

SIMULADOR DE COORDENAÇÃO DE DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO

Danielle Pereira da Silva e Gabriel Taranto Pereira Magrina Ferres

SIMULADOR DE COORDENAÇÃO DE DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO

**Estudante: Danielle Pereira da Silva
e Gabriel Taranto Pereira
Magrina Ferreres**

Orientador: Delberis Araujo Lima

Trabalho apresentado como requisito parcial à conclusão do curso de Engenharia Elétrica na Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

Agradecimentos

Agradecemos aos nossos familiares que nos apoiaram até aqui e que foram a nossa fonte de inspiração. Somos gratos aos colegas de universidade que lutaram junto conosco todos os dias. Aos nossos mestres que acompanharam toda a nossa trajetória dentro do curso de Engenharia Elétrica. Ao nosso orientador, professor Delberis, que foi incansável em suas orientações, pesquisas e revisões. Nosso muito obrigado à PUC-Rio por nos proporcionar o melhor ambiente educacional. Agradecemos a Deus que nos deu força e nos permitiu realizar esse sonho.

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo principal facilitar a visualização da coordenação de dispositivos de proteção tais como elos-fusíveis, relés, religadores e seccionadoras em sistemas de distribuição. O uso do simulador permite uma rápida conclusão da coordenação dos dispositivos, evitando cálculos extensos e possíveis erros de cálculos. Esta ferramenta é muito útil para um estudo de proteção de qualquer rede de distribuição.

Palavras-chave: Proteção, Coordenação, Distribuição, Elo-fusível

COORDINATION SIMULATOR FOR PROTECTION DEVICES IN DISTRIBUTION SYSTEMS

Abstract

The main objective of this work is to facilitate the visualization of the coordination of protection devices such as fuse links, relays, reclosers and sectionalizers in distribution systems. The use of the simulator allows a quick conclusion of the coordination of the devices, avoiding extensive calculations and possible calculation errors. This tool is very useful for a study of the protection of any distribution network.

Keywords: Protection, Coordination, Distribution, Fuse-link

Sumário

1	Introdução	1
a	Considerações Iniciais	1
b	Motivação	1
c	Objetivos	1
d	Organização do trabalho	1
2	Dispositivos de Proteção	3
a	Chaves-fusíveis e Elos-fusíveis	3
1	Elos Tipo H	5
2	Elos Tipo T	6
3	Elos Tipo K	8
b	Relés	10
1	Relé de Sobrecorrente Instantâneo (função 50)	12
2	Relé de Sobrecorrente Temporizado (função 51)	13
c	Religador	13
d	Seccionalizadora	14
3	Filosofia de Proteção	16
4	Metodologia para Coordenação em Sistemas de Distribuição	17
5	Simulador	18
a	Construção do Simulador	18
6	Resultados	20
7	Conclusão e trabalhos futuros	25
A	Apêndice	26
a	Código completo no MATLAB do Simulador de Coordenação de Dispositivos de Proteção em Sistemas de Distribuição	26
b	Manual do Simulador para coordenação de dispositivos de proteção em sistemas de distribuição	32

Lista de Figuras

1	Elos Fusíveis tipo H - Curvas Características de Fusão Tempo x Corrente	5
2	Elos Fusíveis tipo T do Grupo A - Curvas Características de Fusão Tempo x Corrente	6
3	Elos Fusíveis tipo T do Grupo B - Curvas Características de Fusão Tempo x Corrente	7
4	Elos Fusíveis tipo K do Grupo A- Curvas Características de Fusão Tempo x Corrente	8
5	Elos Fusíveis tipo K do Grupo B - Curvas Características de Fusão Tempo x Corrente	9
6	Curva de tempo dependente do relé.	10
7	Curva de tempo definido do relé.	10
8	Esquema de ligação do relé.	11
9	Coordenação elo-fusível e relé para unidade 50 no simulador.	12
10	Coordenação elo-fusível e relé para unidade 51 no simulador.	13
11	Atuação do religador com duas funções instantâneas e uma temporizada.	14
12	Atuação do seccionizador em conjunto com um religador.	14
13	Atuação do seccionizador [1].	15
14	Sistema elétrico utilizado no simulador.	20
15	Dados dos elos-fusíveis, relés, religadores e seccionizadora.	21
16	Coordenação elo-fusível e religador para a corrente de neutro.	22
17	Coordenação do relé com os elos-fusíveis.	23
18	Sistema elétrico devidamente protegido.	24
19	Simulador funcionando.	32
20	Mensagem para o 2º passo.	33
21	Mensagem para o 3º passo.	33
22	Mensagem para o 4º passo.	33
23	Mensagem para o 5º passo.	33
24	Mensagem para o 6º passo.	34
25	Mensagem para o 7º passo.	34
26	Mensagem para o 8º passo.	34
27	Mensagem para o 9º passo.	34
28	Mensagem para o 10º passo.	35
29	Mensagem para o 11º passo.	35
30	Curvas dos elos-fusíveis e do dispositivo escolhido plotadas.	36

Lista de Tabelas

1	Chaves-fusíveis mais usadas no Brasil.	3
---	--	---

1 Introdução

a Considerações Iniciais

Com o objetivo de atender as adversidades de sistemas de distribuição de energia elétrica com maior confiabilidade, existe a necessidade primordial de investimento em dispositivos de proteção dos sistemas elétricos por parte das distribuidoras.

Os sistemas de energia elétrica não são imunes às falhas, assim surge a necessidade da implementação de um sistema de proteção elétrico com finalidade de isolar a área onde tenha ocorrido a falha, garantindo o funcionamento do restante do sistema elétrico de distribuição. Os defeitos que ocorrem no sistema de distribuição provêm de causas naturais, falhas humanas ou falhas de equipamentos.

Na maioria das vezes, as consequências das faltas geram quantidades significativas de energia dispersa, defeitos em equipamentos da rede, danos aos consumidores, risco à vida e danos financeiros às distribuidoras de energia elétrica.

Desta forma, é importante que o sistema de proteção ofereça segurança à rede, confiabilidade, rapidez, sensibilidade e seletividade.

b Motivação

Para que a finalidade de um sistema de proteção elétrico na rede de distribuição seja cumprido, é importante que seus dispositivos estejam coordenados, o que garante a seletividade e confiabilidade do sistema.

Diante disto, este trabalho terá como foco principal a elaboração de um simulador que coordene esses dispositivos de proteção, com foco na coordenação dos fusíveis com relés de sobrecorrente, religadores e seccionadoras.

Este simulador poderá facilitar a escolha dos dispositivos no estudo de proteção de uma rede de distribuição de interesse.

c Objetivos

O objetivo deste trabalho é desenvolver um programa computacional utilizando o MATLAB para o estabelecimento de coordenação entre dispositivos de proteção, sendo eles os fusíveis e relés de função 50 e 51, religadores e seccionadoras.

d Organização do trabalho

Este trabalho está organizado em 7 (sete) capítulos, incluindo a introdução. O Capítulo 1 apresenta a introdução ao tema do trabalho, dissertando sobre a importância, contendo a motivação para o trabalho, os objetivos e a organização do trabalho.

O Capítulo 2 apresenta uma breve introdução aos sistemas elétricos de proteção, bem como aos dispositivos que serão alvo de estudo neste trabalho, além de explicar os princípios de coordenação e de seletividade.

O Capítulo 3 mostra um pouco da filosofia da Proteção de Sistemas Elétricos, apresentando como devemos interpretar os resultados obtidos pelo simulador.

O Capítulo 4 descreve a metodologia proposta visando a implementação computacional de coordenação dos dispositivos de proteção.

O Capítulo 5 apresenta de forma detalhada o algoritmo do simulador em MATLAB.

O Capítulo 6 apresenta os resultados obtidos com a aplicação da metodologia proposta em um estudo de caso.

O Capítulo 7 mostra as principais conclusões relacionadas ao tema de estudo, assim como as considerações finais sobre os resultados obtidos.

O Capítulo A apresenta o Apêndice com o código completo do simulador em MATLAB e o manual do simulador.

2 Dispositivos de Proteção

a Chaves-fusíveis e Elos-fusíveis

Chave-fusível é um equipamento monofásico, constituído pelo elo-fusível (parte ativa da chave-fusível), cartucho (tubo de fibra isolante contendo o elo-fusível), isolador (porcelana ou resina epox) e base ou dispositivo de fixação destinado à proteção de sobrecorrentes de circuitos primários. Utilizado em redes aéreas de distribuição urbana e rural e em pequenas subestações de consumidor e de concessionária. Por seu baixo custo em relação aos outros dispositivos, é largamente utilizado e é comumente encontrada na proteção de ramos e alimentadores secundários.

Seu funcionamento consiste na interrupção da corrente de falta nas fases que foram afetadas quando a corrente que atravessa o elo-fusível ultrapassa o valor mínimo de operação, fundindo e interrompendo a corrente. Ao interromper a corrente, há uma criação de arco voltaico dentro da chave-fusível. Para a extinção do arco voltaico, ocorre uma liberação de gases desionizantes (CO₂, nitrogênio, etc.). Após a extinção do arco voltaico, ocorre uma pressão no tubo devido à liberação dos gases e uma desconexão do cartucho devido à pressão, que deve ser substituído com um novo elo-fusível por um técnico capacitado.

As chaves-fusíveis podem ser classificadas em dois tipos [2]:

- Chaves-fusíveis de Distribuição
 - Classe de Tensão (15 kV);
 - Nível Básico de Isolamento (NBI) para classe de 15 kV (95 ou 110 kV);
 - Tensões nominais no Brasil: 11,4 kV, 13,2 kV, 13,8 kV e 34,5 kV.
- Chaves-fusíveis de Força
 - Classe de Tensão (69 kV e 138 kV);
 - NBI 350 ou 650 kV;
 - Normalmente usadas em Subestações.

Tensão Nominal (kV)	NBI (kV)	Corrente		Observação
		Nominal (A)	De Interrupção Assimétrica (kA)	
15	95	50	1,2	*
15	95	100	2	*
15	95	100	4 ou 5	*
15	95	100	8 ou 10	*
15	110	200	4 ou 8	*
15	110	300	10	*

Tabela 1: Chaves-fusíveis mais usadas no Brasil.

O Dimensionamento das chaves-fusíveis é possível através da seguinte fórmula [1]:

$$I_n^{ch} \geq k \times I_c^{max} \quad (1)$$

Onde I_n^{ch} é a Corrente Nominal da chave, k é um fator de segurança calculado por:

$$k = (1 + a)^n \quad (2)$$

I_c^{max} é a corrente máxima no ponto de instalação, n é o número de anos do planejamento e a é a taxa de crescimento anual.

Outro critério mais comum de dimensionamento da chave-fusível pode ser expresso pela seguinte fórmula:

$$I_n^{ch} \geq k \times I_{ADM}^{FUS} \quad (3)$$

Onde I_n^{ch} é a Corrente Nominal da chave, k é um fator de segurança e I_{ADM}^{FUS} é a corrente admissível do fusível.

A corrente de interrupção da chave-fusível é determinada pela seguinte fórmula:

$$I_{int}^{ch} \geq maior(I_{curto}^{assim}) \quad (4)$$

Onde I_{int}^{ch} é a maior corrente que a chave é capaz de interromper sem sofrer danos à capacidade de interrupção e I_{curto}^{assim} é a maior corrente de curto assimétrico no ponto de instalação.

Os elos-fusíveis são os principais elementos das chaves-fusíveis e são classificados quanto a velocidade de atuação:

- Tipo K (rápido);
- Tipo T (lento);
- Tipo H (ação lenta para surtos de corrente, como corrente de magnetização de um transformador até 75 kVA).

Os elos-fusíveis também podem ser classificados quanto às correntes nominais:

- Preferenciais K e T: 1, 2, 5, 6, 10, 15, 25, 40, 65, 100, 140 e 200 A;
- Não-preferenciais K e T: 8, 12, 20, 30, 50 e 80 A;
- Tipo H: 1, 2, 3, 5 A.

Para melhor análise da ação dos elos fusíveis no tempo, se faz necessário o estudo de suas curvas, que relacionam corrente nominal dos elos com tempo de atuação. As curvas dos elos-fusíveis apresentam uma faixa de tolerância determinada pela corrente mínima (limite inferior), corrente máxima de fusão do dispositivo (limite superior) e extinção do arco voltaico em diferentes tempos de atuação [3]. Estas curvas podem ser obtidas com os fabricantes de elos-fusíveis. Para este trabalho, não consideraremos o tempo de extinção do arco voltaico por motivos de simplicidade.

1 Elos Tipo H

Os elos-fusíveis tipo H são elos de ação lenta desenvolvidos para aplicações específicas, com intuito de extinguir surtos de corrente. São comumente utilizados na proteção de transformadores de até 75 kVA. A Figura 1 apresenta as curvas de corrente nominal de 1, 2, 3 e 5A de atuação do elo-fusível tipo H para diferentes valores de curto circuito.

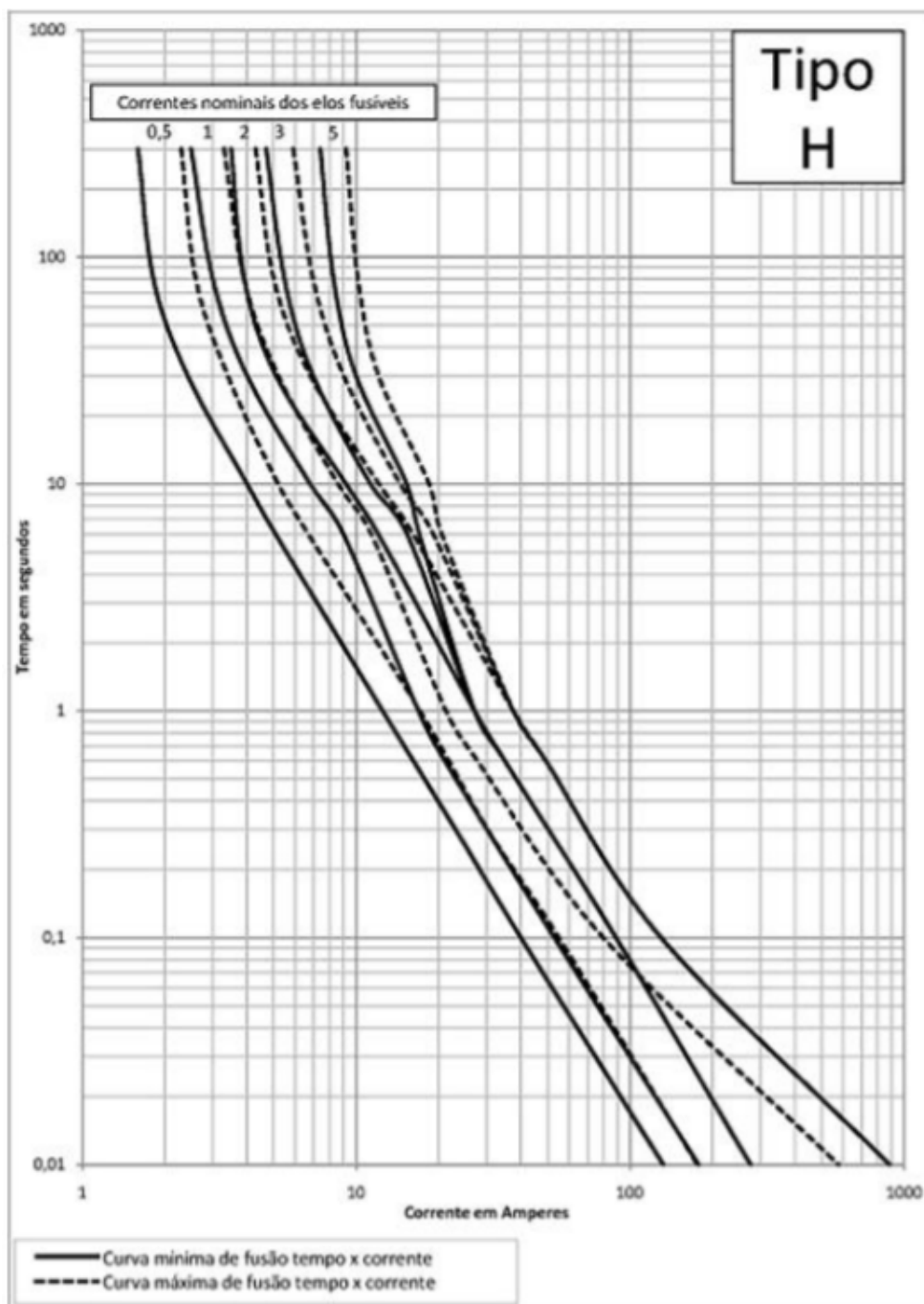


Figura 1: Elos Fusíveis tipo H - Curvas Características de Fusão Tempo x Corrente

2 Elos Tipo T

Os elos-fusíveis tipo T são elos de ação lenta para correntes de curto circuito. Eles podem ser classificados como preferenciais (também chamado Grupo A) e não-preferenciais (também chamado Grupo B), tendo cada classificação seus respectivos valores de corrente nominal.

A Figura 2 apresenta as curvas de atuação do elo-fusível tipo T preferenciais para diferentes valores de curto circuito, assim os tendo nos valores de corrente nominal de 1, 2, 5, 6, 10, 15, 25, 40, 65, 100, 140 e 200 A.

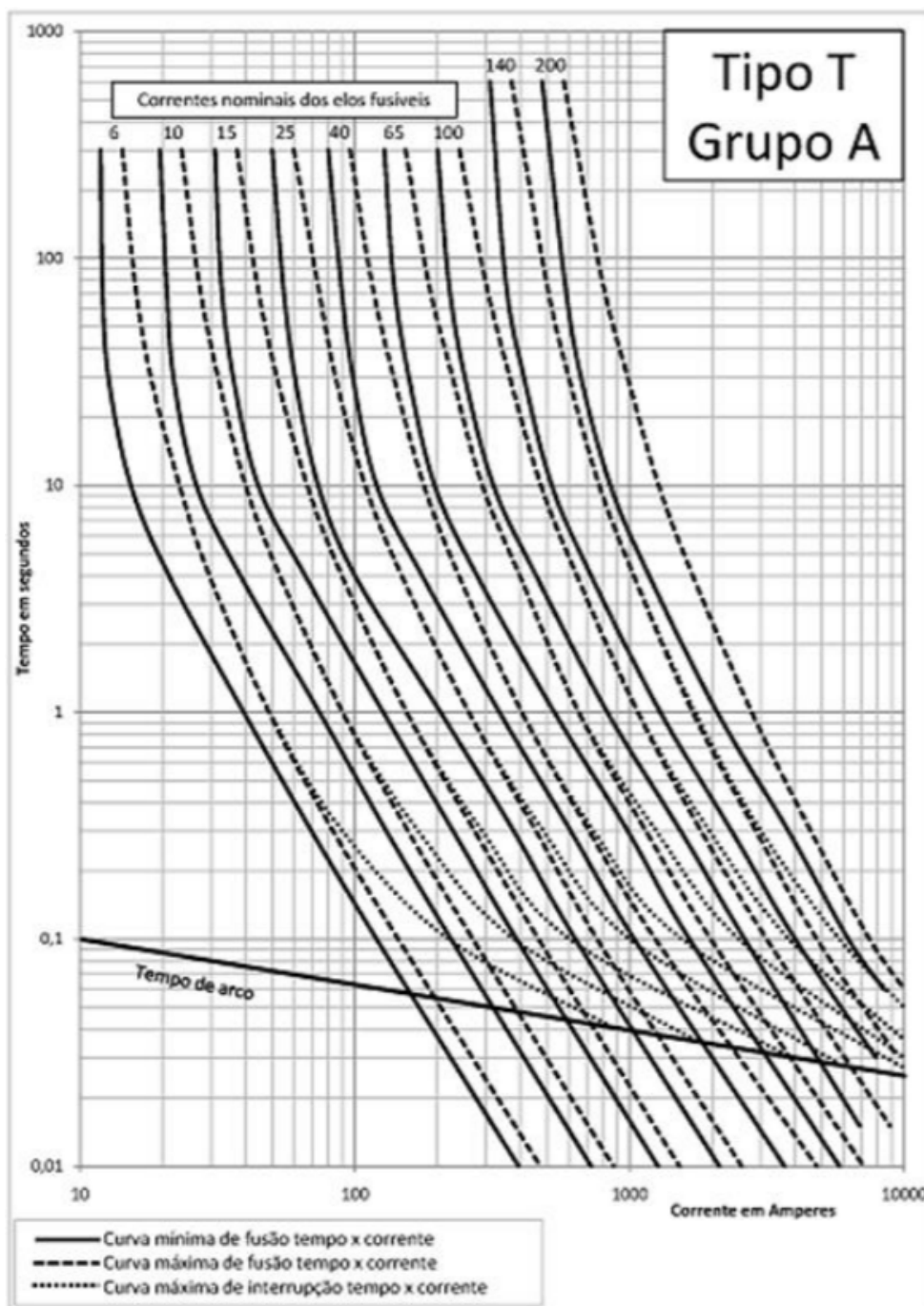


Figura 2: Elos Fusíveis tipo T do Grupo A - Curvas Características de Fusão Tempo x Corrente

A Figura 3 apresenta as curvas de atuação do elo-fusível tipo T não-preferenciais para diferentes valores de curto circuito, assim os tendo nos valores de corrente nominal de 8, 12, 20, 30, 50 e 80 A.

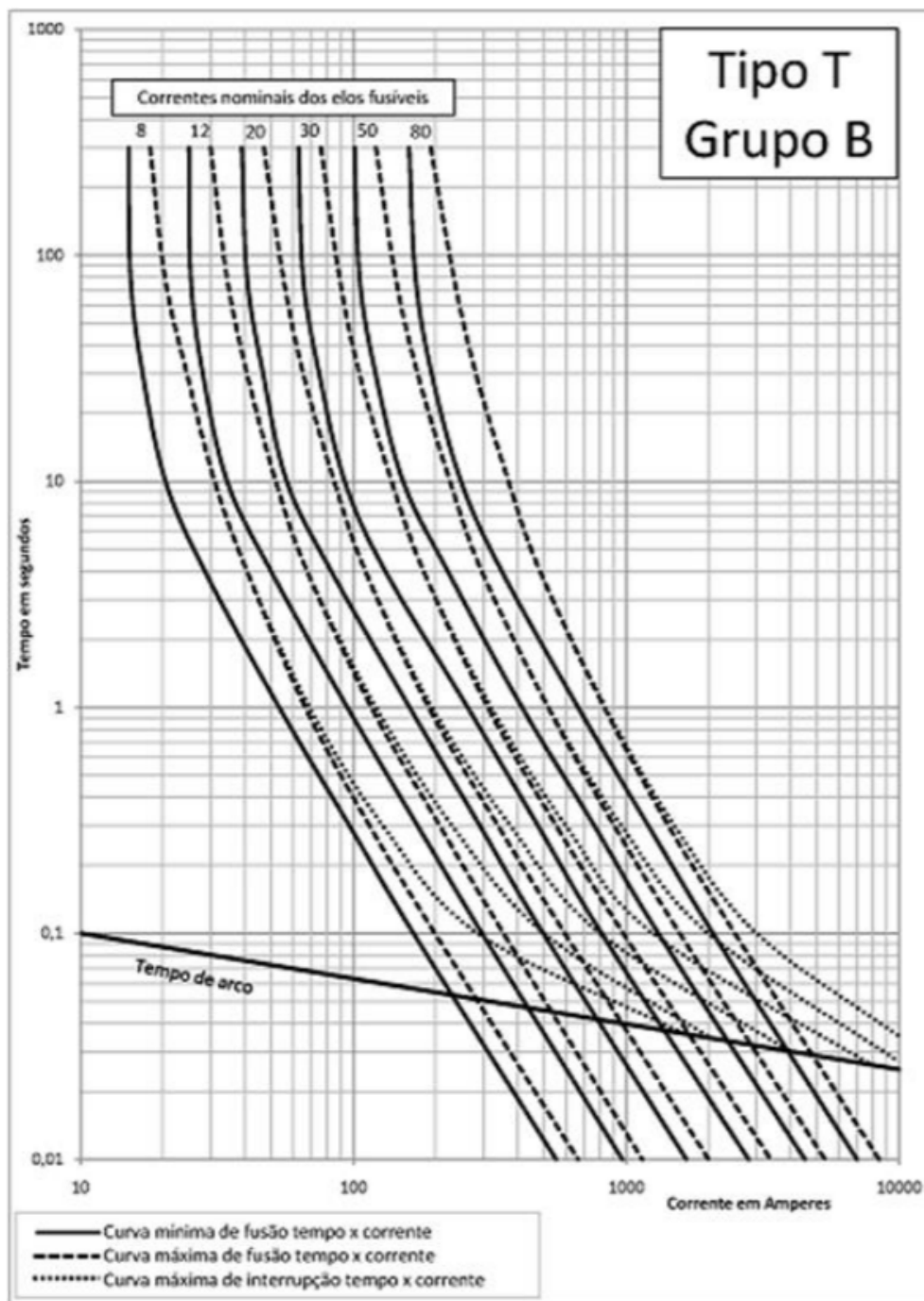


Figura 3: Elos Fusíveis tipo T do Grupo B - Curvas Características de Fusão Tempo x Corrente

3 Elos Tipo K

Os elos-fusíveis tipo T são elos de ação rápida para correntes de curto circuito. Eles podem ser classificados como preferenciais (também chamado Grupo A) e não-preferenciais (também chamado Grupo B), tendo cada classificação seus respectivos valores de corrente nominal.

A Figura 4 apresenta as curvas de atuação do elo-fusível tipo K preferenciais para diferentes valores de corrente nominal, assim os tendo nos valores de corrente nominal de 1, 2, 5, 6, 10, 15, 25, 40, 65, 100, 140 e 200 A.

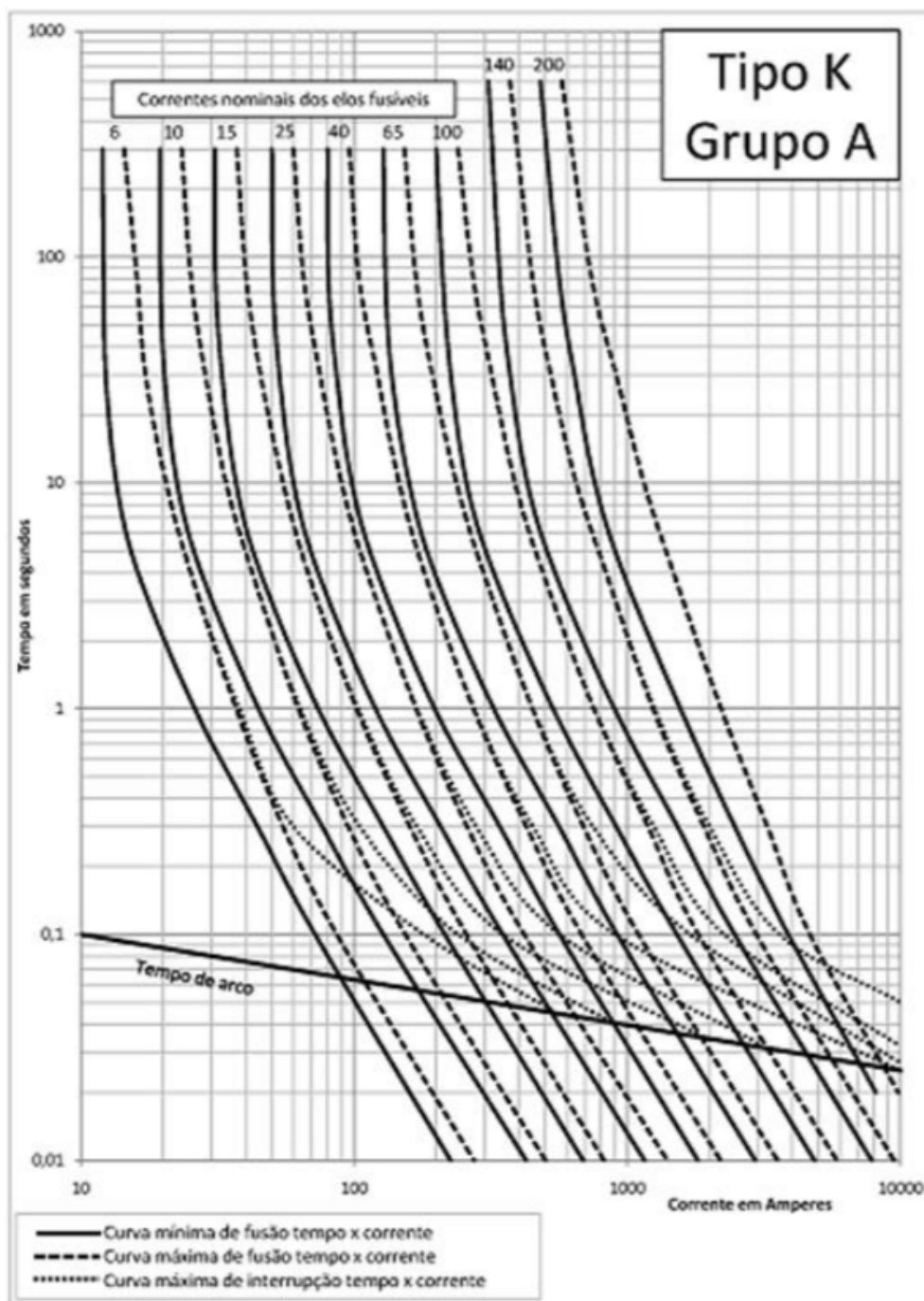


Figura 4: Elos Fusíveis tipo K do Grupo A- Curvas Características de Fusão Tempo x Corrente

A Figura 5 apresenta as curvas de atuação do elo-fusível tipo K não-preferenciais para diferentes valores de curto circuito, assim os tendo nos valores de corrente nominal de 8, 12, 20, 30, 50 e 80 A.

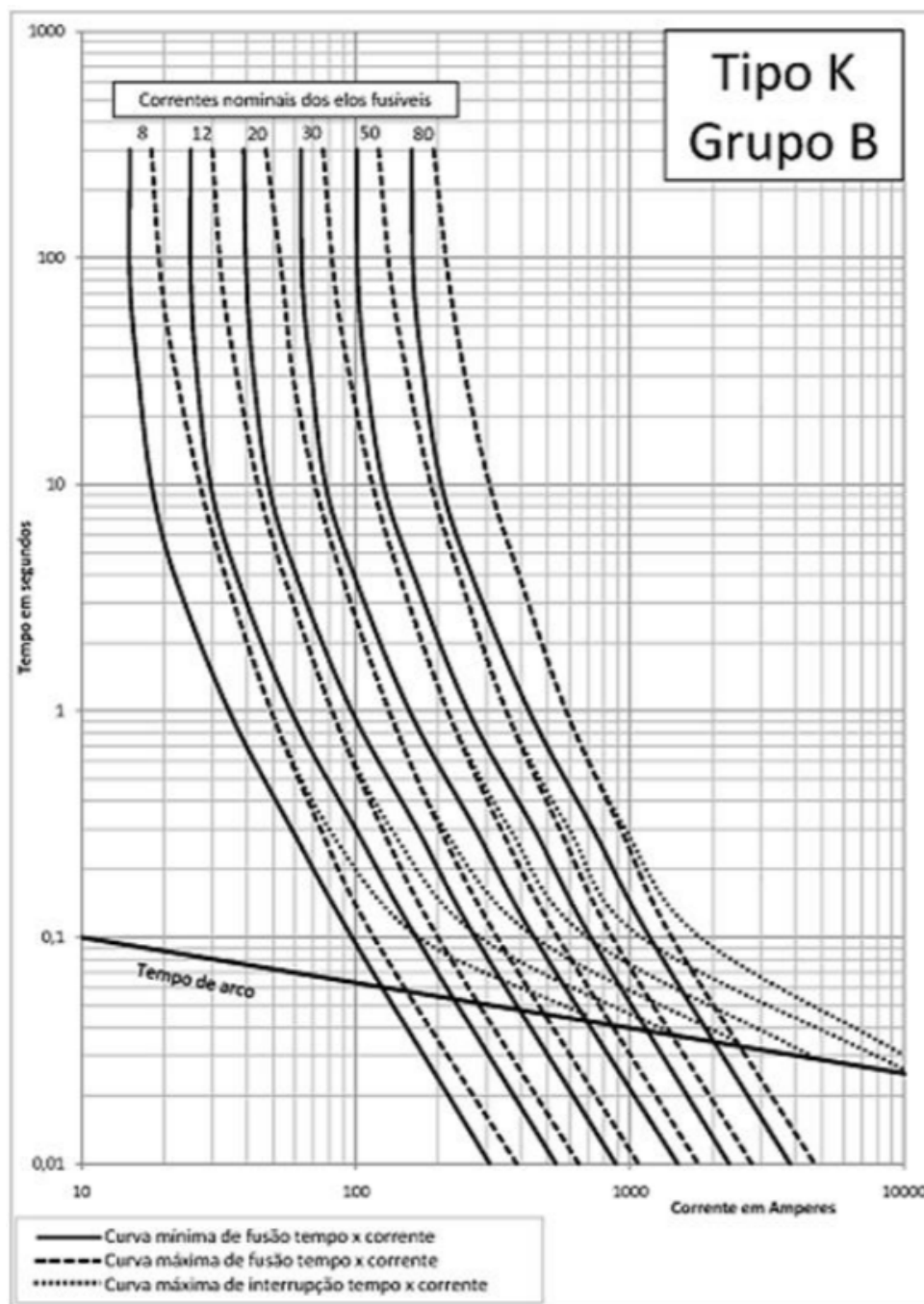


Figura 5: Elos Fusíveis tipo K do Grupo B - Curvas Características de Fusão Tempo x Corrente

b Relés

Relé são dispositivos que supervisionam grandezas do sistema elétrico e atuam quando uma grandeza de atuação atinge um determinado valor. Existem uma gama de relés de proteção e sua classificação é dada quanto à grandeza de atuação (corrente, tensão, frequência, etc.), forma de conectar ao circuito (primário/secundário), forma construtiva (eletromecânicos, mecânicos, estáticos, etc.), temporização (temporizados - unidade 51 e instantâneos - unidade 50), quanto à função (sobrecorrente, direcional, diferencial, etc.) e característica de atuação (Normalmente Inversa - NI, Muito Inversa - MI e Extremamente Inversa - EI) [4].

Os Relés mais utilizados na proteção do sistema de energia elétrica são os relés de sobrecorrente (50/51), relés direcionais de sobrecorrente (67), relés de impedância/ distância (21), relés diferenciais (87), relés frequência (81) e relés de sobretensão (59). Neste estudo, nos ateremos aos relés de sobrecorrente (50/51), pois são os de interesse na coordenação com os demais dispositivos de proteção [5].

Os relés podem atuar de forma dependente do tempo ou forma definida. As curvas corrente x tempo de tempo definido (Figura 6) e de tempo dependente (Figura 7) são mostradas a seguir.

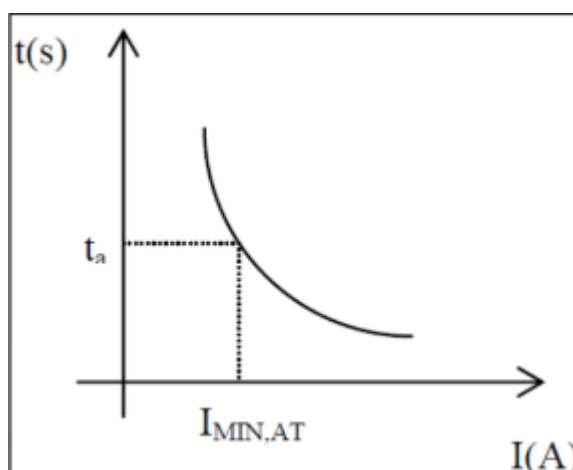


Figura 6: Curva de tempo dependente do relé.

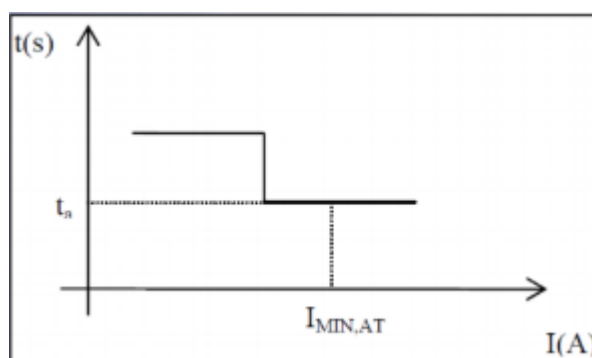


Figura 7: Curva de tempo definido do relé.

As curvas de relés do tipo dependente são definidas pela seguinte fórmula:

$$t = \frac{k \times TMS}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} \quad (5)$$

Onde t é o tempo de operação do relé, k e α são constantes que dependem do tipo de inclinação da curva (NI, MI ou EI), I é a corrente que chega no relé através do secundário do TC, I_s é a corrente de disparo e TMS é um valor numérico de 0,01 a 1 para curvas NI e 0,01 a 2 para curvas MI ou EI, com passo de 0,01 que faz as curvas se deslocarem ao longo do eixo dos tempos.

- Para curvas NI: $k = 0,14$ e $\alpha = 0,02$;
- Para curvas MI: $k = 13,5$ e $\alpha = 1$;
- Para curvas EI: $k = 80$ e $\alpha = 2$.

Geralmente, os relés de sobrecorrente são compostos por duas unidades: unidade 50 (instantânea) e 51 (temporizada). Para relés ligados às fases, as unidades são conhecidas como unidades 50 e 51 de fase e protegem o alimentador de curtos-circuitos envolvendo as fases (trifásico e bifásico) [6]. Para relés ligados ao neutro, as unidades 50 e 51 são conhecidas como unidades 50 e 51 de neutro e protegem o alimentador de curtos-circuitos envolvendo neutro (fase-terra e bifásico-terra). Assim, para qualquer curto-circuito, haverá pelo menos dois relés protegendo o alimentador. O esquema de ligação do relé de sobrecorrente pode ser visto na Figura 8 a seguir conforme visto em [1].

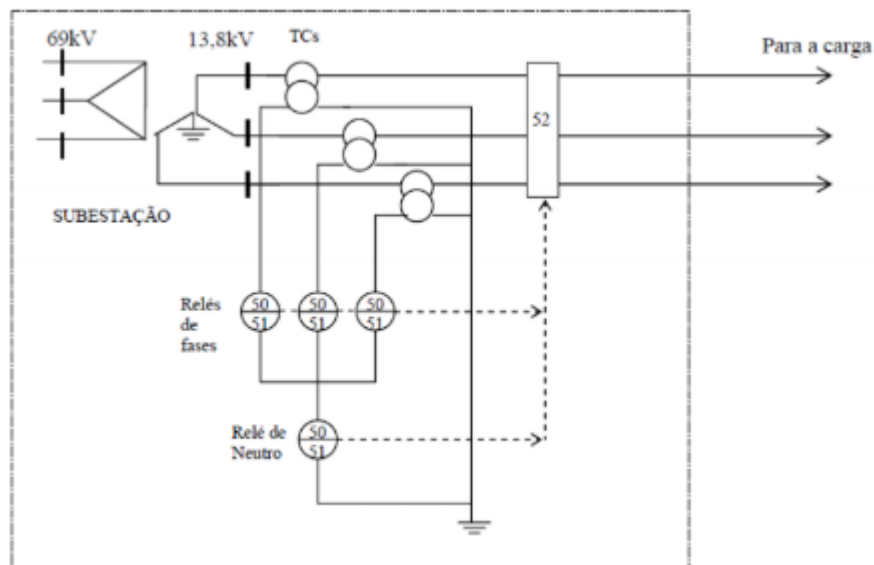


Figura 8: Esquema de ligação do relé.

1 Relé de Sobrecorrente Instantâneo (função 50)

A unidade instantânea 50 do relé atua instantaneamente para faltas temporárias em uma curva dependente ou de tempo definido e geralmente é Normalmente Inclínada (NI). Geralmente, o valor do TMS das unidades 50 varia de 0,01 a 1. Esta curva deve estar sempre abaixo da curva dos elos-fusíveis, mostrando a coordenação entre o elo-fusível e o relé, ou seja, o relé deve abrir antes da fusão do elo-fusível para que exista coordenação no sistema.

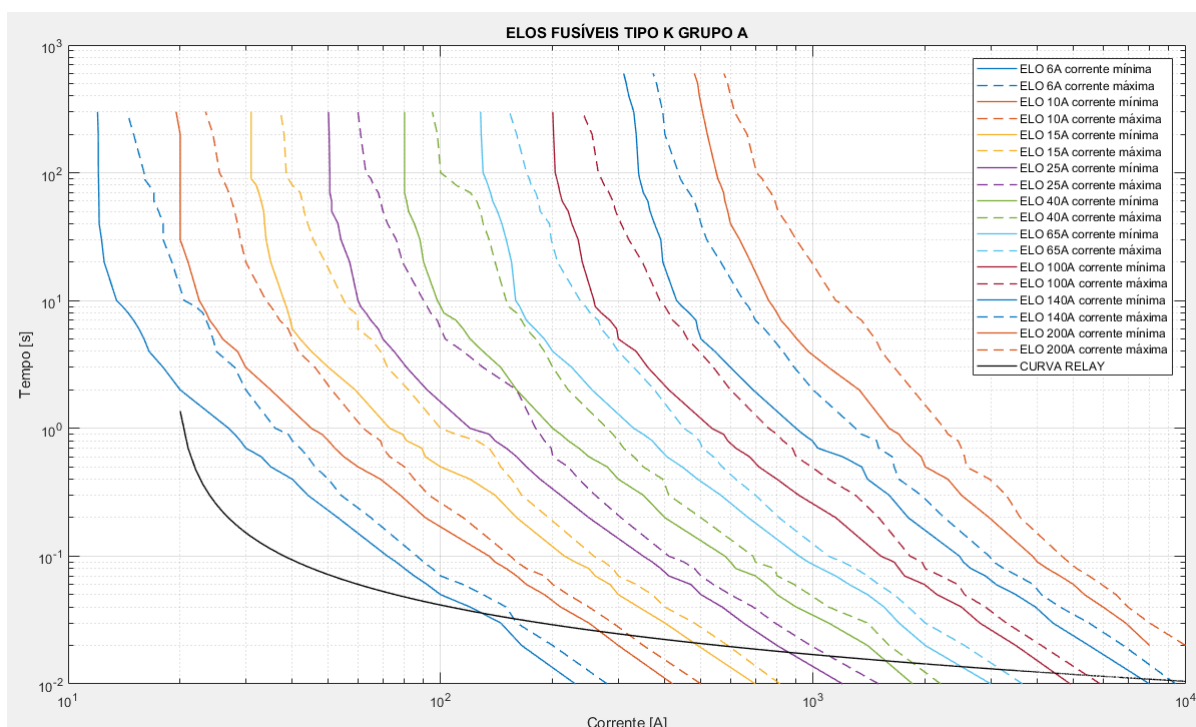


Figura 9: Coordenação elo-fusível e relé para unidade 50 no simulador.

2 Relé de Sobrecorrente Temporizado (função 51)

A unidade temporizada 51 do relé atua após a abertura do elo-fusível, ou seja, sua curva deve estar acima da curva do elo-fusível para que haja coordenação entre o elo-fusível e o relé. A unidade 51 evita que o sistema elétrico inteiro seja afetado por uma falta permanente, isolando as áreas afetadas.

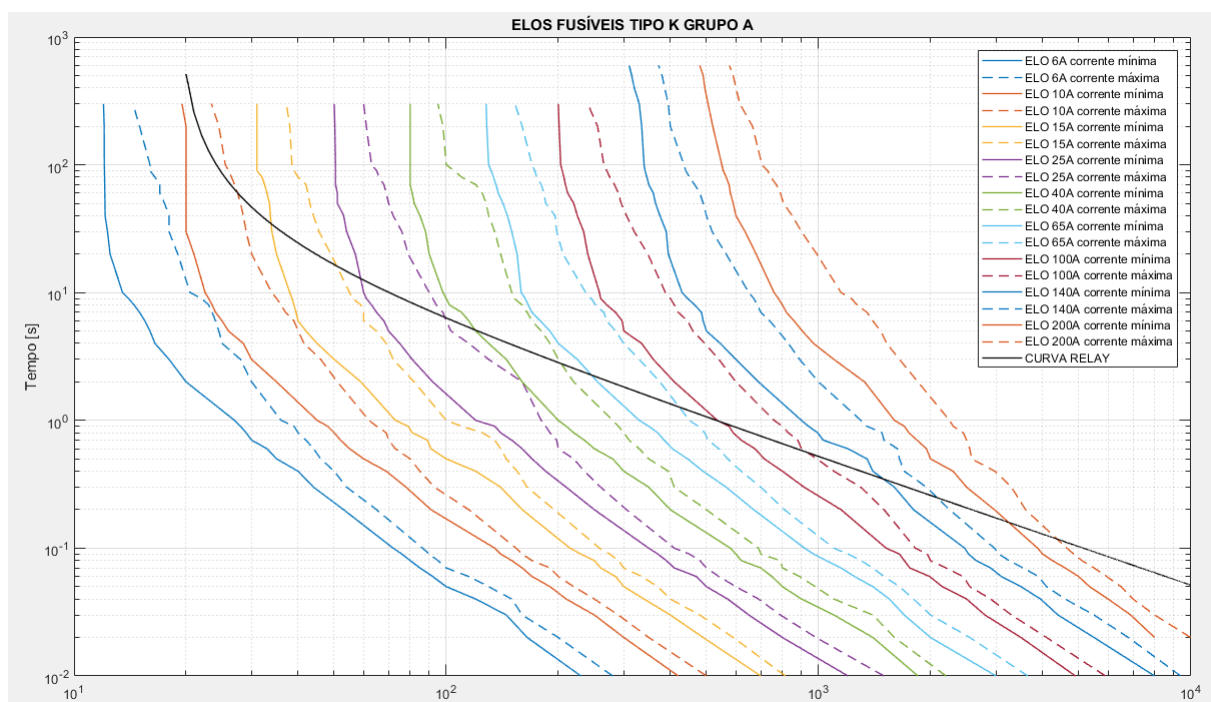


Figura 10: Coordenação elo-fusível e relé para unidade 51 no simulador.

c Religador

O religador é um dispositivo de proteção que vem substituir os elos-fusíveis, uma vez que apesar dos elos serem mais baratos, são dispositivos que precisam de troca ao serem fundidos, suas características tempo x corrente são alteradas durante o envelhecimento e não fazem distinção entre faltas transitórias ou permanentes, fundindo em uma situação que não necessariamente precisaria da abertura do circuito. Os religadores interrompem o circuito quando ocorre um curto-circuito e religa o circuito após um intervalo de tempo, garantindo alta probabilidade de desaparecimento da falta. Os religadores realizam as funções 50, 51 e 79, sendo a 79 comandada por um relé de religamento. Caso o defeito persista, o religador repete a sequência disparo e religamento até 3 vezes para faltas transitórias. Após o quarto disparo, ele desliga totalmente, pois a falta é permanente e não transitória. Os mecanismos de extinção de arco voltaico são parecidos com os disjuntores: óleo isolante, câmara de vácuo e gás (SF6). Os religadores podem atuar com funções de disparos rápidos e temporizados. Geralmente, são utilizados com dois disparos rápidos seguido de um lento, sendo estas curvas definidas como no relé, por tempo definido ou tempo dependente.

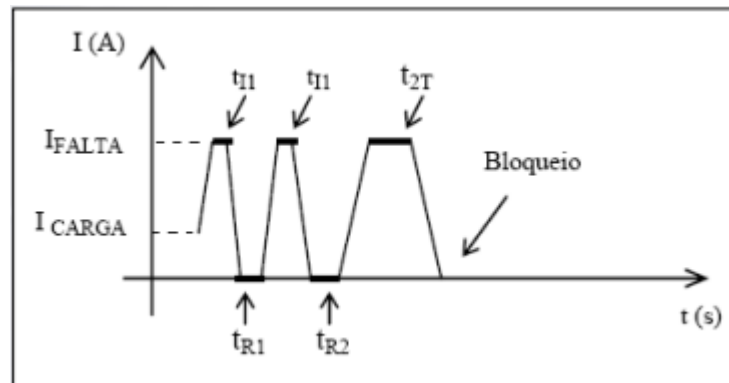


Figura 11: Atuação do relógio com duas funções instantâneas e uma temporizada.

d Seccionalizadora

Os seccionadores (ou seccionadoras) são dispositivos que atuam junto com os religadores ou com um disjuntor comandado por relé de sobrecorrente com função de religamento 79. Devem ser instalados a jusante destes equipamentos para atuarem em conjunto, conforme mostra a Figura 12.

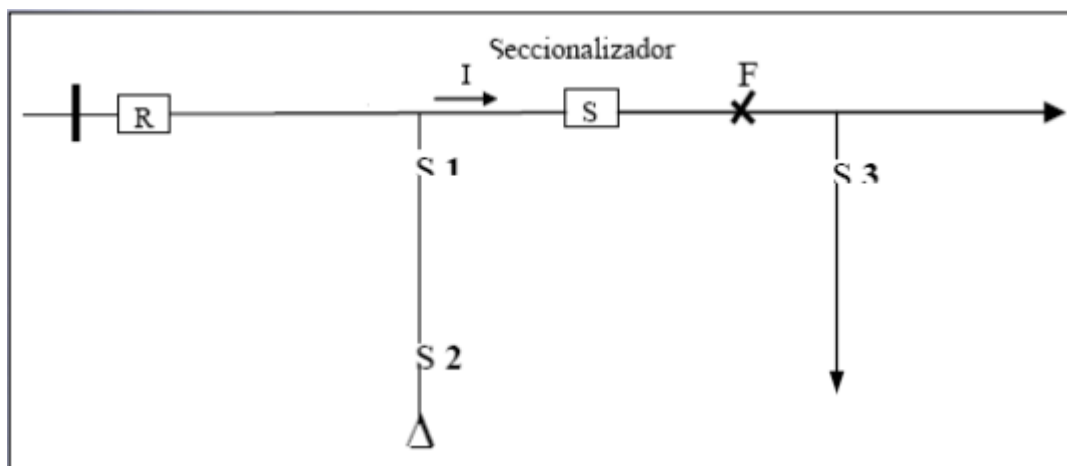


Figura 12: Atuação do seccionador em conjunto com um religador.

Comportam-se como chaves de manobra para abertura ou fechamento local ou remotamente com carga. Os seccionadores não interrompem curto-circuitos, apenas isolam as áreas, o que os torna mais baratos que os relés. Quando o dispositivo de retaguarda efetua um disparo e desliga o circuito, o seccionador conta a quantidade de disparos e atua somente quando o dispositivo atinge o número de disparos ajustado no seccionador, o que isola o trecho sob sua proteção.

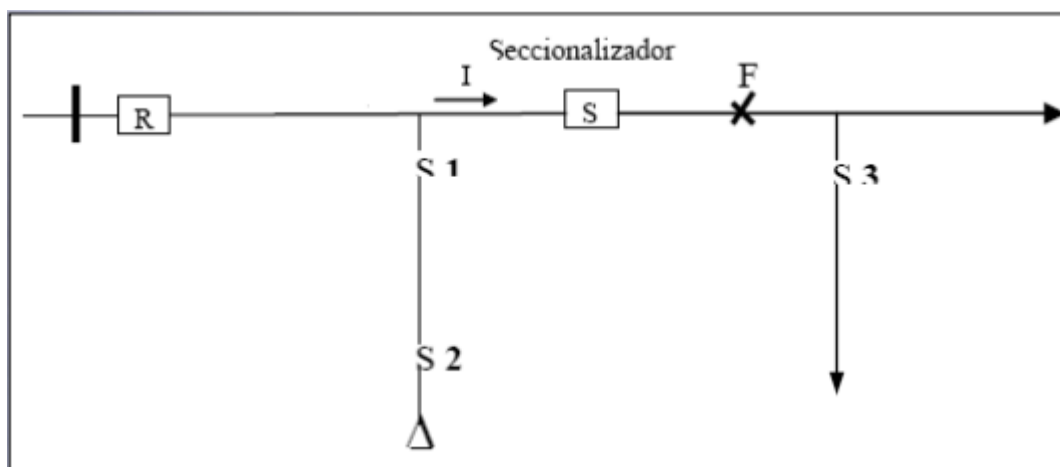


Figura 13: Atuação do seccionalizador [1].

3 Filosofia de Proteção

A proteção no sistema de distribuição de energia elétrica deve ter a capacidade de detectar a falha e isolar a área afetada no menor tempo possível, de forma confiável e com a menor interrupção de carga.

Então, a filosofia de proteção consiste na técnica de selecionar, coordenar, ajustar e aplicar os vários equipamentos e dispositivos protetores a um sistema elétrico, de forma a guardar entre si uma determinada relação, tal que uma anormalidade no sistema possa ser isolada e removida no menor tempo possível, sem que outras partes do mesmo sejam afetadas [7]. A filosofia é satisfatória se cumprir os seguintes objetivos:

- Salvar a integridade física de operadores, usuários do sistema e animais;
- Evitar ou minimizar danos materiais;
- Retirar de serviço um equipamento ou parte do sistema que se apresente defeituoso;
- Melhorar os índices de interrupção do sistema;
- Diminuir despesas com manutenção corretiva.

Para que o sistema de proteção seja dimensionado de maneira correta, bem como seus dispositivos, as seguintes propriedades devem ser atendidas:

- Confiabilidade: probabilidade do sistema de proteção funcionar com segurança e corretamente, sob todas as circunstâncias;
- Seletividade : o sistema de proteção que possui esta propriedade é capaz de reconhecer e selecionar as condições que deve operar, a fim de evitar operações desnecessárias;
- Velocidade : um sistema de proteção deve possibilitar o desligamento do trecho ou equipamento defeituoso no menor tempo possível;
- Sensibilidade : um sistema de proteção deve responder às anormalidades com menor margem possível de tolerância entre a operação e não operação dos seus equipamentos. Por exemplo, um relé de 40 A com 1% de tolerância é mais sensível do que outro de 40 A com 2%;
- Economia: O sistema de proteção deve ter sua implantação viável economicamente, evitando-se um número excessivo de dispositivos de proteção.

Outra característica que deve ser levada em consideração no dimensionamento são os níveis de atuação de um sistema de proteção: proteção principal, proteção de retaguarda e proteção auxiliar. A proteção principal é a primeira a atuar quando ocorre uma falta dentro da zona protegida, a proteção de retaguarda deverá atuar apenas quando a proteção principal falha, e a proteção auxiliar é constituída por funções auxiliares das proteções principal e de retaguarda, cujos objetivos são sinalização, alarme, temporização, etc.

4 Metodologia para Coordenação em Sistemas de Distribuição

A coordenação de dispositivos de distribuição podem ocorrer entre dispositivos de mesmo tipo (elo-fusível e elo-fusível, relé e relé, etc.) e entre dispositivos de natureza diferente (elo-fusível e religador, religador e seccionalizadora, relé e religador, etc.).

Neste simulador, iremos abordar a coordenação entre elos-fusíveis e os demais dispositivos, relé de sobrecorrente instantâneo e relé de sobrecorrente temporizado, religador e seccionalizadora.

Para aplicar a proteção em sistemas de distribuição de energia elétrica, precisa-se levar em consideração os níveis de atuação dos dispositivos. Além disso, os dispositivos serão selecionados considerando a importância da carga a ser protegida e seu custo de implantação e manutenção.

Na proteção principal de ramais, o dispositivo mais utilizado é o elo-fusível, interrompendo o ramal ou a parte no qual foi alocado e no caso de falta, protegendo aquela área. Embora o elo-fusível precise ser repostado para restabelecer o sistema, ele é o mais utilizado pelo viés econômico. Podendo ser usado em um mesmo ramal mais de um elo fusível, sendo um o elo protetor (proteção principal) e o outro como elo protegido (proteção secundária). A escolha da quantidade de elos-fusíveis tem relação com a importância das cargas da rede e a falta, de maneira que seja isolada sem afetar as cargas importantes.

Na proteção retaguarda dos elos-fusíveis, teremos o religador e seccionalizadora que, seguindo a seletividade, atuam quando os elos-fusíveis, que com ele estão coordenados, falham. Atuam também para a falta que ocorre em algum trecho após os elos-fusíveis, sendo neste caso a proteção principal para este trecho.

Os relés de sobrecorrente são geralmente utilizados como proteção de retaguarda de elos-fusíveis, ou ainda de religadores e seccionalizadoras. Atuam quando os elos-fusíveis ou religador/seccionalizadora, que com ele estão coordenados, falham. Atuam também para a falta que ocorre em algum trecho após o dispositivo de proteção principal, sendo neste caso a proteção principal para este trecho.

Nos resultados obtidos do simulador, poderá ser feita a escolha otimizada do elo-fusível e demais dispositivos (relé, religador e seccionalizadora) com seus parâmetros determinados pelo usuário.

5 Simulador

O simulador de coordenação de dispositivos em sistemas de distribuição foi concebido no software MATLAB e idealizado pensando em obter como resultado a superposição de curvas características tempo x corrente do tipo de elo-fusível especificado pelo usuário e curvas do outro dispositivo de escolha (relé, religador e seccionalizadora), com os devidos parâmetros selecionados.

Como dito anteriormente no Capítulo 4, o programa se limitará a simular a coordenação de elo-fusível com outro dispositivo de escolha do usuário sendo ele relé ou religador ou seccionalizadora. Ele foi idealizado em partes: a primeira parte é a escolha do tipo do elo-fusível; a segunda parte é a escolha do próximo dispositivo (relé ou religador/seccionalizadora) a ser usado na coordenação; a terceira parte é a definição dos parâmetros do dispositivo selecionado; a quarta parte é a determinação da corrente de disparo; a quinta parte é a escolha das corrente para o intervalo de estudo; na sexta parte o programa proporciona uma interface gráfica.

Para melhor entendimento do usuário, um manual foi elaborado para o simulador de dispositivos de proteção em sistemas de distribuição mostrando o passo a passo do programa. O manual encontra-se no Apêndice b.

a Construção do Simulador

No simulador, será necessário escolher entre tipos de dispositivos e seus parâmetros, foi concebido de forma que ao iniciar o programa, mensagens na Command Window solicite as entradas, cada uma tem uma faixa de valores ou valores certos que possam ser selecionados de acordo com o projeto do usuário. Nas escolhas de tipos de curvas de elos-fusíveis ou de dispositivo, o método utilizado foi associar um número a possibilidade de escolha. E para toda escolha fora do valor ou da faixa de valores permitido, será enviada uma mensagem para que possa ser digitado novamente, afim do correto funcionamento do programa.

A construção do simulador, iniciou-se com o cadastramento das curvas dos gráficos dos elos-fusíveis, e como não se tem acesso as equações das curvas, o método utilizado foi a interpolação de pontos. Utilizando Excel foi possível o cadastramento em tabelas, que pode ser lido pelo MATLAB através de comando.

Posteriormente o código solicita a escolha do tipo de elo-fusível (tipo H, tipo K ou tipo T), e caso se a escolhido do tipo K ou tipo T, pelas condições do código, solicitará o grupo do elo-fusível que o usuário desejar (Grupo A ou B).

Em seguida foco se volta na escolha e parametrização do dispositivo a ser coordenado com o elo-fusível. O código foi escrito para solicitar o tipo de dispositivo (relé ou religador/seccionalizadora). Após essa escolha o simulador solicitará diferentes tipos de parametrização que são peculiares dos dispositivos.

Caso o seja escolhido o relé, o simulador foi programado para solicitar a relação temporal de atuação da curva (tempo definido ou tempo dependente), e como desejamos plotar as duas curvas do relé, aparecerão mensagens seguidas como mesmo pedido.

No programa foi cadastrado equações de tempo de operação de relé para tempo dependente, desta forma, caso pelo menos uma das curvas escolhidas sejam tempo dependente será requerido o parâmetro tipo da curva (NI, MI ou EI). Porém, caso alguma tenha sido escolhida como tempo definido será solicitado seu valor. As mensagens sobre os parâmetros referentes à relação temporal da curva aparecem na ordem que foram escolhidas, conforme programado.

Caso o seja escolhido o religador/seccionalizadora, foi programado para solicitar os parâmetros para que serao utilizados para configurar o equipamento a ser usado na proteção.

Desta forma uma mensagem solicita de número de disparo (um ou dois) do dispositivo. Em seguida o simulador requer a relação temporal de atuação da curva (tempo definido ou tempo dependente), e como desejamos plotar as duas curvas do religador/seccionalizadora, aparecerão mensagens seguidas como mesmo pedido.

No programa foi cadastrado equações de tempo de operação de religador/seccionalizadora para tempo dependente, desta forma, caso pelo menos uma das curvas escolhidas sejam tempo dependente, o programa solicitará a escolha do valor de TMS dentro de sua faixa de valores, caso seja escolhida alguma curva de tempo dependente. Caso alguma das duas curvas de escolha tenha sido tempo dependente, será requerido, posteriormente, o parâmetro tipo da curva (NI, MI ou EI). Porém, caso alguma tenha sido

escolhida como tempo definido será solicitado seu valor. As mensagens sobre os parâmetros referentes à relação temporal da curva aparecem na ordem que foram escolhidas, conforme programado.

Para finalizar a parametrização do religador/seccionalizadora, o programa solicitara o valor da corrente de disparo. Esta corrente de disparo é um dado de entrada que o usuário terá dos cálculos feitos no projeto de distribuição, o programa não o limita a uma faixa de valores.

Agora para o estudo de coordenação seja feito de forma eficaz, foi programado para que o simulador solicite uma corrente inicial para o intervalo de interesse. Em seguida uma corrente de maior valor para que o estudo considere as faixas de valores abaixo dela. E para fechar o intervalo requer o valor de corrente final deste intervalo.

Por fim, o simulador foi programado para plotar em um gráfico loglog a superposição das curvas dos elos fusíveis com as outro dispositivo, seja relé ou religador/seccionalizadora, e com as faixas de valores que restringirão a região do gráfico de estudo.

6 Resultados

Os resultados obtidos com o simulador foram muito satisfatórios, como veremos em um exemplo de Sistema Elétrico a seguir na Figura 14.

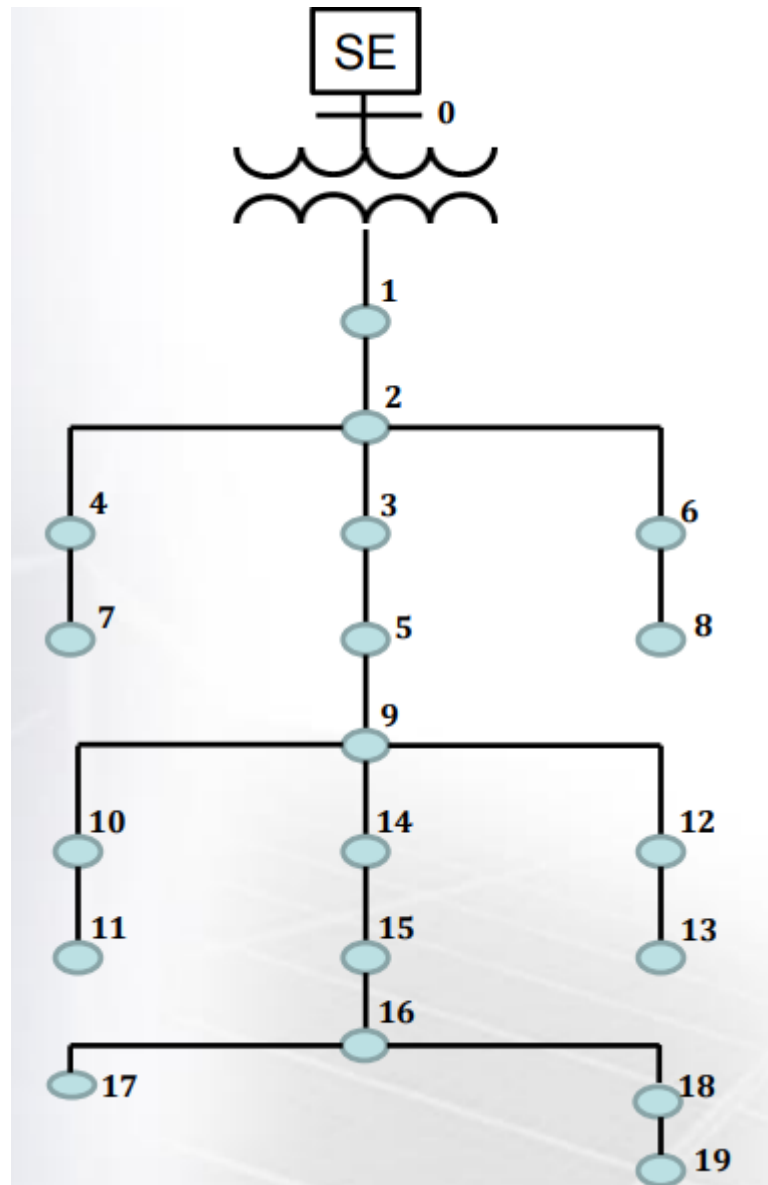


Figura 14: Sistema elétrico utilizado no simulador.

A rede apresentada possui 1 Subestação fornecendo energia a 19 consumidores ligados à rede. Foi feito o dimensionamento da rede usando elos fusíveis, relés, religadores e seccionadoras. Os valores de correntes de linha, curto-circuito trifásico, bifásico, fase-terra e fase-terra com resistência de cada consumidor do sistema foi fornecido. O objetivo era estudar todos estes dispositivos de proteção e sua atuação em um sistema elétrico. Utilizamos os dados fornecidos pelo problema na Figura 15.

Dados do religador:

- Intervalo de religamento (tempo morto) : 1º 0,5 - 180 s , passo de 1s ; 2º 2,0 - 180 s , passo de 1s ; 3º 2,0 - 180 s , passo de 1s ;
- Tempo de rearme : 5 - 180 s , com passo de 0,1s ;
- Número de disparos para bloqueio : até 4
- Corr. nom. : 630 A ; Capac. de interrup. : 12,5kA ; Tensão nom. : 12/15kV

Sensores de faltas envolvendo as fases:

- Correntes de disparo: 10 - 1200 A , passo de 1 A ;
- Equação das curvas de tempo x corrente $t = \frac{K \times TMS}{m^\alpha - 1}$

Onde : t = tempo de atuação (s) ; $K=0,14$ e $\alpha=0,02$, para curva NI ; $K=13,5$ e $\alpha=1$, para curva MI ; $K=80$ e $\alpha=2$, para curva EI ; m = múltiplo ($\frac{I}{I_s}$) , onde I_s = corrente de disparo ; I = corrente de falta no circuito ; TMS = número da curva ; α = inclinação da curva (define o grupo: NI , MI , EI).

- Disparos temporizados (curvas de temporizadas): TMS = 0,05 a 2 , com passo de 0,01 ;
- Disparos instantâneos: segundo uma curva NI com TMS = 0,01 a 0,1 , passo de 0,01s

Sensores de faltas à terra :

- Correntes de disparo : 4 - 20 A , com passo de 0,1 A ;
- Disparos temporizados e instantâneos (tempo definido): 0,05 - 100s , com passo de 0,01 s .

Dados do seccionador:

- Sensor de faltas envolvendo as fases : 10 - 1260 A com passo de 1 A ;
- Sensor de faltas à terra : igual ao anterior ;
- Contador de interrupção : 1 a 4 ;
- Tempo de ressete : 5 - 180 s , com passo de 1 s ;
- Corrente nominal : 20 - 800 A com passo de 1 A ;

Figura 15: Dados dos elos-fusíveis, relés, religadores e seccionalizadora.

Começamos pelo dimensionamento dos elos-fusíveis utilizando as fórmulas já apresentadas anteriormente 3 e 4. O elo-fusível deve ser tal que sua corrente nominal seja maior do que a corrente de linha pelo fator de crescimento e menor do que a corrente de curto-circuito, uma vez que ele deve abrir para os valores de correntes de curto-circuito. Fazendo uso dessas fórmulas nos ramos 2-4, 2-6, 9-10, 9-12, 16-17 e 16-18, obtivemos o resultado que um elo-fusível de tipo K de 10 A seria necessário. Para o dimensionamento das chaves-fusíveis, utilizamos a equação 1 e a Tabela 1 para obtermos uma chave-fusível de corrente nominal de aproximadamente 9A, o que possibilita escolhermos a chave-fusível de 50 A, corrente de interrupção de 1,2 kA e NBI = 95 kV com tensão nominal de 15 kV. Para o dimensionamento do religador, precisamos primeiro dimensionar o Transformador de Corrente (TC) para o religador. Considerando um Fator de Sobrecorrente FS = 20, calculamos a maior corrente de curto-circuito (curto-circuito fase-terra) no primário do TC da região onde pretendemos colocar o religador através da fórmula seguinte:

$$I_{prim}^{TC} \geq I_{cc}^{fase-terra} \quad (6)$$

Também devemos comparar essa corrente com a maior corrente da linha da região onde pretendemos colocar o religador, que é calculada usando a seguinte fórmula:

$$I_{prim}^{TC} \geq k \times I_{linha}^{max} \quad (7)$$

A maior dentre as duas correntes calculadas deverá ser a escolhida para um correto dimensionamento do TC do religador. Obtivemos uma corrente de 60 A e, portanto, a Relação de Transformação do TC (RTC) é dada por $RTC = 60/5$, onde 5 A é a corrente no secundário do TC. Para o cálculo das fases do religador (unidades 50 e 51), usamos as fórmulas 3 e 4. A corrente para as fases do religador deve ser maior do que a corrente de linha pelo fator de crescimento e menor do que a corrente de curto-circuito bifásico (maior corrente de curto-circuito envolvendo fases). Assim, obtivemos um valor de 60 A para o

religador envolvendo fases. Para o cálculo do neutro do religador, devemos utilizar as mesmas fórmulas do cálculo de fases, apenas com a diferença do fator de crescimento de 0,1 e a maior corrente de curto-circuito envolvendo neutros como a corrente de curto-circuito fase-terra. Obtivemos uma corrente de 50 A envolvendo o neutro do religador. Após esses cálculos iniciais, nosso simulador foi utilizado para verificar a coordenação entre os elos-fusíveis de tipo K de 10 A e o religador.

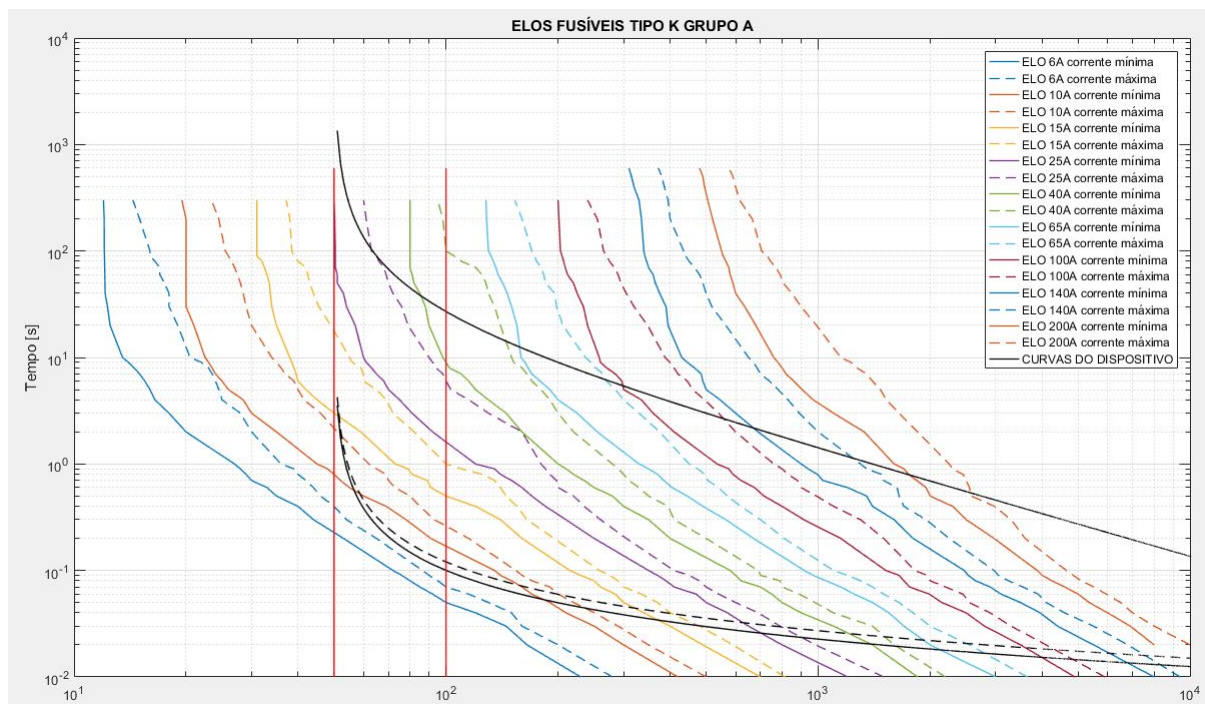


Figura 16: Coordenação elo-fusível e religador para a corrente de neutro.

Como podemos observar na Figura 16, o elo-fusível de 10 A (cor laranja) não está coordenando com o religador, uma vez que a curva Normalmente Inversa (NI) e a simulação do aumento de temperatura do elo-fusível simulada pela curva tracejada preta do religador estão acima da curva do elo-fusível, quando deveriam estar abaixo. Portanto, para nosso caso estudado, devemos escolher um elo-fusível que coordene com o religador, ou seja, qualquer elo acima da curva NI (curva de ação rápida, unidade 50) e abaixo da curva Muito Inversa ou Extremamente Inversa (MI ou EI, curvas de ação temporizada, unidade 51). O elo escolhido foi o de 15 A, de cor amarela. Para o dimensionamento do seccionizador, consideramos a corrente do sensor de fase igual à corrente de disparo de fase do religador e o mesmo para a corrente de neutro, uma vez que os dois dispositivos estão atuando juntos. Para o cálculo da corrente nominal do seccionizador, utilizamos a seguinte fórmula:

$$I_{nom}^{sec} \geq \frac{S}{\sqrt{3} \times 13,8kV} \quad (8)$$

Onde I_{nom}^{sec} é a corrente nominal do seccionizador, S é a potência aparente em [MVA] da área protegida pelo seccionizador e $13,8kV$ é a tensão aplicada no Sistema Elétrico. A corrente nominal do seccionizador foi da ordem de 33 A, selecionamos duas contagens para ele ativar e tempo de reset de 10 s. Como religador está coordenado com os elos-fusíveis e o seccionizador está dimensionado e coordenado com o religador, o seccionizador também está coordenado com os elos-fusíveis.

Para o dimensionamento dos relés, precisamos usar as fórmulas 6 e 7, substituindo para as unidades de fase 50 e 51 os curtos-circuitos trifásicos (maiores curto-circuitos envolvendo fases) e para as unidades 50 e 51 de neutro, os curtos-circuitos fase-terra (maiores curto-circuitos envolvendo neutro). Obtivemos uma corrente de disparo para as fases com o valor de 6 A e uma corrente de disparo para o neutro com o valor de 33 A. Para o intervalo de estudo de 70 A a 100 A para as fases (menor curto e maior curto envolvendo fases) e para o intervalo de estudo de 100 A a 130 A para o neutro (fase-terra mínimo e máximo), obtivemos uma coordenação do relé com os elos-fusíveis, conforme se verifica na Figura 17 do simulador a seguir.

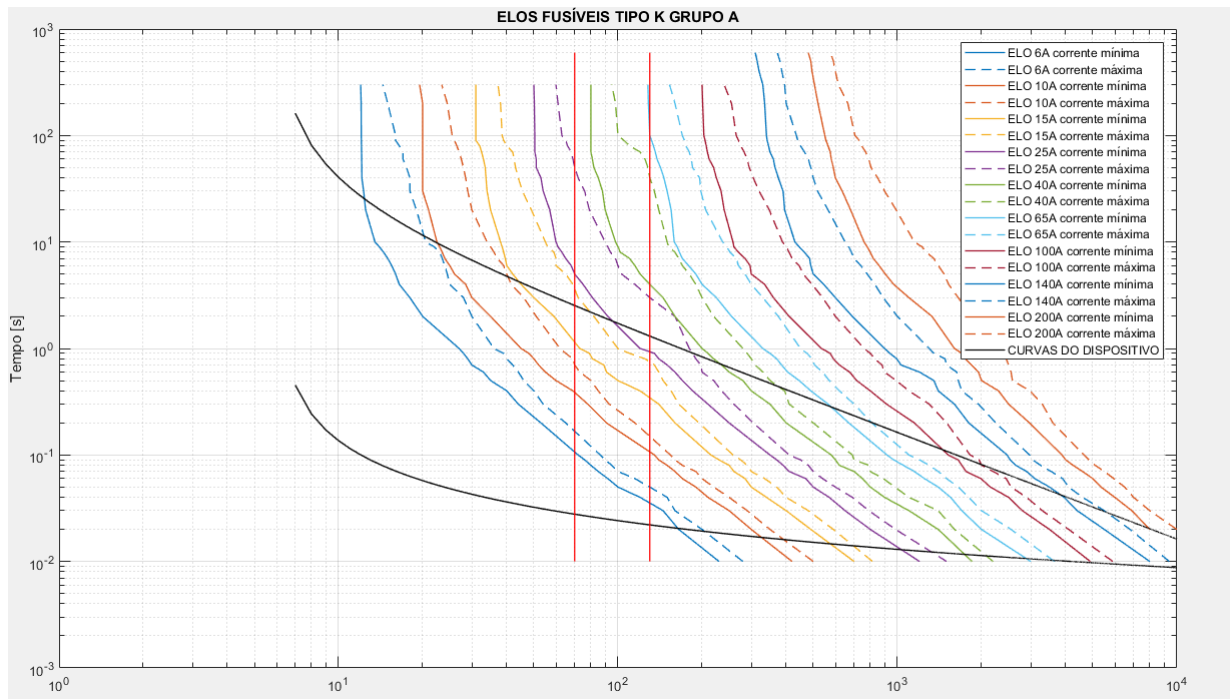


Figura 17: Coordenação do relé com os elos-fusíveis.

Podemos verificar que para os elos-fusíveis de 15 A (cor amarela), a curva do relé de unidade 50 (instantânea) está abaixo das curvas dos elos-fusíveis e a curva de unidade 51 (temporizada) está acima das curvas dos elos-fusíveis, o que significa que o relé atua antes do elo fundir com a unidade 50 e depois do elo fundir com a unidade 51, ou seja, os elos-fusíveis e os relés estão coordenados corretamente. Como o relé está coordenado com os elos-fusíveis e os elos-fusíveis estão coordenados com o religador e o seccionizador, o relé também está coordenado com o religador e o seccionizador.

Portanto, teremos a seguinte disposição para a proteção do Sistema Elétrico proposto na Figura 9.

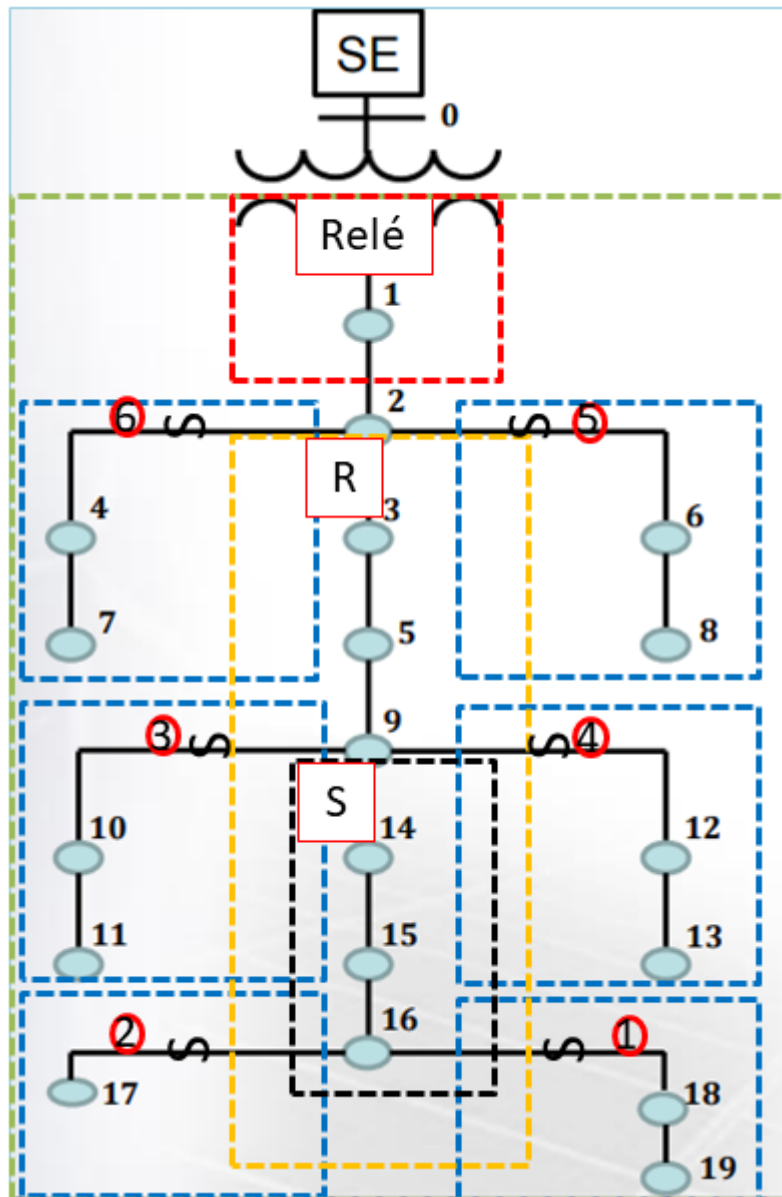


Figura 18: Sistema elétrico devidamente protegido.

O código completo do Simulador de Coordenação de Dispositivos de Proteção em Sistemas de Distribuição no MATLAB está no Apêndice a.

7 Conclusão e trabalhos futuros

O simulador funcionou corretamente conforme foi mostrado no exemplo anterior. Aprimoramentos podem ainda ser feitos no simulador com inclusão de cálculos de correntes de curto-circuito e uso de Inteligência Artificial. No exemplo anterior, as correntes de curto-circuito foram fornecidas pelo problema, porém poderiam ser calculadas diretamente de dados de corrente e tensão dos consumidores na rede através de um fluxo de potência. O uso da Inteligência Artificial pode permitir a coordenação dos dispositivos de proteção sem que o usuário precise entrar com os dados das curvas de relés, religadores e seccionalizadores manualmente (*TMS*, tipo de inclinação da curva, dependência com o tempo, etc.) apenas adaptando as curvas dos dispositivos à rede estudada.

A Apêndice

a Código completo no MATLAB do Simulador de Coordenação de Dispositivos de Proteção em Sistemas de Distribuição

```

1
2 %SIMULADOR DE COORDENAÇÃO DE DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO
3 %
4 %ELOS GRUPO A (preferenciais) => 6A,10A,15A,25A,40A,65A,100A,140A,200A
5 %ELOS GRUPO B (não-preferenciais) => 8A,12A,20,30A,50A,80A
6 %
7 %
8
9 clc
10 clear variables
11
12 curva_relay=0;
13 curva_relay2=0;
14
15
16 tipo = input('Digite o tipo de Elo Fusível desejado (Ex.: H=1, K=2 ou T=3): ');
17 while tipo~=1 && tipo~=2 && tipo~=3
18     tipo = input('Entre com um valor correto do tipo de Elo Fusível: ');
19 end
20
21 if tipo ==2 || tipo==3
22     grupo = input('Digite o grupo do Elo Fusível desejado (Ex.: A=1, B=2): ');
23     while grupo~=1 && grupo~=2
24         grupo = input('Entre com um valor correto do grupo de Elo Fusível: ');
25     end
26 end
27
28 dispositivo = input('Entre com o dispositivo para coordenação (Ex.: Relay=1, Religador/Seccionalizador=2): ...
29 ');
30 while dispositivo~=1 && dispositivo~=2
31     dispositivo = input('Entre com um valor correto do dispositivo: ');
32 end
33 if dispositivo==2
34     disparos = input('Entre com o número de disparos rápidos (Ex.: 1 ou 2): ');
35     while disparos~=1 && disparos~=2
36         disparos = input('Entre com um valor correto do número de disparos: ');
37     end
38     if disparos==1
39         kt = 1.2; %1 OPERAÇÃO RÁPIDA E 2 LENTAS
40     else
41         kt = 1.5; %2 OPERAÇÕES RÁPIDAS E 1 LENTA
42     end
43 end
44
45 tipo_at1 = input('Entre com a relação temporal de atuação da primeira curva do dispositivo (Ex.: Tempo ...
46 Definido = 1, Tempo Dependente = 2): ');
47 while tipo_at1~=1 && tipo_at1~=2
48     tipo_at1 = input('Entre com um valor correto do tipo de curva do dispositivo: ');
49 end
50 tipo_at2 = input('Entre com a relação temporal de atuação da segunda curva do dispositivo (Ex.: Tempo ...
51 Definido = 1, Tempo Dependente = 2): ');
52 while tipo_at2~=1 && tipo_at2~=2
53     tipo_at2 = input('Entre com um valor correto do tipo de curva do dispositivo: ');
54 end
55 if tipo_at1 == 1 || tipo_at2 == 1
56     tempo_def = input('Entre com o valor de tempo para a primeira curva de Tempo Definido (Ex.: 0.05 a 100 ...
57 [segundos]): ');
58     while tempo_def<0.05 || tempo_def>100
59         tempo_def = input('Entre com um valor correto de tempo para a curva de Tempo Definido: ...
60 ');
61     end
62     if tipo_at1 == 1 && tipo_at2 == 1
63         tempo_def2 = input('Entre com o valor de tempo para a segunda curva de Tempo Definido ...
64 (Ex.: 0.05 a 100 [segundos]): ');
65         while tempo_def2<0.05 || tempo_def2>100
66             tempo_def2 = input('Entre com um valor correto de tempo para a curva de Tempo ...
67 Definido: ');
68         end
69     end
70 end
71 end
72 end
73 end
74 end
75 end
76 end
77 end
78 end
79 end
80 end
81 end
82 end
83 end
84 end
85 end
86 end
87 end
88 end
89 end
90 end
91 end
92 end
93 end
94 end
95 end
96 end
97 end
98 end
99 end
100 end

```

```

68 if tipo_at1 == 2
69     curva_relay = input('Entre com o tipo da primeira curva de Tempo Dependente do dispositivo ...
    (Ex.: NI=1,MI=2,EI=3): ');
70     while curva_relay~=1 && curva_relay~=2 && curva_relay~=3
71         curva_relay = input('Entre com um valor correto do tipo de curva do dispositivo: ');
72     end
73
74     if curva_relay == 1
75         TMS_50 = input('Entre com o valor de TMS para disparos instantâneos (Ex.: 0.01 a 2): '); %NÚMERO ...
            DA CURVA
76         while TMS_50<0.01 || TMS_50>2
77             TMS_50 = input('Entre com um valor de TMS entre 0.01 e 0.1: ');
78         end
79
80     else
81         TMS_51 = input('Entre com o valor de TMS para disparos temporizados (Ex.: 0.05 a 2): ');
82         while TMS_51<0.05 || TMS_51>2
83             TMS_51 = input('Entre com um valor de TMS entre 0.05 e 2: ');
84         end
85     end
86 end
87
88 if tipo_at2 == 2
89     curva_relay2 = input('Entre com o tipo da segunda curva de Tempo Dependente do dispositivo ...
    (Ex.: NI=1,MI=2,EI=3): ');
90     while curva_relay2~=1 && curva_relay2~=2 && curva_relay2~=3
91         curva_relay2 = input('Entre com um valor correto do tipo de curva do dispositivo: ');
92     end
93
94     if curva_relay2 == 1
95         TMS_50 = input('Entre com o valor de TMS para disparos instantâneos (Ex.: 0.01 a 2): '); %NÚMERO ...
            DA CURVA
96         while TMS_50<0.01 || TMS_50>2
97             TMS_50 = input('Entre com um valor de TMS entre 0.01 e 0.1: ');
98         end
99
100    else
101        TMS_51 = input('Entre com o valor de TMS para disparos temporizados (Ex.: 0.05 a 2): ');
102        while TMS_51<0.05 || TMS_51>2
103            TMS_51 = input('Entre com um valor de TMS entre 0.05 e 2: ');
104        end
105    end
106 end
107
108
109 Id = input('Entre com o valor da corrente de disparo em Ampères: ');
110
111 %DEFININDO O RANGE DE ESTUDO
112 limite_reta = roundn(input('Entre com o valor de corrente inicial para o intervalo de estudo: ...
    '),1);%ROUNDN ARREDONTA PARA 10^n MAIS PRÓXIMO
113
114 while limite_reta<Id
115     limite_reta = roundn(input('Entre com um valor maior de corrente: '),1);
116 end
117
118 limite_reta2 = roundn(input('Entre com o valor de corrente final para o intervalo de estudo: '),1);
119 while limite_reta2==limite_reta
120     limite_reta2 = roundn(input('Entre com um valor diferente de corrente final: '),1);
121 end
122
123 filename = 'DADOS_ELOS.xlsx';
124
125 color = {[0 .45 .74],[.85 .33 .1],[.96 .69 .13],[.49 .18 .56],[.47 .67 .19],[.3 .75 .93],[.64 .08 .18],[0 ...
    .45 .74],[.85 .33 .1],[.96 .69 .13],[.49 .18 .56],[.47 .67 .19],[.3 .75 .93],[.64 .08 .18],[0 .45 .74]};
126
127
128 if tipo == 1 %tipo H
129     dados = xlsread(filename, 'TIPO H');
130     for j=0:4
131         figure(1)
132         loglog(dados(:,1+(4*j)),dados(:,3+(4*j)),'Color',color{j+1},'LineWidth', 1) %CORRENTE MÍNIMA
133         hold on
134         loglog(dados(:,2+(4*j)),dados(:,3+(4*j)),'Color',color{j+1},'LineStyle','—','LineWidth', 1) ...
            %CORRENTE MÁXIMA
135         title('ELOS FUSÍVEIS TIPO H')
136     end
137
138
139 if tipo_at1==1 || tipo_at2 == 1
140     If = Id:1:Id+9999;%CORRENTE DE FALTA
141     loglog([Id Id+9999], [tempo_def tempo_def], 'k','LineWidth', 1);
142     if dispositivo == 2
143         loglog([Id Id+9999],[kt*tempo_def kt*tempo_def], 'k','LineStyle','—','LineWidth', 1);

```

```

144     end
145     if tipo_at1 == 1 && tipo_at2 == 1
146         loglog([Id Id+9999], [tempo_def2 tempo_def2], 'k', 'LineWidth', 1);
147
148     end
149
150 end
151
152 if tipo_at1==2 || tipo_at2 == 2
153     for j=1:10000
154         If = Id:1:Id+9999; %CORRENTE DE FALTA
155         if curva_relay == 1 || curva_relay2==1 %CURVA NORMALMENTE INVERSA
156             k = 0.14;
157             alpha = 0.02; %INCLINAÇÃO DA CURVA
158             m_alpha = ((If(j)/Id).^alpha);
159             tempo_oper(j) = (k*TMS_50)/(m_alpha-1); %TEMPO DE OPERAÇÃO DO RELAY
160
161         end
162         if curva_relay2 == 2 || curva_relay==2 %CURVA MUITO INVERSA
163             k2 = 13.5;
164             alpha2 = 1; %INCLINAÇÃO DA CURVA
165             m_alpha2 = ((If(j)/Id).^alpha2);
166             tempo_oper2(j) = (k2*TMS_51)/(m_alpha2-1); %TEMPO DE OPERAÇÃO DO RELAY
167
168         end
169         if curva_relay == 3 || curva_relay2==3 %CURVA EXTREMAMENTE INVERSA
170             k2 = 80;
171             alpha2 = 2; %INCLINAÇÃO DA CURVA
172             m_alpha2 = ((If(j)/Id).^alpha2);
173             tempo_oper2(j) = (k2*TMS_51)/(m_alpha2-1); %TEMPO DE OPERAÇÃO DO RELAY
174
175         end
176         if curva_relay == 1 || curva_relay2==1
177             loglog(If, tempo_oper, 'k', 'LineWidth', 1);
178             if dispositivo == 2
179                 loglog(If, kt*tempo_oper, 'k', 'LineStyle', '-', 'LineWidth', 1);
180             end
181
182         end
183
184         if curva_relay == 2 || curva_relay2 == 2
185             loglog(If, tempo_oper2, 'k', 'LineWidth', 1);
186         end
187
188     end
189
190     hold on
191     loglog([limite_reta limite_reta], [0.01 600], 'r', 'LineWidth', 1);
192     loglog([limite_reta2 limite_reta2], [0.01 600], 'r', 'LineWidth', 1);
193     grid
194     legend('ELO 0,5A corrente mínima', 'ELO 0,5A corrente máxima', 'ELO 1A corrente mínima', 'ELO 1A corrente ...
195           máxima', 'ELO 2A corrente mínima', 'ELO 2A corrente máxima', 'ELO 3A corrente mínima', 'ELO 3A ...
196           corrente máxima', 'ELO 5A corrente mínima', 'ELO 5A corrente máxima', 'CURVAS DO DISPOSITIVO')
197
198     xlabel('Corrente [A]')
199     ylabel('Tempo [s]')
200     hold off
201
202 end
203
204 if tipo == 2 %tipo K
205     dados = xlsread(filename, 'TIPO K');
206     if grupo==1
207         for l=0:8 %GRUPO A
208             figure(2)
209             loglog(dados(:,1+(4*l)), dados(:,3+(4*l)), 'Color', color{1+l}, 'LineWidth', 1)
210             hold on
211             loglog(dados(:,2+(4*l)), dados(:,3+(4*l)), 'Color', color{1+l}, 'LineStyle', '-', 'LineWidth', 1)
212             title('ELOS FUSÍVEIS TIPO K GRUPO A')
213
214         end
215
216         if tipo_at1==1 || tipo_at2 == 1
217             If = Id:1:Id+9999; %CORRENTE DE FALTA
218             loglog([Id Id+9999], [tempo_def tempo_def], 'k', 'LineWidth', 1);
219             if dispositivo == 2
220                 loglog([Id Id+9999], [kt*tempo_def kt*tempo_def], 'k', 'LineStyle', '-', 'LineWidth', 1);
221             end
222             if tipo_at1 == 1 && tipo_at2 == 1
223                 loglog([Id Id+9999], [tempo_def2 tempo_def2], 'k', 'LineWidth', 1);
224
225         end
226
227     end
228
229 if tipo_at1==2 || tipo_at2 == 2
230     for j=1:10000
231         If = Id:1:Id+9999; %CORRENTE DE FALTA
232         if curva_relay == 1 || curva_relay2==1 %CURVA NORMALMENTE INVERSA
233             k = 0.14;
234             alpha = 0.02; %INCLINAÇÃO DA CURVA
235             m_alpha = ((If(j)/Id).^alpha);

```

```

225         tempo_oper(j) = (k*TMS_50)/(m_alpha-1); %TEMPO DE OPERAÇÃO DO RELAY
226     end
227     if curva_relay2 == 2 || curva_relay==2 %CURVA MUITO INVERSA
228         k2 = 13.5;
229         alpha2 = 1; %INCLINAÇÃO DA CURVA
230         m_alpha2 = ((If(j)/Id).^alpha2);
231         tempo_oper2(j) = (k2*TMS_51)/(m_alpha2-1); %TEMPO DE OPERAÇÃO DO RELAY
232     end
233     if curva_relay2 == 3 || curva_relay==3 %CURVA EXTREMAMENTE INVERSA
234         k2 = 80;
235         alpha2 = 2; %INCLINAÇÃO DA CURVA
236         m_alpha2 = ((If(j)/Id).^alpha2);
237         tempo_oper2(j) = (k2*TMS_51)/(m_alpha2-1); %TEMPO DE OPERAÇÃO DO RELAY
238     end
239     end
240
241     if curva_relay == 1 || curva_relay2==1
242         loglog(If,tempo_oper,'k','LineWidth',1);
243         if dispositivo == 2
244             loglog(If,kt*tempo_oper,'k','LineStyle','—','LineWidth',1);
245         end
246     end
247
248     if curva_relay == 2 || curva_relay2 == 2
249         loglog(If,tempo_oper2,'k','LineWidth',1);
250     end
251
252     end
253     hold on
254     loglog([limite_reta limite_reta2],[0.01 600], 'r','LineWidth',1);
255     loglog([limite_reta2 limite_reta2],[0.01 600], 'r','LineWidth',1);
256     grid
257     legend('ELO 6A corrente mínima','ELO 6A corrente máxima','ELO 10A corrente mínima','ELO 10A corrente ...
        máxima','ELO 15A corrente mínima','ELO 15A corrente máxima','ELO 25A corrente mínima','ELO 25A ...
        corrente máxima','ELO 40A corrente mínima','ELO 40A corrente máxima','ELO 65A corrente ...
        mínima','ELO 65A corrente máxima','ELO 100A corrente mínima','ELO 100A corrente máxima','ELO 140A ...
        corrente mínima','ELO 140A corrente máxima','ELO 200A corrente mínima','ELO 200A corrente máxima', ...
        'CURVAS DO DISPOSITIVO')
258     xlabel('Corrente [A]')
259     ylabel('Tempo [s]')
260     hold off
261
262     end
263     if grupo==2
264         for m_alpha=9:14 %GRUPO B
265             figure(2)
266             loglog(dados(:,1+(4*m_alpha)),dados(:,3+(4*m_alpha)),'Color',color{m_alpha+1},'LineWidth',1)
267             hold on
268             loglog(dados(:,2+(4*m_alpha)),dados(:,3+(4*m_alpha)),'Color',color{m_alpha+1},'LineStyle','—',
269                 'LineWidth',1)
270             title('ELOS FUSÍVEIS TIPO K GRUPO B')
271         end
272         if tipo_at1==1 || tipo_at2 == 1
273             If = Id:1:Id+9999;%CORRENTE DE FALTA
274             loglog([Id Id+9999],[tempo_def tempo_def],'k','LineWidth',1);
275             if dispositivo == 2
276                 loglog([Id Id+9999],[kt*tempo_def kt*tempo_def],'k','LineStyle','—','LineWidth',1);
277             end
278             if tipo_at1 == 1 && tipo_at2 == 1
279                 loglog([Id Id+9999],[tempo_def2 tempo_def2],'k','LineWidth',1);
280             end
281         end
282
283         end
284     if tipo_at1==2 || tipo_at2 == 2
285         for j=1:10000
286             If = Id:1:Id+9999; %CORRENTE DE FALTA
287             if curva_relay == 1 || curva_relay2==1 %CURVA NORMALMENTE INVERSA
288                 k = 0.14;
289                 alpha = 0.02; %INCLINAÇÃO DA CURVA
290                 m_alpha = ((If(j)/Id).^alpha);
291                 tempo_oper(j) = (k*TMS_50)/(m_alpha-1); %TEMPO DE OPERAÇÃO DO RELAY
292             end
293             if curva_relay2 == 2 || curva_relay==2 %CURVA MUITO INVERSA
294                 k2 = 13.5;
295                 alpha2 = 1; %INCLINAÇÃO DA CURVA
296                 m_alpha2 = ((If(j)/Id).^alpha2);
297                 tempo_oper2(j) = (k2*TMS_51)/(m_alpha2-1); %TEMPO DE OPERAÇÃO DO RELAY
298             end
299             if curva_relay2 == 3 || curva_relay==3 %CURVA EXTREMAMENTE INVERSA
300                 k2 = 80;
301                 alpha2 = 2; %INCLINAÇÃO DA CURVA
302                 m_alpha2 = ((If(j)/Id).^alpha2);

```

```

303         tempo_oper2(j) = (k2*TMS_51)/(m_alpha2-1); %TEMPO DE OPERAÇÃO DO RELAY
304     end
305 end
306
307 if curva_relay == 1 || curva_relay2==1
308     loglog(If,tempo_oper,'k','LineWidth',1);
309     if dispositivo == 2
310         loglog(If,kt*tempo_oper,'k','LineStyle','—','LineWidth',1);
311     end
312
313 end
314 if curva_relay == 2 || curva_relay2 == 2
315     loglog(If,tempo_oper2,'k','LineWidth',1);
316 end
317
318 end
319 hold on
320 loglog([limite_reta limite_reta],[0.01 600], 'r','LineWidth',1);
321 loglog([limite_reta2 limite_reta2],[0.01 600], 'r','LineWidth',1);
322 grid
323 legend('ELO 8A corrente mínima','ELO 8A corrente máxima','ELO 12A corrente mínima','ELO 12A corrente ...
    máxima','ELO 20A corrente mínima','ELO 20A corrente máxima','ELO 30A corrente mínima','ELO 30A ...
    corrente máxima','ELO 50A corrente mínima','ELO 50A corrente máxima','ELO 80A corrente ...
    mínima','ELO 80A corrente máxima','CURVAS DO DISPOSITIVO')
324 xlabel('Corrente [A]')
325 ylabel('Tempo [s]')
326
327 end
328 end
329
330 if tipo == 3 %tipo T
331     dados = xlsread(filename, 'TIPO T');
332     if grupo==1 %GRUPO A
333         for n=0:8
334             figure(3)
335             loglog(dados(:,1+(4*n)),dados(:,3+(4*n)), 'Color',color{n+1},'LineWidth',1)
336             hold on
337             loglog(dados(:,2+(4*n)),dados(:,3+(4*n)), 'Color',color{n+1},'LineStyle','—','LineWidth',1)
338             title('ELOS FUSÍVEIS TIPO T GRUPO A')
339         end
340         if tipo_at1==1 || tipo_at2 == 1
341             If = Id:1:Id+9999;%CORRENTE DE FALTA
342             loglog([Id Id+9999],[tempo_def tempo_def], 'k','LineWidth',1);
343             if dispositivo == 2
344                 loglog([Id Id+9999],[kt*tempo_def kt*tempo_def], 'k','LineStyle','—','LineWidth',1);
345             end
346             if tipo_at1 == 1 && tipo_at2 == 1
347                 loglog([Id Id+9999],[tempo_def2 tempo_def2], 'k','LineWidth',1);
348             end
349         end
350     end
351
352 if tipo_at1==2 || tipo_at2 == 2
353     for j=1:10000
354         If = Id:1:Id+9999; %CORRENTE DE FALTA
355         if curva_relay == 1 || curva_relay2==1 %CURVA NORMALMENTE INVERSA
356             k = 0.14;
357             alpha = 0.02; %INCLINAÇÃO DA CURVA
358             m_alpha = ((If(j)/Id).^alpha);
359             tempo_oper(j) = (k*TMS_50)/(m_alpha-1); %TEMPO DE OPERAÇÃO DO RELAY
360         end
361         if curva_relay2 == 2 || curva_relay==2 %CURVA MUITO INVERSA
362             k2 = 13.5;
363             alpha2 = 1; %INCLINAÇÃO DA CURVA
364             m_alpha2 = ((If(j)/Id).^alpha2);
365             tempo_oper2(j) = (k2*TMS_51)/(m_alpha2-1); %TEMPO DE OPERAÇÃO DO RELAY
366         end
367         if curva_relay2 == 3 || curva_relay==3 %CURVA EXTREMAMENTE INVERSA
368             k2 = 80;
369             alpha2 = 2; %INCLINAÇÃO DA CURVA
370             m_alpha2 = ((If(j)/Id).^alpha2);
371             tempo_oper2(j) = (k2*TMS_51)/(m_alpha2-1); %TEMPO DE OPERAÇÃO DO RELAY
372         end
373     end
374
375     if curva_relay == 1 || curva_relay2==1
376         loglog(If,tempo_oper,'k','LineWidth',1);
377         if dispositivo == 2
378             loglog(If,kt*tempo_oper,'k','LineStyle','—','LineWidth',1);
379         end
380     end
381 end
382 if curva_relay == 2 || curva_relay2 == 2

```

```

383         loglog(If,tempo_oper2,'k','LineWidth',1);
384     end
385
386     end
387     hold on
388     loglog([limite_reta limite_reta],[0.01 600],'r','LineWidth',1);
389     loglog([limite_reta2 limite_reta2],[0.01 600],'r','LineWidth',1);
390     grid
391     legend('ELO 6A corrente mínima','ELO 6A corrente máxima','ELO 10A corrente mínima','ELO 10A corrente ...
        máxima','ELO 15A corrente mínima','ELO 15A corrente máxima','ELO 25A corrente mínima','ELO 25A ...
        corrente máxima','ELO 40A corrente mínima','ELO 40A corrente máxima','ELO 65A corrente ...
        mínima','ELO 65A corrente máxima','ELO 100A corrente mínima','ELO 100A corrente máxima','ELO 140A ...
        corrente mínima','ELO 140A corrente máxima','ELO 200A corrente mínima','ELO 200A corrente ...
        máxima','CURVAS DO DISPOSITIVO')
392 xlabel('Corrente [A]')
393 ylabel('Tempo [s]')
394
395
396     end
397
398
399
400     if grupo==2 %GRUPO B
401         for o=9:14
402             figure(3)
403             loglog(dados(:,1+(4*o)),dados(:,3+(4*o)),'Color',color{o+1},'LineWidth', 1)
404             hold on
405             loglog(dados(:,2+(4*o)),dados(:,3+(4*o)),'Color',color{o+1},'LineStyle','—','LineWidth', 1)
406             title('ELOS FUSÍVEIS TIPO T GRUPO B')
407         end
408         if tipo_at1==1 || tipo_at2 == 1
409             If = Id:1:Id+9999;%CORRENTE DE FALTA
410             loglog([Id Id+9999],[tempo_def tempo_def],'k','LineWidth', 1);
411             if dispositivo == 2
412                 loglog([Id Id+9999],[kt*tempo_def kt*tempo_def],'k','LineStyle','—','LineWidth', 1);
413             end
414             if tipo_at1 == 1 && tipo_at2 == 1
415                 loglog([Id Id+9999],[tempo_def2 tempo_def2],'k','LineWidth', 1);
416             end
417         end
418
419     end
420     if tipo_at1==2 || tipo_at2 == 2
421         for j=1:10000
422             If = Id:1:Id+9999; %CORRENTE DE FALTA
423             if curva_relay == 1 || curva_relay2==1 %CURVA NORMALMENTE INVERSA
424                 k = 0.14;
425                 alpha = 0.02; %INCLINAÇÃO DA CURVA
426                 m_alpha = ((If(j)/Id).^alpha);
427                 tempo_oper(j) = (k*TMS_50)/(m_alpha-1); %TEMPO DE OPERAÇÃO DO RELAY
428             end
429             if curva_relay2 == 2 || curva_relay==2 %CURVA MUITO INVERSA
430                 k2 = 13.5;
431                 alpha2 = 1; %INCLINAÇÃO DA CURVA
432                 m_alpha2 = ((If(j)/Id).^alpha2);
433                 tempo_oper2(j) = (k2*TMS_51)/(m_alpha2-1); %TEMPO DE OPERAÇÃO DO RELAY
434             end
435             if curva_relay2 == 3 || curva_relay==3 %CURVA EXTREMAMENTE INVERSA
436                 k2 = 80;
437                 alpha2 = 2; %INCLINAÇÃO DA CURVA
438                 m_alpha2 = ((If(j)/Id).^alpha2);
439                 tempo_oper2(j) = (k2*TMS_51)/(m_alpha2-1); %TEMPO DE OPERAÇÃO DO RELAY
440             end
441         end
442         if curva_relay == 1 || curva_relay2==1
443             loglog(If,tempo_oper,'k','LineWidth', 1);
444             if dispositivo == 2
445                 loglog(If,kt*tempo_oper,'k','LineStyle','—','LineWidth', 1);
446             end
447         end
448     end
449     if curva_relay == 2 || curva_relay2 == 2
450         loglog(If,tempo_oper2,'k','LineWidth',1);
451     end
452
453     end
454
455
456
457
458
459
460

```



```

461
462 hold on
463 loglog([limite_reta limite_reta], [0.01 600], 'r','LineWidth',1);
464 loglog([limite_reta2 limite_reta2], [0.01 600], 'r','LineWidth',1);
465 grid
466 legend('ELO 8A corrente mínima','ELO 8A corrente máxima','ELO 12A corrente mínima','ELO 12A corrente ...
    máxima','ELO 20A corrente mínima','ELO 20A corrente máxima','ELO 30A corrente mínima','ELO 30A ...
    corrente máxima','ELO 50A corrente mínima','ELO 50A corrente máxima','ELO 80A corrente ...
    mínima','ELO 80A corrente máxima','CURVAS DO DISPOSITIVO')
467 xlabel('Corrente [A]')
468 ylabel('Tempo [s]')
469
470 end
471 end

```

b Manual do Simulador para coordenação de dispositivos de proteção em sistemas de distribuição

O objetivo deste manual é facilitar na escolha dos relés de sobrecorrente (funções 50/51), religadores, seccionadores e na escolha de elos-fusíveis para proteção de redes de distribuição, além de verificar a coordenação dos elos-fusíveis e os dispositivos na rede.

Foram cadastradas em uma planilha as curvas dos elos-fusíveis de tipo H, K e T fornecidas pelos fabricantes dos elos. As equações corrente x tempo dos relés, religadores e seccionadores foram inseridas no MATLAB de modo que seus parâmetros sejam escolhidos pelo usuário, da mesma maneira que se configura um dispositivo.

- 1º passo - Rodar o programa:
 - Pressione o comando Run do Matlab.

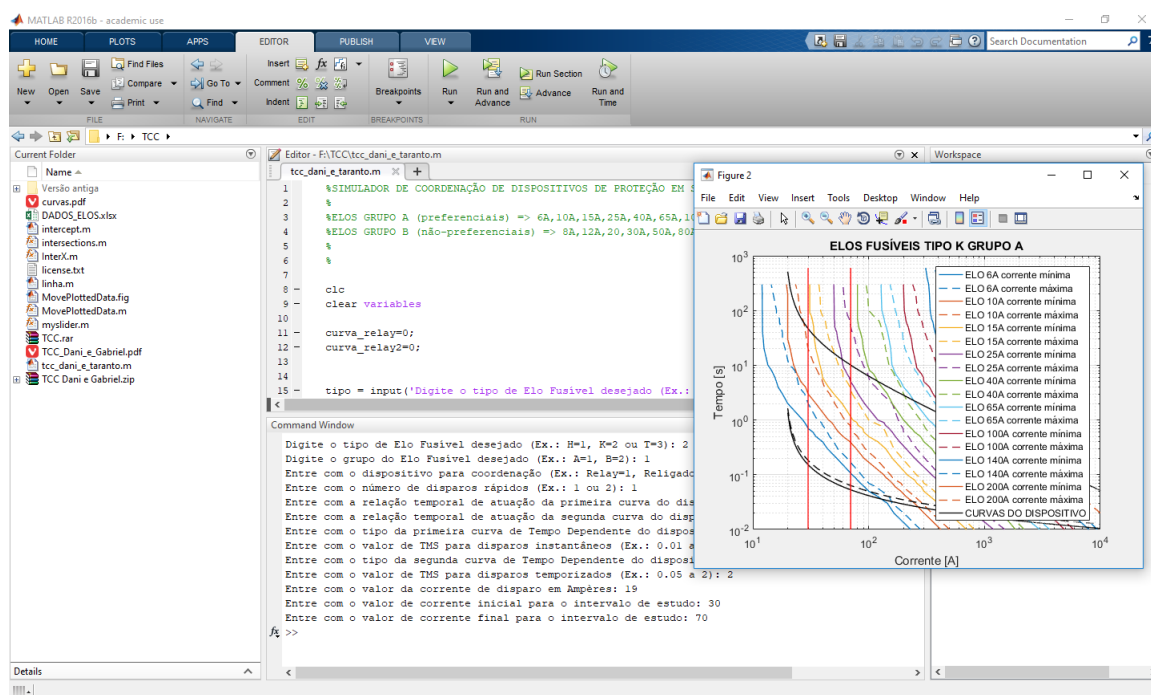


Figura 19: Simulador funcionando.

- 2º passo - Escolher o tipo de elo-fusível:
 - Para tipo H, pressione 1 e em seguida ENTER e siga para o 3º passo;
 - Para tipo K, pressione 2 e em seguida ENTER;
 - * Posteriormente, pressione 1 para obter as curvas do grupo A ou 2 para o grupo B e siga para o 3ºPasso;

– Para tipo T pressione 3 e em seguida ENTER;

* Posteriormente, pressione 1 para obter as curvas do grupo A ou 2 para o grupo B e siga para o 3º Passo;

Abaixo a mensagem que aparece na janela de comando ao rodarmos o programa, onde será executado o 2º passo.

```
Command Window
Digite o tipo de Elo Fusível desejado (Ex.: H=1, K=2 ou T=3): 2
fx Digite o grupo do Elo Fusível desejado (Ex.: A=1, B=2): |
```

Figura 20: Mensagem para o 2º passo.

• 3º Passo - Escolher o tipo de dispositivo a ser estudado:

– Para Relé, pressione 1 e ENTER;

– Para Religador ou Seccionalizador, pressione 2 e ENTER;

* Selecione o número de disparos rápidos (1 ou 2) do religador para ajuste e ENTER.

```
Command Window
Digite o tipo de Elo Fusível desejado (Ex.: H=1, K=2 ou T=3): 2
Digite o grupo do Elo Fusível desejado (Ex.: A=1, B=2): 1
Entre com o dispositivo para coordenação (Ex.: Relay=1, Religador/Seccionalizador=2): 2
fx Entre com o número de disparos rápidos (Ex.: 1 ou 2): |
```

Figura 21: Mensagem para o 3º passo.

• 4º passo – Escolher a relação temporal de atuação da primeira curva do dispositivo (1 = Tempo definido, 2 = Tempo dependente).

```
Command Window
Digite o tipo de Elo Fusível desejado (Ex.: H=1, K=2 ou T=3): 2
Digite o grupo do Elo Fusível desejado (Ex.: A=1, B=2): 1
Entre com o dispositivo para coordenação (Ex.: Relay=1, Religador/Seccionalizador=2): 2
Entre com o número de disparos rápidos (Ex.: 1 ou 2): 2
fx Entre com a relação temporal de atuação da primeira curva do dispositivo (Ex.: Tempo Definido = 1, Tempo Dependente = 2): |
```

Figura 22: Mensagem para o 4º passo.

• 5º passo – Escolher a relação temporal de atuação da segunda curva do dispositivo (1 = Tempo definido, 2 = Tempo dependente).

```
Command Window
Digite o tipo de Elo Fusível desejado (Ex.: H=1, K=2 ou T=3): 2
Digite o grupo do Elo Fusível desejado (Ex.: A=1, B=2): 1
Entre com o dispositivo para coordenação (Ex.: Relay=1, Religador/Seccionalizador=2): 2
Entre com o número de disparos rápidos (Ex.: 1 ou 2): 2
Entre com a relação temporal de atuação da primeira curva do dispositivo (Ex.: Tempo Definido = 1, Tempo Dependente = 2): 2
fx Entre com a relação temporal de atuação da segunda curva do dispositivo (Ex.: Tempo Definido = 1, Tempo Dependente = 2): |
```

Figura 23: Mensagem para o 5º passo.

- 6º passo – Caso tenha escolhido a relação de tempo definido para uma ou mais curvas, deve ser inserido o valor de tempo para a primeira curva de tempo definido, de 0,05 s até 100 s e para a segunda curva logo em seguida, caso existam duas curvas de tempo definido.

```
Command Window
Digite o tipo de Elo Fusível desejado (Ex.: H=1, K=2 ou T=3): 2
Digite o grupo do Elo Fusível desejado (Ex.: A=1, B=2): 1
Entre com o dispositivo para coordenação (Ex.: Relay=1, Religador/Seccionalizador=2): 2
Entre com o número de disparos rápidos (Ex.: 1 ou 2): 2
Entre com a relação temporal de atuação da primeira curva do dispositivo (Ex.: Tempo Definido = 1, Tempo Dependente = 2): 2
Entre com a relação temporal de atuação da segunda curva do dispositivo (Ex.: Tempo Definido = 1, Tempo Dependente = 2): 1
fx Entre com o valor de tempo para a primeira curva de Tempo Definido (Ex.: 0.05 a 100 [segundos]): |
```

Figura 24: Mensagem para o 6º passo.

- 7º passo – Caso uma ou mais curvas sejam de tempo dependente, deve-se inserir o tipo da primeira curva (NI = 1, MI = 2 ou EI = 3).

```
Command Window
Digite o tipo de Elo Fusível desejado (Ex.: H=1, K=2 ou T=3): 2
Digite o grupo do Elo Fusível desejado (Ex.: A=1, B=2): 1
Entre com o dispositivo para coordenação (Ex.: Relay=1, Religador/Seccionalizador=2): 2
Entre com o número de disparos rápidos (Ex.: 1 ou 2): 2
Entre com a relação temporal de atuação da primeira curva do dispositivo (Ex.: Tempo Definido = 1, Tempo Dependente = 2): 2
Entre com a relação temporal de atuação da segunda curva do dispositivo (Ex.: Tempo Definido = 1, Tempo Dependente = 2): 1
Entre com o valor de tempo para a primeira curva de Tempo Definido (Ex.: 0.05 a 100 [segundos]): 0.5
fx Entre com o tipo da primeira curva de Tempo Dependente do dispositivo (Ex.: NI=1, MI=2, EI=3): |
```

Figura 25: Mensagem para o 7º passo.

- 8º passo – Entre com o valor de TMS da curva ou curvas de tempo dependente;
 - Para disparos instantâneos, o TMS varia de 0.01 a 0.1 com passo de 0.01;
 - Para disparos temporizados, o TMS varia de 0.05 a 2 com passo de 0.01;
 - Digite um valor entre 0.01 e 2, em seguida pressione ENTER e siga para o 9ºPasso.

```
Command Window
Digite o tipo de Elo Fusível desejado (Ex.: H=1, K=2 ou T=3): 2
Digite o grupo do Elo Fusível desejado (Ex.: A=1, B=2): 1
Entre com o dispositivo para coordenação (Ex.: Relay=1, Religador/Seccionalizador=2): 2
Entre com o número de disparos rápidos (Ex.: 1 ou 2): 2
Entre com a relação temporal de atuação da primeira curva do dispositivo (Ex.: Tempo Definido = 1, Tempo Dependente = 2): 2
Entre com a relação temporal de atuação da segunda curva do dispositivo (Ex.: Tempo Definido = 1, Tempo Dependente = 2): 1
Entre com o valor de tempo para a primeira curva de Tempo Definido (Ex.: 0.05 a 100 [segundos]): 0.5
Entre com o tipo da primeira curva de Tempo Dependente do dispositivo (Ex.: NI=1, MI=2, EI=3): 1
fx Entre com o valor de TMS para disparos instantâneos (Ex.: 0.01 a 2): |
```

Figura 26: Mensagem para o 8º passo.

- 9º passo – Inserir o valor da corrente de disparo do dispositivo.

```
Command Window
Digite o tipo de Elo Fusível desejado (Ex.: H=1, K=2 ou T=3): 2
Digite o grupo do Elo Fusível desejado (Ex.: A=1, B=2): 1
Entre com o dispositivo para coordenação (Ex.: Relay=1, Religador/Seccionalizador=2): 2
Entre com o número de disparos rápidos (Ex.: 1 ou 2): 2
Entre com a relação temporal de atuação da primeira curva do dispositivo (Ex.: Tempo Definido = 1, Tempo Dependente = 2): 2
Entre com a relação temporal de atuação da segunda curva do dispositivo (Ex.: Tempo Definido = 1, Tempo Dependente = 2): 1
Entre com o valor de tempo para a primeira curva de Tempo Definido (Ex.: 0.05 a 100 [segundos]): 0.5
Entre com o tipo da primeira curva de Tempo Dependente do dispositivo (Ex.: NI=1, MI=2, EI=3): 1
Entre com o valor de TMS para disparos instantâneos (Ex.: 0.01 a 2): 0.01
fx Entre com o valor da corrente de disparo em Amperes: |
```

Figura 27: Mensagem para o 9º passo.

- 10º passo – Inserir o valor da corrente inicial para estudo da coordenação.

```
Command Window
Digite o tipo de Elo Fusível desejado (Ex.: H=1, K=2 ou T=3): 2
Digite o grupo do Elo Fusível desejado (Ex.: A=1, B=2): 1
Entre com o dispositivo para coordenação (Ex.: Relay=1, Religador/Seccionizador=2): 2
Entre com o número de disparos rápidos (Ex.: 1 ou 2): 2
Entre com a relação temporal de atuação da primeira curva do dispositivo (Ex.: Tempo Definido = 1, Tempo Dependente = 2): 2
Entre com a relação temporal de atuação da segunda curva do dispositivo (Ex.: Tempo Definido = 1, Tempo Dependente = 2): 1
Entre com o valor de tempo para a primeira curva de Tempo Definido (Ex.: 0.05 a 100 [segundos]): 0.5
Entre com o tipo da primeira curva de Tempo Dependente do dispositivo (Ex.: NI=1, MI=2, EI=3): 1
Entre com o valor de TMS para disparos instantâneos (Ex.: 0.01 a 2): 0.01
Entre com o valor da corrente de disparo em Ampères: 20
fx Entre com o valor de corrente inicial para o intervalo de estudo: |
```

Figura 28: Mensagem para o 10º passo.

- 11º passo – Inserir o valor da corrente final para estudo da coordenação.

```
Command Window
Digite o tipo de Elo Fusível desejado (Ex.: H=1, K=2 ou T=3): 2
Digite o grupo do Elo Fusível desejado (Ex.: A=1, B=2): 1
Entre com o dispositivo para coordenação (Ex.: Relay=1, Religador/Seccionizador=2): 2
Entre com o número de disparos rápidos (Ex.: 1 ou 2): 2
Entre com a relação temporal de atuação da primeira curva do dispositivo (Ex.: Tempo Definido = 1, Tempo Dependente = 2): 2
Entre com a relação temporal de atuação da segunda curva do dispositivo (Ex.: Tempo Definido = 1, Tempo Dependente = 2): 1
Entre com o valor de tempo para a primeira curva de Tempo Definido (Ex.: 0.05 a 100 [segundos]): 0.5
Entre com o tipo da primeira curva de Tempo Dependente do dispositivo (Ex.: NI=1, MI=2, EI=3): 1
Entre com o valor de TMS para disparos instantâneos (Ex.: 0.01 a 2): 0.01
Entre com o valor da corrente de disparo em Ampères: 20
Entre com o valor de corrente inicial para o intervalo de estudo: 50
fx Entre com o valor de corrente final para o intervalo de estudo: |
```

Figura 29: Mensagem para o 11º passo.

Como resultado, um gráfico com as curvas dos elos-fusíveis e as curvas do dispositivo escolhido (disparo temporizado e instantâneo) com os parâmetros definidos pelo usuário são plotadas para verificação da intersecção das curvas dentro do intervalo escolhido de estudo.

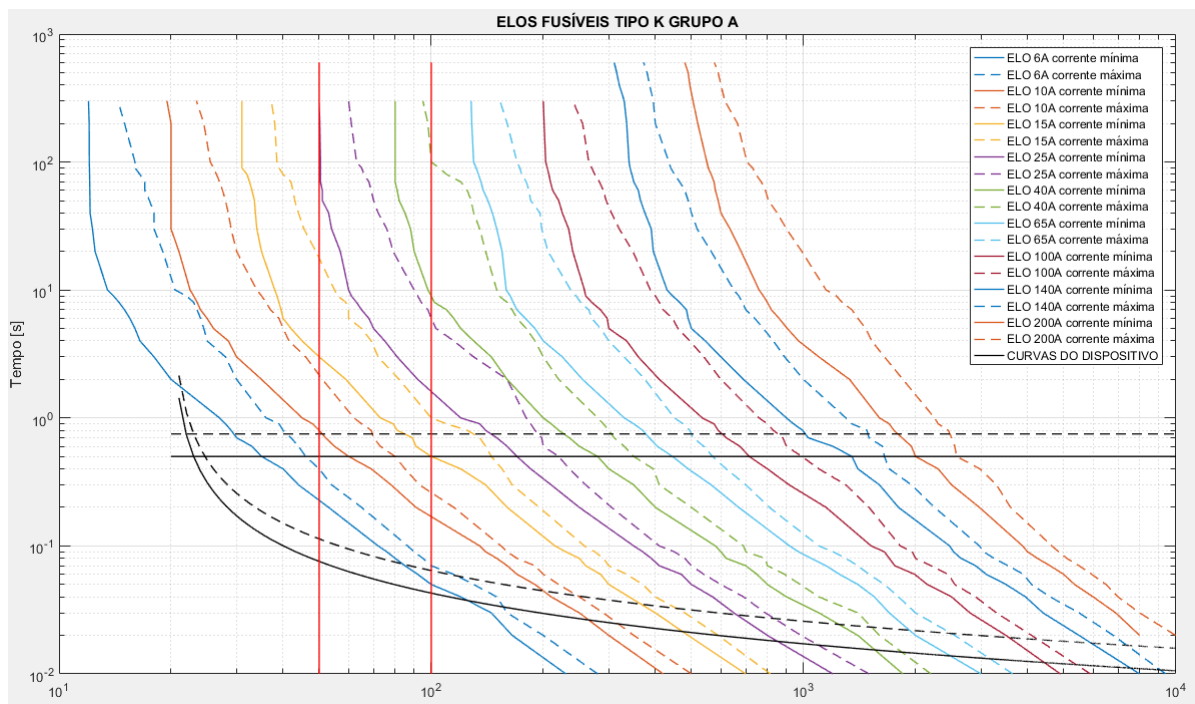


Figura 30: Curvas dos elos-fusíveis e do dispositivo escolhido plotadas.

Referências

- [1] M. A. D. de Almeida, *Apostila de Proteção de Sistemas Elétricos*. UFRN, 2000.
- [2] J. Mamede, *Manual de Equipamentos Elétricos*. Rio de Janeiro: LTC, 2005.
- [3] S. Giquer, *Proteção de Sistemas de Distribuição*. SAGRA, 1988.
- [4] C. A. C., *Introdução à Proteção dos Sistemas elétricos*. Porto Alegre: SAGRA, 1988.
- [5] J. Mamede, *Proteção de sistemas elétricos de potência*. Rio de Janeiro: LTC, 2005.
- [6] F. Sato, *Apostila de Proteção de Sistemas de Energia Elétrica*. UNICAMP, 2005.
- [7] J. M. G. e Edward J. Holmes, *Protection of Electricity Distribution Networks*. The Institution of Engineering and Technology, 2011.