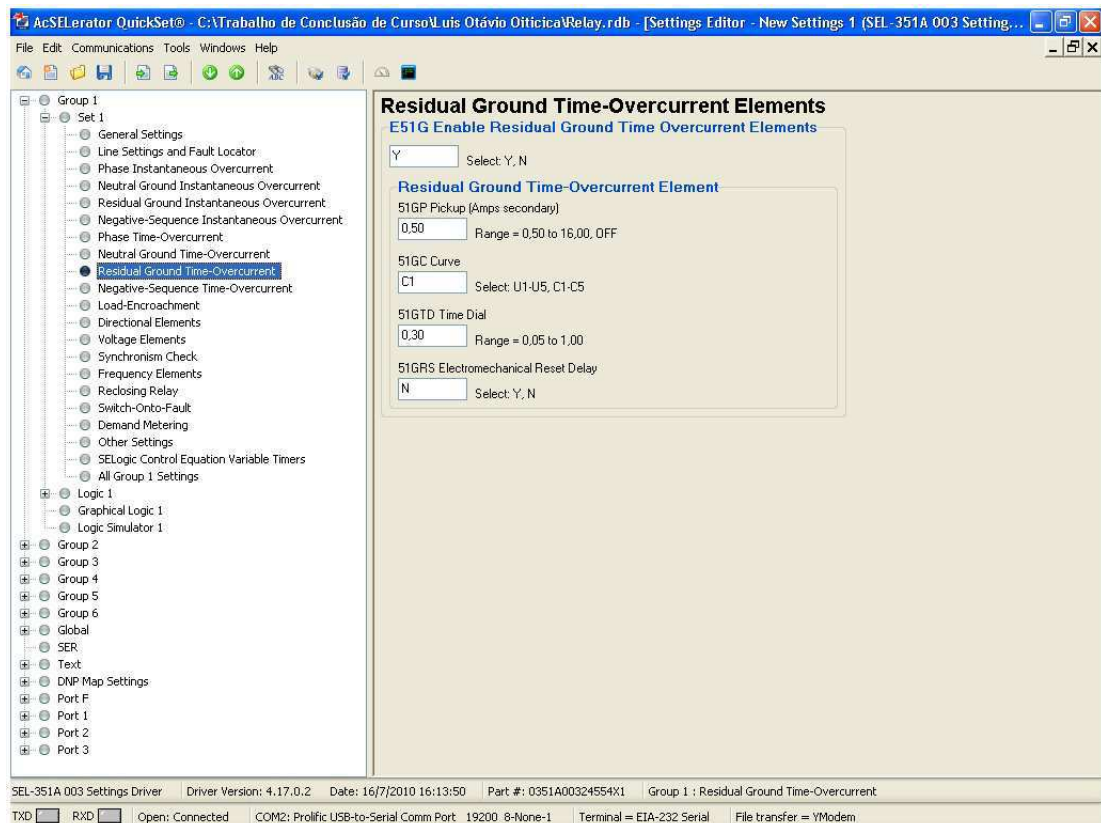


Figura 37: Corrente de pickup residual da função de sobrecorrente temporizada.

Depois da configuração do Set 1, ajusta-se a configuração da lógica de trip (trip logic) da Logic 1, escrevendo as palavras que irão ser utilizada para a condição de TRIP. Em seguida faz-se o ajuste dos contatos de saída (output contacts) que irá para as bobinas do disjuntor. Ajustamos para o relé atuar abrindo os contatos do disjuntor com as seguintes palavras :  $67P1T$  ,  $67P2T$  ,  $67N1T$  ,  $67G1T$  ,  $51PT$  ,  $51NT$  e  $51GT$  .

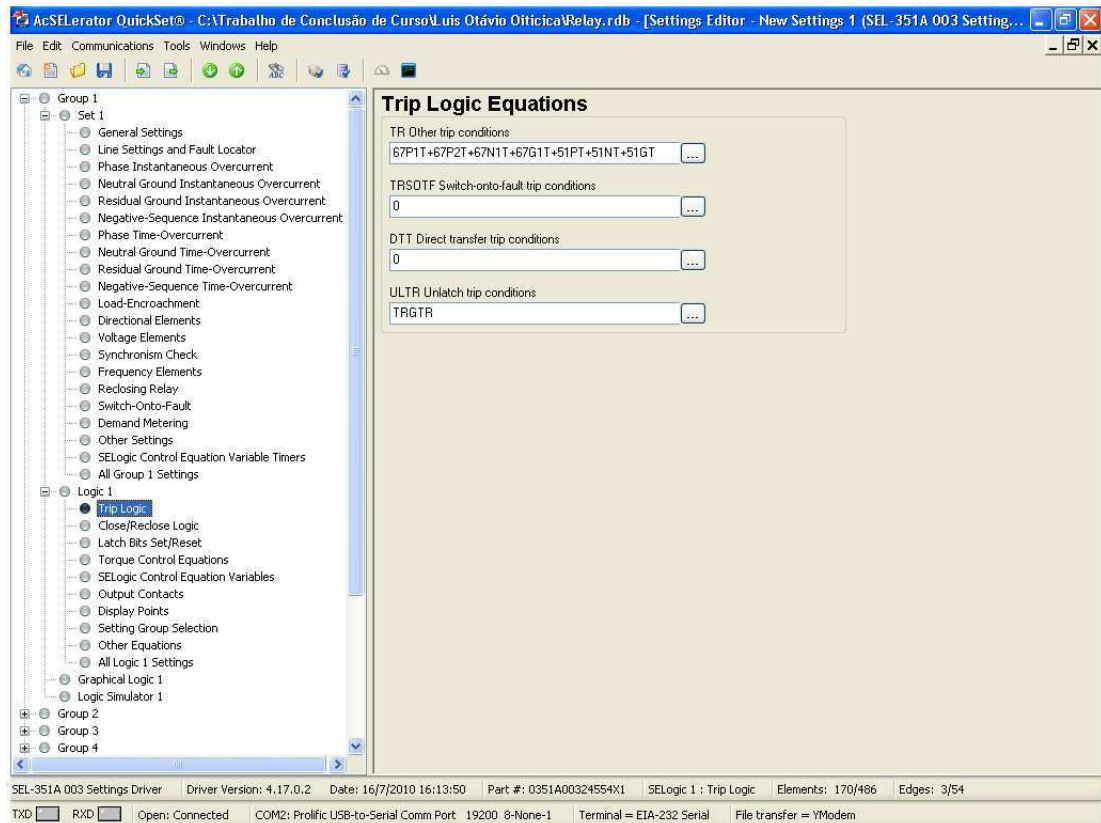


Figura 38: Configuração da lógica de trip do logic 1.

## 6.2 Resultados Obtidos

Através do acelerador quickset podemos analisar o que ocorreu com as palavras que ajustamos na simulação e observar quais palavras foram ativadas e quais palavras foram responsáveis pela abertura do disjuntor. O relé SEL-351A possui um relatório de eventos (Fig.39 que constam as palavras que foram ativadas e desativadas em um instante de tempo.

AcSElerator QuickSet@ - C:\Trabalho de Conclusão de Curso\Luís Otávio Oiticica\Relay.rdb - [Device ID: PROTEÇÃO ALIMENTADOR 13,8KV (SEL-351A...

File Edit Communications Tools Windows Help

Device Overview  
Phasors  
Instantaneous  
Demand/Peak  
Min/Max  
Energy  
Targets  
Status  
SER  
Breaker Monitor Data  
Control Window

**SER**

TCC UFCG LUIS OITICICA Date: 07/19/11 Time: 01:26:26.303  
PROTEÇÃO ALIMENTADOR 13,8KV

FID=SEL-351A-R104-V0-Z003003-D20010307 CID=97FB

#	Date	Time	Element	State
8	07/19/11	01:12:32.629	50P1	Asserted
7	07/19/11	01:12:32.659	50P2	Asserted
6	07/19/11	01:12:32.971	50P2	Deasserted
5	07/19/11	01:12:33.000	50P1	Deasserted
4	07/19/11	01:12:47.902	50P1	Asserted
3	07/19/11	01:12:48.902	67P1T	Asserted
2	07/19/11	01:12:48.927	50P1	Deasserted
1	07/19/11	01:12:48.927	67P1T	Deasserted

SER 30 TO Update SER

SEL-351A 003 HMI Driver Driver Version: 4.17.0.2 Driver Date: 16/7/2010 16:13:54 Configuration: Default 1  
TXD RXD Open: Connected COM1: Prolific USB-to-Serial Comm Port 19200 8-None-1 Terminal = EIA-232 Serial File transfer = YModem

Figura 39: Relatório de eventos.

Variamos a corrente bruscamente fazendo com que as palavras  $50P1$  e  $50P2$  ficassem ativas por um tempo mas diminuimos rapidamente essa corrente para que as palavras  $67P1T$  e  $67P2T$  não ficassem ativas. Podemos observar que através desse relatório que as palavras do relé  $50P1$  e  $50P2$  foram ativadas por 1 vez, porém as palavras não ficaram ativas pelo tempo que ajustamos ( $67P1S$  e  $67P2D$ ) fazendo com que não ocorresse a abertura do disjuntor pois o mesmo estava configurado para atuar somente se as palavras  $67P1T$ ,  $67P2T$ ,  $67N1T$ ,  $67G1T$ ,  $51PT$ ,  $51NT$  e  $51GT$  estivessem em nível lógico 1.

Na segunda vez que variamos a corrente, observamos que a palavra  $50P1$  foi ativada e permaneceu ativa pelo tempo que ajustamos na simulação fazendo com que a palavra

67P1T ficasse em nível lógico 1 fazendo com que o disjuntor saísse de operação.

A partir da oscilografia da Fig.osc podemos observar o momento que ocorreu a sobrecorrente temporizada do level 1, assim como a palavra 67P1T, o momento exato da abertura do disjuntor e a corrente  $I_a$  tendendo a 0.

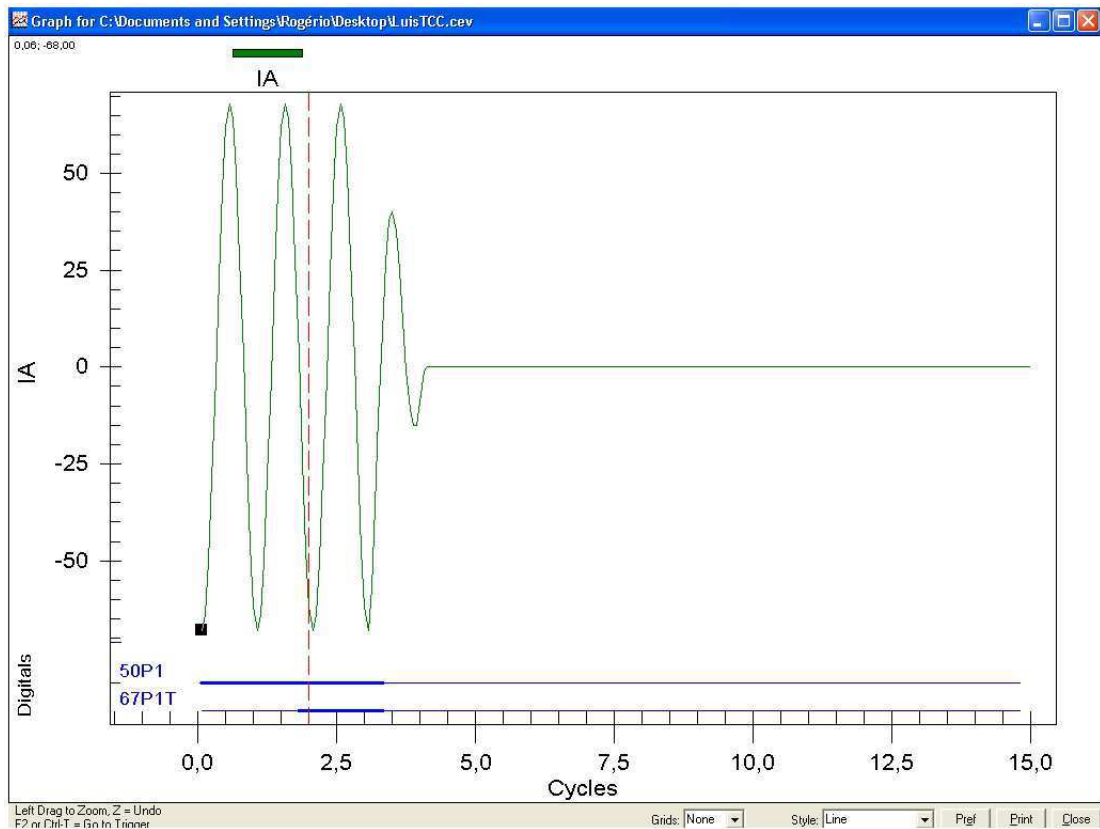


Figura 40: Oscilografia.

## 7 Conclusão

O presente trabalho apresentou resultados bastante significativos para a proteção dos sistemas elétricos. Os resultados foram bastante satisfatórios e com eles foi possível verificar o comportamento da corrente atuando na abertura da bobina do disjuntor, assim como o comportamento das grandezas na qual ajustamos.

Com os resultados obtidos, podemos concluir que o relé é um equipamento indispensável na proteção dos sistemas elétricos tendo em vista que o mesmo tem que estar associado ao disjuntor pois sozinho não tem a menor função. Vale salientar que os ajustes do relé assim como seus contatos de entrada e saídas tem de estar corretamente ligado ao equipamento que irá atuar.

Existem vários relés eletromecânicos ainda em operação, porém os relés digitais tendem a ocupar o espaço desses relés pois possuem múltiplas funções além de poderem ser comandados a distância, possuem oscilografia entre outras qualidades.

Podemos verificar que os relés digitais são bastante simples de se programar, possuem uma longa vida útil e é de fundamental importância nos sistemas elétricos pois operam na retirada rapidamente dos equipamentos defeituosos dando uma maior confiabilidade para o sistema.



## Referências Bibliográficas

- [1] CHAGAS. *Apostila da disciplina de proteção de sistemas elétricos*. [S.l.: s.n.].
- [2] KINDERMANN, G. *Proteção de sistemas elétricos de potência*. 2. ed. [S.l.]: LabPlan, 2005.
- [3] SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES. *SEL-351A instruction manual*. [S.l.].
- [4] CAMINHA, A. *Aplicações à proteção dos sistemas elétricos*. 1. ed. São Paulo: Edgar Blucher Ltda, 1977.
- [5] ARAUJO, C. A. *Proteção de sistemas elétricos*. 2. ed. [S.l.: s.n.].