CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ESTUDO DE PROTEÇÃO E SELETIVIDADE EM SISTEMAS ELÉTRICOS RADIAIS

Andre do Nascimento Silva

João Paulo Retori Rocha

Raphael Silva e Souza

ESTUDO DE PROTEÇÃO E SELETIVIDADE EM SISTEMAS ELÉTRICOS RADIAIS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de engenharia elétrica, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de bacharelado em engenharia elétrica.

COMISSÃO EXAMINADORA

_____

Prof. Dr. Felipe de Souza Delgado

Orientador

_____

Prof. Dr. Samuel Neves Duarte

_____

Profa. Dra. Zélia Maria Veloso Missagia

Nepomuceno, 06 de julho de 2023

DEDICATÓRIA

A Deus, por ser extremamente paciente e piedoso conosco...

Aos nossos pais que foram companheiros em todas as horas...

E aos colegas de curso que nos ajudaram nesta jornada...

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de expressar nossos sinceros agradecimentos aos nossos familiares e amigos pelo apoio incondicional ao longo de toda a jornada acadêmica.

Aos nossos pais, irmãos e demais familiares, por serem fontes de inspiração e encorajamento, por compreenderem nossas ausências durante as horas de estudo e por nos encorajarem a seguir em frente mesmo nos momentos mais desafiadores.

Gostaríamos também de estender nossos agradecimentos ao nosso professor orientador, o Dr. Felipe de Souza Delgado, pela sua dedicação, orientação precisa e valiosas contribuições ao longo do desenvolvimento deste trabalho. Sua experiência e conhecimento foram essenciais para o aprimoramento de nossas ideias e para a elaboração de um trabalho de qualidade.

Por fim, gostaria de expressar nossa gratidão a todos aqueles que, direta ou ansiosamente, nos apoiaram ao longo desta jornada. Sem o apoio de cada um de vocês, certamente não teríamos alcançado esse marco importante em nossas vidas.

Muito obrigado a todos!

EPÍGRAFE

Que todos os nossos esforços estejam sempre focados no desafio à impossibilidade. Todas as grandes conquistas humanas vieram daquilo que parecia impossível (Charles Chaplin).

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo desenvolver um programa para realizar a coordenação de relés de proteção de sobrecorrente temporizada e instantânea em sistemas elétricos radiais. Com o programa, é possível simular sistemas radiais com diferentes números de barras, especificar os transformadores de corrente associados aos relés de proteção e obter os coordenogramas de fase e neutro. Por fim, discute-se parâmetros importantes em um sistema de proteção que proporcionam uma resposta eficiente e rápida em caso de falhas, minimizando os impactos no sistema elétrico e mantendo a continuidade do fornecimento de energia aos consumidores.

Palavras-chave: Proteção de Sobrecorrente; Seletividade; Relés de Proteção; Coordenação.

ABSTRACT

This study develops a program that coordinates overcurrent relays in an electrical system. The program simulates radial systems with different numbers of bar, specifies the current transformers associated with the protection relays and coordinates phase and neutral overcurrent protections. Finally, important parameters can be observed and discussed in a protection system that provides an efficient and fast response in case of failures. Therefore, minimizing impacts on the electrical system and maintaining the continuities of the energy supply system to consumers.

Keywords: Overcurrent Protection; Selectivity; Protection Relay; Coordination.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Zonas de proteção de um segmento de um sistema elétrico 12

Figura 2 - Sistema radial de 4 barras 22

Figura 3 - Sistema para estudo de caso 1 26

Figura 4 - Dados de placa do transformador de corrente (TC) 27

Figura 5 - Ajuste dos relés 27

Figura 6 - Gráfico da coordenação das funções 50 e 51 de fase 29

Figura 7 – Gráfico da coordenação das funções 50 e 51 de neutro 31

Figura 8 – Sistema para o estudo de caso 2 32

Figura 9 – Dados de placa do transformador de corrente (TC) 33

Figura 10 – Ajuste dos relés 34

Figura 11 – Gráfico da coordenação das funções 50 e 51 de fase 34

Figura 12 – Gráfico da coordenação das funções 50 e 51 de neutro 36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores de corrente no primário do TC.....17

Tabela 2 - Valores de FT 18

Tabela 3 - Característica da curva do Relé - Norma ANSI 20

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 8

2 OBJETIVOS 10

2.1 GERAL 10

2.2 ESPECÍFICO 10

3 REFERECIAL TEÓRICO 11

3.1 FILOSOFIA DE PROTEÇÃO 11

3.2 TRANSFORMADOR DE CORRENTE 13

3.3 RELÉS DE SOBRECORRENTE 13

3.3.1 RELÉS DE SOBRECORRENTE INSTANTÂNEO 14

3.3.2 RELÉS DE SOBRECORRENTE TEMPORIZADOS 14

3.4 COORDENAÇÃO 15

3.5 SELETIVIDADE 15

4 METODOLOGIA 16

4.1 CRITÉRIOS DO TRANSFORMADOR DE CORRENTE (TC) 16

4.2 DETERMINAÇÃO DA RELAÇÃO DE TRANSFORMAÇÃO (RTC) 17

4.3 FATOR TÉRMICO 18

4.4 CORRENTE TÉRMICA NOMINAL DE CURTA DURAÇÃO 18

4.5 CORRENTE DINÂMICA NOMINAL 18

4.6 MARGEM DE SEGURANÇA DA CORRENTE DE AJUSTE DO RELÉ DE SOBRECORRENTE 19

4.7 CORRENTE DE AJUSTE DO RELÉ ($\mathbf{I_{ajuste\ do\ rele}}$) 19

4.8 MÚLTIPLO DO RELÉ (M) 20

4.9 AJUSTE DE TEMPO DO RELÉ FUNÇÃO 51 ($t_{atuação\ do\ relé}$) 20

4.10 AJUSTE DE TEMPO DO RELÉ FUNÇÃO 50 ($t_{atuação\ do\ relé}$) 21

4.11 FUNÇÃO 51N 22
4.12 COORDENAÇÃO FASE E NEUTRO 22
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES 26
5.1 ESTUDO DE CASO 1 26
5.2 ESTUDO DE CASO 2 32
6 CONCLUSÃO 38
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 40
ANEXO A – CÓDIGO 43

1 INTRODUÇÃO

O objetivo de um sistema elétrico de potência (SEP) consiste em gerar, transmitir e fornecer energia elétrica aos consumidores de maneira a satisfazer a demanda solicitada, levando em consideração critérios de qualidade, confiabilidade e eficiência econômica (ANDRADE, 2008).

Logo, é importante resguardar esses sistemas por meio de dispositivos de proteção que operam de acordo com as características do sistema os quais estão alocados. A proteção dos sistemas elétricos de potência é feita basicamente por relés. Esses dispositivos possuem a função de identificar uma possível falha e promover a abertura de disjuntores para isolar o defeito sem que outras partes do sistema sejam prejudicadas (MAMEDE FILHO, 2020).

Desta forma, é essencial que todos os dispositivos de proteção não atuem independentemente, mas sim, que suas características de operação possuam uma relação entre si. Para isso, é importante o estudo de seletividade e coordenação. A coordenação adequada é essencial para evitar, por exemplo, falhas e sobrecargas nas linhas de transmissão, garantindo um fluxo de energia eficiente e seguro (GUIGUER, 1988).

Nesse contexto, é importante observar que a maioria dos programas disponíveis atualmente para a realização da coordenação em sistemas elétricos são pagos, o que pode representar uma barreira significativa para estudantes e profissionais que buscam aprender e aprimorar seus conhecimentos nessa área. A falta de acesso a ferramentas de software adequadas pode limitar a compreensão dos conceitos e técnicas de coordenação, dificultando o desenvolvimento de competências essenciais para o estudo de proteção.

Além disso, é válido ressaltar que os programas comerciais disponíveis muitas vezes possuem funcionalidades complexas e específicas, que podem tornar a aprendizagem mais desafiadora para os iniciantes. Por esse motivo, a criação de um programa voltado para o uso didático, como o que foi desenvolvido neste trabalho, se mostra como uma alternativa valiosa. Ele oferece uma abordagem mais simplificada

e intuitiva, permitindo que os estudantes explorem os conceitos de coordenação em um ambiente mais amigável e acessível.

A proposta é fornecer aos alunos e demais interessados uma ferramenta acessível e de fácil utilização, que permita simular e compreender os princípios da coordenação em um sistema elétrico radial de forma prática e interativa.

Com o simulador desenvolvido, espera-se facilitar o processo de aprendizagem, permitindo que os estudantes experimentem e analisem diferentes condições operacionais. Além disso, o simulador também pode ser uma ferramenta útil para professores, auxiliando-os no ensino e na demonstração dos conceitos de proteção de sistemas elétricos de potência.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Desenvolver um simulador utilizando o MATLAB com o propósito de estabelecer a coordenação eficiente entre os relés de proteção de sobrecorrente de fase e neutro.

2.2 ESPECÍFICOS

- Apresentar dois estudos de caso de um sistema elétrico radial tendo em vista observar diferentes situações de coordenação dos relés de proteção.
- Especificar os transformadores de corrente de acordo com a ABNT NBR 6856.
- Adequar os parâmetros dos relés de proteção com a finalidade de deixar o sistema seletivo e coordenado.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 FILOSOFIA DE PROTEÇÃO

Na área de proteção, existem determinados parâmetros que desempenham um papel crucial na qualidade e segurança dos sistemas de transmissão, geração e distribuição. Dentre esses parâmetros, destacam-se a rapidez na detecção e extinção de falhas, bem como a sensibilidade na identificação de eventos indesejados.

Por meio de um planejamento adequado, é possível agir de maneira significativa em pontos cruciais, como a confiabilidade do sistema, a segurança das instalações, a otimização dos tempos de resposta, a redução de gastos financeiros relacionados à manutenção corretiva e preventiva, e a melhoria do fornecimento de energia, seja na transmissão ou na distribuição (RODRIGUES, 2013).

De acordo com a NBR 5462 de 1994, a confiabilidade pode ser definida como a capacidade de um item desempenhar uma função requerida durante um determinado intervalo de tempo e sob condições especificadas. Por outro lado, a falha é caracterizada como o término da capacidade desse item em desempenhar a função requerida.

Essa definição ressalta a importância da confiabilidade como um indicador da capacidade de um sistema ou componente em cumprir sua função de maneira consistente ao longo do tempo. Quando ocorre uma falha, significa que o item não é mais capaz de executar a função desejada, resultando em uma interrupção ou deterioração do desempenho esperado.

Essa compreensão da confiabilidade e falha é fundamental para o planejamento e projeto de sistemas de proteção elétrica, uma vez que se busca garantir um desempenho confiável dos equipamentos e sistemas elétricos, minimizando o risco de falhas que possam afetar a continuidade do fornecimento de energia e a segurança dos usuários.

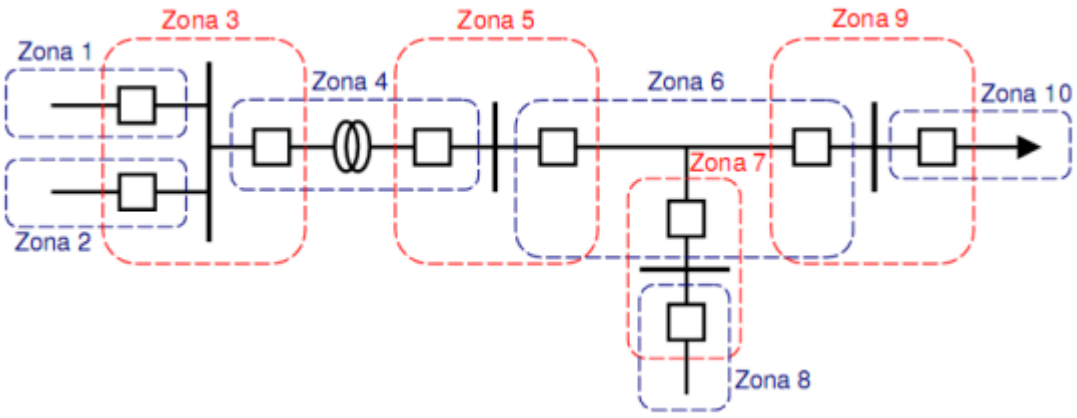
Uma corrente de curto-circuito, que persiste por um período prolongado, pode resultar em danos significativos ao sistema elétrico e até mesmo em um colapso da rede. Portanto, é crucial que um sistema de proteção seja configurado de maneira a eliminar rapidamente a falha, minimizando os danos e os custos associados, ao

mesmo tempo em que promove a segurança tanto em termos de equipamentos quanto de pessoal. Além disso, é essencial garantir a coordenação adequada e a seletividade no sistema como um todo, limitando a interrupção apenas à seção afetada mais próxima do ponto de falha, a fim de reduzir ao máximo o impacto nas demais partes do sistema (RODRIGUES, 2013).

Com a filosofia de proteção, aplicamos as zonas de proteção. As zonas de proteção são formadas por dois tipos, sendo elas a zona primária, zona na qual se encontra a falha no momento, e a zona de retaguarda.

No momento em que ocorre um curto circuito em uma parte da linha de transmissão, o relé mais próximo dessa falha deve atuar primeiro, por se tratar de ser a proteção primária. Entretanto caso essa proteção venha a falhar por qualquer motivo, temos a proteção de retaguarda, que pertence ao relé a montante, que virá a ser acionado após um determinado intervalo de tempo. Um exemplo das zonas é mostrado na Figura 1.

Figura 1 - Zonas de proteção de um segmento de um sistema elétrico.



Fonte: (SILVA, 2008).

3.2 TRANSFORMADOR DE CORRENTE

Os transformadores de corrente (TCs) são equipamentos monofásicos que possuem em sua construção duas bobinas, denominadas como bobina primária e secundária. Em suas características não possuem nenhum contato elétrico, seu acoplamento se dá através da magnetização (MARDEGAN, 2010).

Esses equipamentos fornecem uma corrente secundária de magnitude reduzida que é proporcional a uma corrente primária de elevada magnitude. Desta forma, é possível que os equipamentos de medição e os equipamentos de proteção, os relés, possam realizar as medições das correntes (FRANÇA, 2012).

Kinderman (2005) cita que os TCs possuem basicamente três finalidades:

- Isolar os equipamentos de medição, controle e relés do circuito de alta corrente.
- Fornecer no seu secundário uma corrente proporcional à do primário.
- Fornecer no secundário uma corrente de amplitude adequada para serem usadas nos medidores e relés.

3.3 RELÉ DE SOBRECORRENTE

O relé de sobrecorrente é o dispositivo que tem a função de detectar falhas, por exemplo, um curto-circuito nas linhas de transmissão ou em equipamentos e iniciar manobras a fim de combater essas falhas (CAMINHA, 1977).

São elementos cruciais para a proteção de um sistema elétrico, pois possuem uma sensibilidade alta para detectar defeitos e atuar com rapidez e eficiência. Além disso, são responsáveis por dar “*trip*” no disjuntor, isolando a falha e preservando o restante do sistema (FRANÇA, 2012).

A proteção de sobrecorrente é realizada através de um valor de corrente pré-estabelecida para a atuação, e quando o relé identifica a corrente igual ou superior ele dá o “trip” no disjuntor (SILVA, 2011). Por exemplo, quando a corrente de curto-circuito excede o valor de corrente pré-ajustado do relé, o mesmo atua instantaneamente ou de forma temporizada, conforme a necessidade.

3.3.1 RELÉS DE SOBRECORRENTE INSTANTÂNEO

A proteção instantânea é capaz de atuar imediatamente assim que uma corrente elétrica excede seu valor mínimo de atuação. Com sua resposta rápida, essa proteção é eficaz em interromper correntes anormais e prevenir danos em equipamentos ou sistemas elétricos. Além disso, o tempo de atuação desses relés depende do projeto, tipo e fabricação. Os relés eletromecânicos normalmente atingem 2,3 ciclos e os eletrônicos 0,7 ciclos (KINDERMANN, 2005).

3.3.2 RELÉS DE SOBRECORRENTE TEMPORIZADOS

Os relés de sobrecorrente temporizados são relé que tem em sua funcionalidade característica temporizada. Ou seja, utilizam uma curva de tempo dependente ou uma curva de tempo definido para determinar seu tempo de atuação. Além da corrente mínima de atuação, essa proteção considera o comportamento temporal da corrente elétrica para decidir quando intervir.

Pode-se configurar a proteção de sobrecorrente temporizada com diferentes curvas de atuação, que representam a sensibilidade e a tolerância desejadas. Além disso, o ajuste do dial de tempo é responsável por ajustar a posição vertical da curva de atuação, permitindo a adaptação do tempo de resposta em relação ao nível de corrente. Essa proteção temporizada é particularmente útil para situações em que é necessária uma coordenação precisa entre diferentes dispositivos de proteção em um sistema elétrico (SILVA, 2011).

Sato (2015), diz que os relés temporizados possuem dois ajustes principais:

- O ajuste do TAP: é realizado em função da corrente, permitindo determinar o valor mínimo para a atuação do relé, conhecido como corrente de pick-up ou partida.
- Já o dial de tempo (TD): é selecionado de acordo com as temporizações desejadas para garantir a seletividade, ou seja, para que cada relé atue em momentos específicos e sequenciais, evitando disparos indesejados e garantindo a coordenação adequada das proteções.

3.4 COORDENAÇÃO

A coordenação de relés em sistemas elétricos de potência é um processo essencial para garantir a segurança e a confiabilidade do sistema. A coordenação adequada dos relés de proteção é necessária para evitar a ocorrência de desligamentos desnecessários e para garantir a proteção do sistema em caso de falhas. O objetivo deste trabalho é apresentar os principais conceitos relacionados à coordenação de relés em sistemas elétricos de potência radiais, bem como as metodologias e ferramentas utilizadas para realizar este processo.

A coordenação de relés em sistemas elétricos de potência radiais pode ser realizada utilizando diversas metodologias. Uma das mais utilizadas é a técnica do tempo inverso, que consiste em ajustar os tempos de atuação dos relés de proteção de forma que o relé mais próximo da falha atue primeiro. Segundo Anjos et al. (2016), a técnica do tempo inverso é a mais comum em sistemas elétricos de potência radiais devido à sua simplicidade e facilidade de implementação.

Para realizar a coordenação de relés em sistemas elétricos de potência radiais, é necessário utilizar ferramentas computacionais específicas, como os softwares de simulação de sistemas elétricos de potência. Segundo Gomes et al. (2017), os softwares de simulação permitem realizar estudos de coordenação de relés de forma mais precisa e eficiente, além de possibilitar a análise de cenários de contingência e a avaliação do desempenho do sistema em condições anormais.

3.5 SELETIVIDADE

A seletividade é uma característica fundamental no projeto de sistemas elétricos de potência, que consiste em garantir que, em caso de falha, apenas o dispositivo de proteção mais próximo do ponto defeituoso seja acionado, isolando o defeito sem interromper o fornecimento de energia elétrica em outras partes do sistema. Segundo Anderson (2008), a seletividade é alcançada por meio da coordenação dos dispositivos de proteção, que devem ser selecionados e configurados de forma a operar de forma sequencial e hierárquica, permitindo que apenas o dispositivo mais próximo da falha seja acionado.

4 METODOLOGIA

4.1 CRITÉRIOS DO TRANSFORMADOR DE CORRENTE (TC)

Primeiramente, é fundamental considerar dois critérios para o cálculo da corrente nominal do Transformador de Corrente (TC) a ser utilizado. O primeiro critério é baseado na máxima corrente de carga, no qual é analisada a corrente que fluirá pelo enrolamento primário do TC quando o sistema estiver operando em regime permanente. Essa corrente é determinada a partir da avaliação das condições normais de operação e demanda do sistema elétrico em questão (KINDERMANN, 2005):

$$I_P = \frac{S_{carga}}{\sqrt{3} * V_{linha}} \qquad (1)$$

Onde:

I_P – Corrente que passa no enrolamento primário;

S_{carga} – Toda a carga presente após o ponto de instalação do relé;

V_{linha} – Tensão no local da instalação do relé.

O segundo critério a ser considerado é a saturação do TC durante condições de curto-circuito. Nesse caso, é analisada a corrente máxima que pode ser atingida durante um curto-circuito trifásico, que representa a pior condição possível para o sistema elétrico, conforme (KINDERMANN, 2005):

$$I_P = \frac{I_{CC3\emptyset}}{FS} \qquad (2)$$

Onde:

I_P – Corrente que passa no enrolamento primário;

$I_{CC3\phi}$ – Corrente de curto-circuito trifásica no ponto de instalação do relé;

FS – Fator de sobrecorrente.

Após obter os valores de corrente nos dois critérios mencionados, é necessário selecionar o maior valor entre eles. Esse valor máximo será utilizado para determinar a Relação de Transformação (RTC) do Transformador de Corrente (TC). A RTC é a relação entre a corrente no enrolamento primário do TC e a corrente no enrolamento secundário, e é calculada com base na corrente máxima escolhida.

4.2 DETERMINAÇÃO DA RELAÇÃO DE TRANSFORMAÇÃO (RTC)

Com base no valor de corrente I_P selecionado no passo anterior, podemos utilizar os dados fornecidos na Tabela 1 para determinar a RTC. A RTC é determinada de acordo com as diretrizes estabelecidas pela norma ABNT NBR 6856.

Tabela 1 - Valores de corrente no primário do TC.

5	10	15	20	25
30	40	50	60	75
100	150	200	250	300
400	500	600	800	1.000
1.200	1.500	2.000	2.500	3.000
4.000	5.000	6.000	8.000	10.000

Fonte: ABNT NBR 6856

4.3 FATOR TÉRMICO

O fator térmico é uma especificação que indica a capacidade do transformador de corrente (TC) em suportar correntes de sobrecarga sem ser danificado. É calculado com base na corrente nominal e na corrente máxima que o TC pode suportar por um determinado período de tempo, garantindo sua operação segura.

$$FT = \frac{I_{Pmáxima}}{I_{Pnominal}} \qquad (3)$$

O valor do fator térmico é normalizado de acordo com a Tabela 2:

Tabela 2 - Valores de FT.

1,0	1,2	1,3	1,5	2,0

Fonte: ABNT NBR 6856

4.4 CORRENTE TÉRMICA NOMINAL DE CURTA DURAÇÃO

O valor máximo da corrente eficaz primária é um parâmetro importante para o transformador de corrente (TC) e indica a corrente máxima que o TC pode suportar sem sofrer danos em um período de 1 segundo.

$$I_t = 80 * I_n \qquad (4)$$

4.5 CORRENTE DINÂMICA NOMINAL

O valor de pico da corrente no enrolamento primário é um parâmetro crítico para o transformador de corrente (TC), representando a corrente máxima que o TC deve suportar sem sofrer danos elétricos ou mecânicos decorrentes das forças eletromagnéticas.

$$I_d = 2{,}5 * I_t \qquad (5)$$

4.6 MARGEM DE SEGURANÇA DA CORRENTE DE AJUSTE DO RELÉ DE SOBRECORRENTE

Durante o dimensionamento do relé de proteção, é necessário considerar as variações de carga ao longo do dia no sistema de distribuição. Para garantir a capacidade do relé de lidar com tais flutuações, é recomendado deixar uma margem de segurança entre 40% e 50% em relação à corrente nominal.

Essa margem permite a realização de manobras na rede durante a operação e acomoda possíveis expansões futuras do sistema. A fórmula utilizada para o dimensionamento da corrente de ajuste considerando a margem de segurança do relé é (KINDERMAN,2005):

$$\left(1{,}4\ ou\ 1{,}5 * I_{nominal\ de\ carga}\right) \leq I_{ajuste\ do\ relé} \leq \frac{I_{curto-circuito\ no\ final\ do\ circuito\ protegido}}{a} \quad (6)$$

Onde:

a = 1,5 para relé eletromecânico;

a = 1,1 para relé digital.

4.7 CORRENTE DE AJUSTE DO RELÉ ($I_{ajuste\ do\ rele}$)

A corrente de ajuste do relé, utilizada para determinar a sensibilidade do dispositivo de proteção, está diretamente relacionada aos "*taps*" disponíveis em sua construção.

Cada *tap* corresponde a um valor específico de corrente de ajuste, que é configurado de acordo com as necessidades do sistema elétrico. Os "taps" representam diferentes níveis de sensibilidade do relé, permitindo ajustar a resposta do dispositivo às condições operacionais e às características da carga.

$$I_{ajuste\ do\ relé} = Tap\ do\ relé \quad (7)$$

Para dimensionar a corrente de ajuste, a fórmula do cálculo é a seguinte:

$$TAP = \frac{(1{,}4\ ou\ 1{,}5) * I_{nominal}}{RTC} \quad (8)$$

A corrente de ajuste do relé é determinada e arredondada para o valor superior mais próximo disponível no equipamento. Esse valor representa o limiar de operação do relé, a partir do qual o dispositivo é sensibilizado para atuar.

4.8 MÚLTIPLO DO RELÉ (M)

A operação do relé ocorre quando a corrente de sobrecarga ou curto-circuito excede o valor ajustado no relé. O Múltiplo do relé (M) indica quantas vezes a corrente de falha é maior do que o valor do tap do relé. O cálculo do Múltiplo é realizado por meio de uma equação:

$$M = \frac{I_S}{I_{ajuste\ do\ relé}} = \frac{I_S}{TAP} = \frac{I_P}{RTC * TAP} \qquad (9)$$

4.9 AJUSTE DE TEMPO DO RELÉ FUNÇÃO 51 ($T_{ATUAÇÃO\ DO\ RELÉ}$)

O tempo de atuação do relé é calculado pela seguinte equação:

$$t_{atuação\ do\ relé} = TD * \left(A + \frac{B}{M^{\alpha} - 1}\right) \qquad (10)$$

Onde:

TD – Ajuste do multiplicador de tempo do relé;

M – Múltiplo do *tap* (I_{CC}/I_{ajuste}).

O relé de proteção possui diferentes tipos de curvas de atuação, sendo determinadas por normas específicas. A norma ANSI estabelece os valores e tipos de curvas disponíveis, que são representados por termos como A, B e α. Essas curvas definem a relação entre a corrente de falha e o tempo de atuação do relé, permitindo ajustes adequados para diferentes situações de proteção no sistema elétrico.

Tabela 3 - Característica da curva do Relé - Norma ANSI.

NORMA ANSI			
Tipo de curva	**Fatores**		
	A	**B**	**α**
Moderadamente Inversa	0,0226	0,0104	0,02

Inversa	0,180	5,98	2
Muito inversa	0,0963	3,88	2
Extremamente inversa	0,02434	5,64	2

Fonte: (KINDERMAN,2005).

4.10 AJUSTE DE TEMPO DO RELÉ FUNÇÃO 50 ($T_{ATUAÇÃO\ DO\ RELÉ}$)

A função 50 do relé de proteção é aplicada, por exemplo, em 85% da linha de transmissão. Nesse contexto, o valor da corrente de ajuste do relé é determinado levando em consideração essa porcentagem específica da linha de transmissão.

$$I_{ajuste\ instantâneo} = I_{CC3\emptyset\ a\ 85\%\ da\ LT} \qquad (11)$$

Logo, é necessário obter o valor do curto-circuito intermediário entre duas barras, por exemplo, barra A e barra B. Para um ponto p que representa o comprimento do trecho da linha de transmissão a ser protegido, temos (KINDERMANN, 2005):

$$I_{CC3\emptyset p\%LT} = \frac{I_{CC3\emptyset A} * I_{CC3\emptyset B}}{p * I_{CC3\emptyset A} + (1-p) * I_{CC3\emptyset B}} \qquad (12)$$

Onde:

$I_{CC3\emptyset A}$ – Corrente de curto-circuito na barra A;

$I_{CC3\emptyset B}$ – Corrente de curto-circuito na barra B.

4.11 FUNÇÃO 51N

A função 51N é aplicada em um Relé de Neutro, também chamado de Relé de Sequência Zero. Esse relé é projetado para atuar somente em casos de curto-circuito monofásico, especificamente entre fase e terra. Para realizar o ajuste adequado desse relé, é necessário satisfazer a seguinte inequação:

$$10\%\ a\ 45\% * I_{nominal} \leq I_{ajuste\ do\ relé\ de\ neutro} \leq \frac{I_{CC\emptyset - terra\ mínimo\ no\ final\ do\ trecho}}{a} \quad (13)$$

Onde:

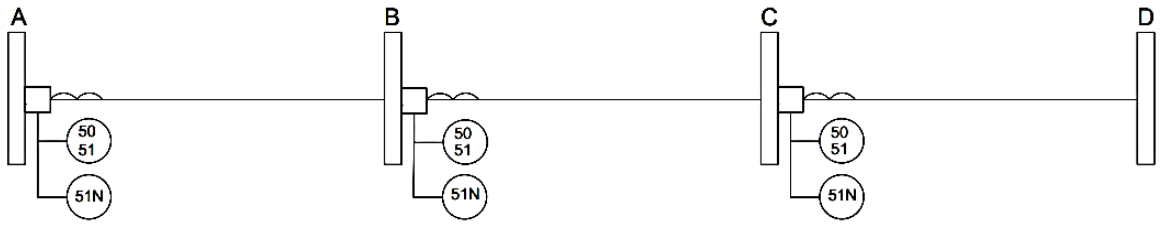
a = 1,5 para relé eletromecânico;

a = 1,1 para relé digital.

4.12 COORDENAÇÃO FASE E NEUTRO

Em um sistema radial composto por 4 barras e 3 relés com funções de proteção 50 e 51, conforme a Figura 2, a coordenação dos relés de fase e neutro segue os mesmos passos.

Figura 2 - Sistema radial de 4 barras.



Fonte: Autores

A coordenação da proteção de fase com a função 51 envolve seis etapas, que também são aplicáveis à coordenação da proteção de neutro. Essas etapas garantem a classificação de tempo adequada e a seletividade entre os relés.

1º passo: Atribuir ao relé localizado na barra mais distante, neste caso a Barra C, a curva com menor tempo de atuação.

2º passo: Usar (9) para determinar o múltiplo do relé na Barra C, considerando os valores de Ip (também conhecido como $I_{CC3\emptyset}$), RTC e TAP na Barra C.

3º passo: Calcular o tempo de atuação deste relé através de (10).

4º passo: Para coordenação entre os relés B e C, utilizar o mesmo valor de $I_{CC3Ø}$ do 2º passo. O tempo de operação do relé B deve satisfazer a seguinte equação:

$$t_B = t_C + \Delta t \qquad (14)$$

onde:

Δt – tempo de coordenação.

$$\Delta t = \begin{cases} 0{,}4\ a\ 0{,}5\ s\ \rightarrow relés\ eletromecânicos \\ 0{,}25\ a\ 0{,}3\ s\ \rightarrow relés\ digitais \end{cases}$$

5º passo: Calcular o múltiplo do relé para o relé B usando o mesmo valor $I_{CC3Ø}$ do passo 2. Na equação (9), mantenha o valor Ip da Barra C, e use os valores RTC e TAP da Barra B, pois estamos coordenando entre os relés B e C para faltas ocorrendo a jusante da Barra C.

6º passo: Utilizando os valores obtidos nos passos 4 e 5, e manipulando a equação (10) para isolar TD, tem-se a seguinte equação:

$$TD = \frac{t_{atuação\ do\ relé}}{\left(A + \frac{B}{M^{\alpha} - 1}\right)} \qquad (15)$$

Para realizar a coordenação do relé A com o B, repete-se os passos a partir do 2° passo.

Para realizar a coordenação da função 51 com a função 50, os seguintes passos são seguidos:

1º passo: Mais uma vez, atribua a curva de menor tempo de atuação ao relé mais distante, neste caso, o relé C.

2º passo: Utilizando o $I_{CC3Ø}$ no percentual definido para a função 50, que se encontra através da equação (12), juntamente com os RTCs e TAPs das barras B e C, utilizar estes valores na equação (9) para determinar os múltiplos de B e C.

3º passo: Usando a equação (10), encontre o valor do tempo de operação para o relé C.

4º passo: Com o valor de M_B, encontre o valor do tempo de operação do relé B usando a equação (14).

5º passo: Usando M_B e t_B, calcule o coeficiente de curva para o relé B usando a equação (15).

Após estes passos, verifique se o local de instalação do relé C está de acordo com esta curva. Calcule um novo valor múltiplo para o relé B usando o valor $I_{CC3Ø}$ do barramento C.

6º passo: O novo múltiplo é encontrado pela equação (9), representada por M', para diferenciá-lo do múltiplo que utiliza a corrente de curto-circuito trifásica em outro ponto. Para encontrar esse múltiplo, use o $I_{CC3Ø}$ da barra C, o RTC e o TAP da barra B.

7º passo: Calcular o tempo de atuação do relé para a corrente na barra C. Semelhante ao passo anterior, a terminologia para este tempo também muda para t'.

8º passo: Nesta etapa, verifique se há coordenação entre a função 51 do relé B e a função 50 do relé C utilizando a seguinte equação:

$$t_B' - 0 \geq \Delta t \qquad (16)$$

Obs: o valor 0 é atribuído a t_C', pois se trata da função 50.

Se o resultado da equação (16) for verdadeiro, significa que a curva encontrada para o relé B está coordenada com a curva do relé C. Caso o resultado não seja verdadeiro, é necessário elevar a curva para alcançar a coordenação adequada. Para realizar esse deslocamento da curva, o próximo passo é realizado.

9º passo:

Para deslocar a curva para cima, atribui-se a t_B' o valor de Δt, que é necessário para realizar a coordenação. Com o novo valor de t_B' e o valor de M_B, substitui-se esses valores na equação (15). Dessa forma, encontra-se o novo valor de TD, o qual determina a curva que irá coordenar a função 51 do relé B com as funções 50 e 51 do relé C.

Para realizar a coordenação do relé A com o relé B, repete-se todos os passos descritos anteriormente, seguindo o mesmo procedimento de ajuste e deslocamento da curva. Isso garante a coordenação adequada entre os relés.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

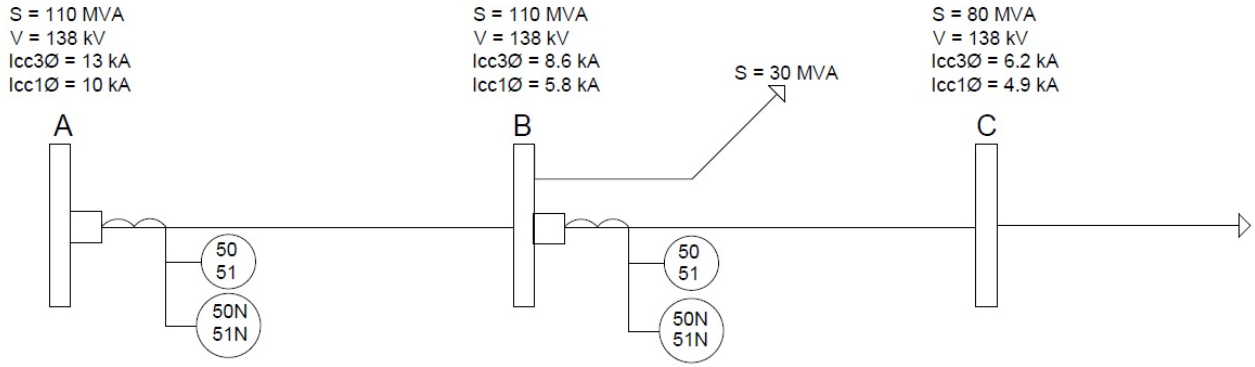
Para os dois estudos de caso realizados, os relés utilizados como base foram, o IAC52B101A para os relés de fase, onde os valores de TAPs disponíveis neste modelo estão no intervalo de 4A à 16A, variando de 1A em 1A.

Já para os relés de neutro, o modelo usado como base foi o IAC52B3A, com os valores de TAPs disponíveis no intervalo de 0,5A à 2A, variando de 0,1A em 0,1A.

5.1 ESTUDO DE CASO 1

O sistema elétrico radial consiste em três barras principais: A, B e C. Cada barra representa um ponto de conexão para equipamentos elétricos, como geradores, transformadores e cargas. Como mostrada na Figura 3, neste sistema radial, a barra A é a barra de referência, geralmente conhecida como barra de referência de tensão. As barras B e C são alimentadas pela barra A.

Figura 3 – Sistema para o estudo de caso 1.



Fonte: Autores.

A barra A possui uma potência aparente de 110 MVA, uma tensão nominal de 138 kV e uma corrente de curto-circuito trifásica de 13 kA. Além disso, possui uma corrente de curto-circuito monofásica à terra de 10 kA.

A barra B também tem uma potência aparente de 110 MVA e uma tensão nominal de 138 kV. A corrente de curto-circuito trifásica é de 8,6 kA, enquanto a corrente de curto-circuito monofásica é de 5,8 kA.

A barra C possui uma potência aparente de 80 MVA, uma tensão nominal de 138 kV e uma corrente de curto-circuito trifásica de 6,2 kA. A corrente de curto-circuito monofásica é de 4,9 kA.

Essas informações descrevem as características elétricas fundamentais do sistema elétrico radial, como potência, tensão e corrente de curto-circuito. Esses parâmetros são essenciais para realizar o estudo de proteção e seletividade, que envolve a análise do comportamento do sistema em eventos de curto-circuito e a

coordenação adequada dos dispositivos de proteção para garantir a segurança e confiabilidade do sistema.

Neste estudo foram implementadas as proteções 50/51 de fase e 50/51 de neutro nas barras A e B.

Para o estudo de caso 1, utilizamos um transformador de corrente com os seguintes dados da Figura 4.

Figura 4 - Dados de placa do transformador de corrente (TC).

Fonte: Autores

Esses dados de placa são essenciais para compreender o desempenho e as limitações do transformador de corrente. Com base nessas informações, é possível dimensionar corretamente os dispositivos de proteção e interpretar corretamente as medições de corrente realizadas pelo TC.

Na figura 5 são apresentados os ajustes dos relés de proteção calculados pelo *software* para as funções de fase (51F e 50F) e para o neutro (51N e 50N) nos relés A e B. Esses ajustes são definidos com base nas características do sistema elétrico, levando em consideração as correntes de *pickup* necessárias para detecção e atuação no caso na ocorrência de faltas, além de outros parâmetros de configuração.

Figura 5 - Ajuste dos relés.

Relé	51F	50F	51N	50N	RTC	TD
A	5.0	56.6	0.9	38.7	160	0.7
B	5.0	53.9	0.8	41.8	120	0.2

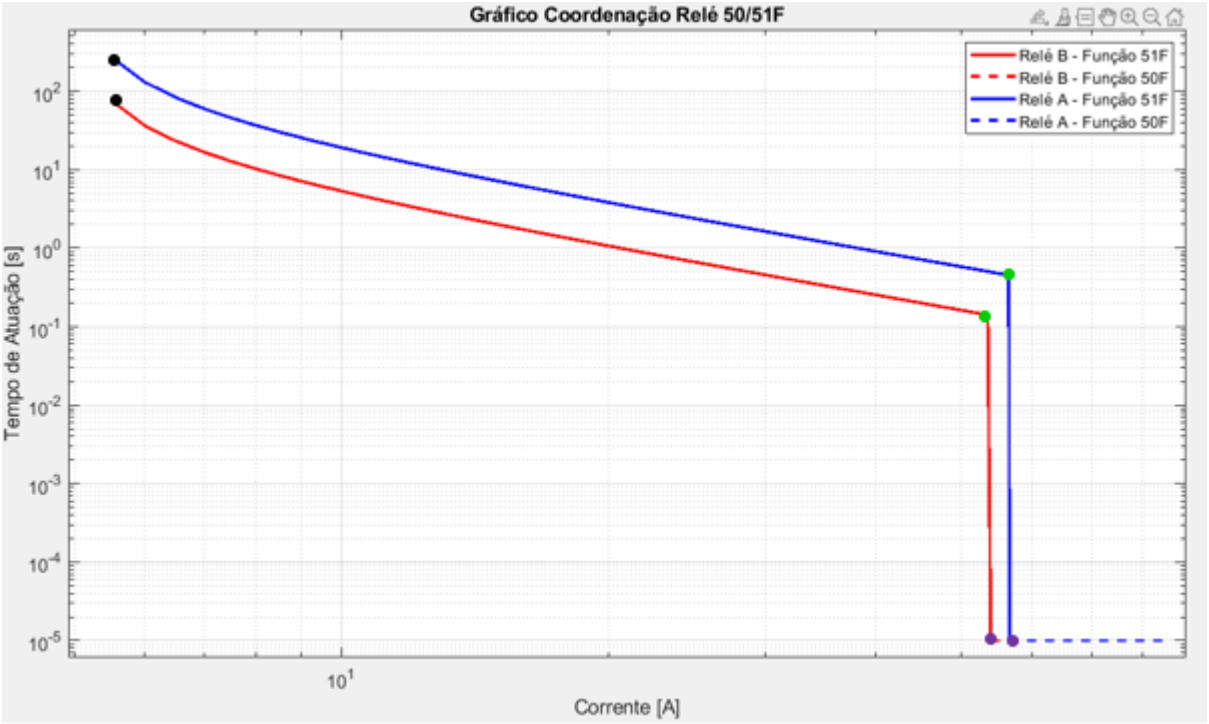
Fonte: Autores.

A partir dos valores de ajuste dos relés A e B, é possível realizar a plotagem das curvas de coordenação para analisar o tempo de atuação em relação à corrente.

As curvas da Figura 6 e Figura 7 representam graficamente o desempenho dos relés de proteção em diferentes níveis de corrente, permitindo a visualização da coordenação entre eles. Primeiramente temos a coordenação 50/51 de fase e posteriormente a coordenação 50/51 de neutro.

No gráfico de tempo de atuação x corrente, o eixo das abscissas representa a corrente, enquanto o eixo das ordenadas representa o tempo de atuação dos relés. Cada ponto no gráfico representa um valor específico de ajuste dos relés e indica o tempo de atuação para determinada corrente.

Figura 6 - Gráfico da coordenação das funções 50 e 51 de fase.



Fonte: Autores.

Ao analisar o gráfico da Figura 6, pode-se observar informações importantes sobre o comportamento dos relés A e B em relação ao valor do TAP na coordenação da função 51 e a função 50.

Observa-se que as marcações em preto indicam o valor do TAP, que representa o início da função 51 nos relés A e B. Essa função é acionada quando a corrente ultrapassa o limite pré-estabelecido. Portanto, as marcações em preto representam o momento em que os relés são sensibilizados para atuar e iniciar a proteção da linha de transmissão.

A duração da atuação dos relés A e B, indicada pelas marcações verdes, é definida pelo tempo em que a função 51 permanece ativada.

As marcações na cor roxa são representativas dos valores do múltiplo do TAP que correspondem a uma corrente de proteção da linha de transmissão a 85%, ou seja, a função 50.

Com base nessa análise, pode-se concluir que o gráfico fornece uma representação clara e precisa do comportamento dos relés A e B durante a função 51,

destacando os valores do TAP, o início e a duração da atuação dos relés, bem como os múltiplos correspondentes à corrente de proteção da linha de transmissão a 85%. Essas informações são cruciais para avaliar o desempenho do sistema de proteção e garantir a confiabilidade e segurança do sistema elétrico.

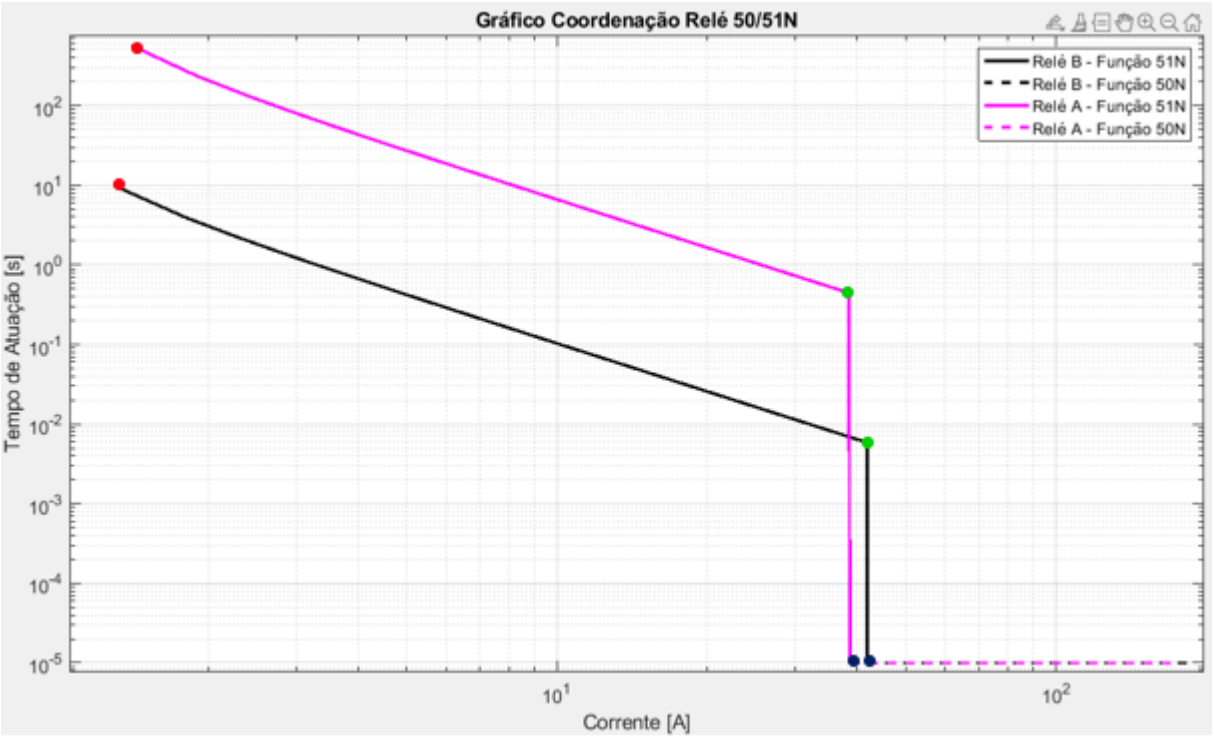
Na parte temporizada, o relé B possui um tempo de atuação pré-determinado. Quando a corrente ultrapassa o ajuste de *pickup* do relé B, sua proteção 51F atua. Caso ocorra um erro na atuação do relé B, o relé A age, isolando a falta.

Na parte instantânea, os relés A e B possuem a capacidade de atuar imediatamente para faltas de alta magnitude. Nessa região do gráfico, o tempo de atuação é extremamente curto. Quando a corrente ultrapassa um determinado valor, os relés atuam instantaneamente para proteger o sistema elétrico, independentemente do tempo de atraso configurado anteriormente.

Portanto, a atuação do relé A está em posição elevada à atuação do relé B no gráfico, indicando que a coordenação entre os relés foi estabelecida corretamente. O relé B atua em um tempo e corrente menor, garantindo uma resposta seletiva e eficaz em caso de falta.

A análise do gráfico revela que o relé A atua posteriormente ao relé B, o que é essencial para garantir a seletividade da linha de transmissão. Essa sequência de atuação dos relés é fundamental para evitar interrupções indevidas no fornecimento de energia em pontos que não foram afetados pela falha. Ao permitir que o relé B atue primeiro, a proteção é realizada no local exato da ocorrência, enquanto o relé A entra em ação somente se a falha persistir ou se estender para além da área protegida pelo relé B. Dessa forma, é assegurada uma resposta eficiente do sistema de proteção, minimizando as interrupções e garantindo a continuidade do fornecimento de energia elétrica.

Figura 7 – Gráfico da coordenação das funções 50 e 51 de neutro.



Fonte: Autores.

Ao analisar o gráfico da Figura 7, responsável por mostrar a coordenação de neutro 50/51, observamos que a atuação do relé A está sobreposta à atuação do relé B, indicando uma falta de coordenação adequada entre eles. Essa sobreposição ocorre na parte da transição da proteção temporizada para a parte da proteção instantânea. No fim da parte da proteção temporizada do relé A, o valor da corrente da função 50 possui um valor menor que a atuação da proteção instantânea do relé B. Fazendo com que enquanto o relé B está finalizando a sua proteção temporizada, o relé A já iniciou a sua proteção instantânea, o que é indesejável.

A atuação da proteção instantânea do relé A na parte da proteção temporizada do relé B demonstra uma falta de coordenação adequada. Nesse caso, a resposta do relé A ocorre mais rapidamente do que o tempo de atraso configurado no relé B, resultando em uma falta de coordenação levando a desligamentos desnecessários ou falha na proteção adequada do sistema elétrico.

Com a proteção instantânea do relé A antes da proteção instantânea do relé B, temos uma falta de seletividade no sistema de proteção da linha de transmissão. Essa

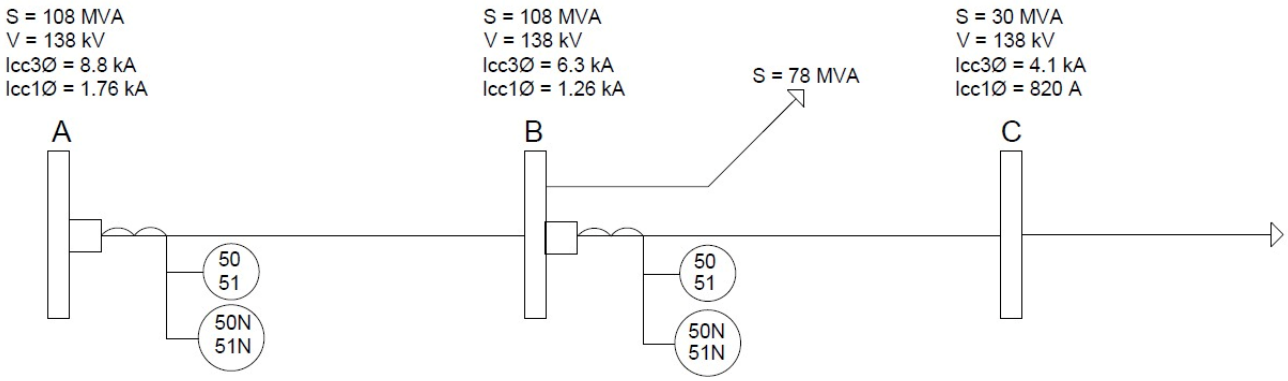
falta de seletividade resulta em atuações errôneas na proteção, pois o relé A está respondendo a eventos que poderiam ser corretamente identificados e protegidos pelo relé B. Essa sobreposição de atuações pode levar a interrupções desnecessárias e prejudicar a eficiência do sistema elétrico.

Uma solução para melhorar a coordenação de neutro 50/51 seria remover a proteção 50 de ambos os relés e manter apenas a proteção 51. Isso eliminará a sobreposição indesejada entre as atuações instantânea e temporizada dos relés, garantindo uma coordenação mais eficiente entre eles.

5.2 ESTUDO DE CASO 2

No segundo caso do estudo, temos um sistema elétrico radial composto por três barras, sendo elas A, B e C. Cada barra possui características específicas em termos de potência, tensão e capacidade de corrente de curto-circuito. Além disso, como no caso 1, foram implementadas proteções de fase e neutro nas barras A e B.

Figura 8 – Sistema para o estudo de caso 2.



Fonte: Autores.

Na barra A, temos uma potência aparente de 108 MVA e uma tensão nominal de 138 kV. A capacidade de corrente de curto-circuito de 8,8 kA para o curto-circuito trifásico e 1,76 kA para o curto-circuito monofásico. Além disso, foram implementadas as proteções 50 e 51 de fase, que visam detectar e atuar em caso de faltas na fase.

A barra B possui as mesmas características de potência e tensão da barra A, ou seja, 108 MVA e 138 kV, respectivamente. No entanto, a capacidade de corrente de curto-circuito é diferente, sendo de 6,3 kA para o curto-circuito trifásico e 1,26 kA

para o curto-circuito monofásico. Assim como na barra A, foram implementadas as proteções 50 e 51 de fase e neutro, buscando detectar e atuar em caso de faltas tanto nas fases quanto no neutro.

A barra C tem uma potência aparente menor em comparação com as outras barras, com 30 MVA, e a mesma tensão nominal de 138 kV. A capacidade de corrente de curto-circuito em é de 4,1 kA para o curto-circuito trifásico e 820 A para o curto-circuito monofásico.

Na Figura 9 são apresentados os principais dados do transformador de corrente utilizado no sistema elétrico.

Figura 9 – Dados de placa do transformador de corrente (TC).

```
------------------------------------
******Tranformador de Corrente 1*****
------------------------------------
Ip| 500A
Is| 5A
It| 36147.15A
Id| 90367.87A
Ft| 1.3xInA
------------------------------------
------------------------------------
******Tranformador de Corrente 2*****
------------------------------------
Ip| 400A
Is| 5A
It| 10040.87A
Id| 25102.19A
Ft| 1.3xInA
------------------------------------
```

Fonte: Autores.

Na figura 10 são apresentados os ajustes dos relés de proteção calculados pelo *software* para as barras A e B no caso 2 do estudo. Os valores indicados são os ajustes das correntes de atuação (51F, 50F, 51N e 50N) e outros parâmetros relevantes, como RTC e o TD. Esses ajustes garantem a proteção eficiente e seletiva do sistema elétrico, minimizando interrupções desnecessárias e danos aos equipamentos.

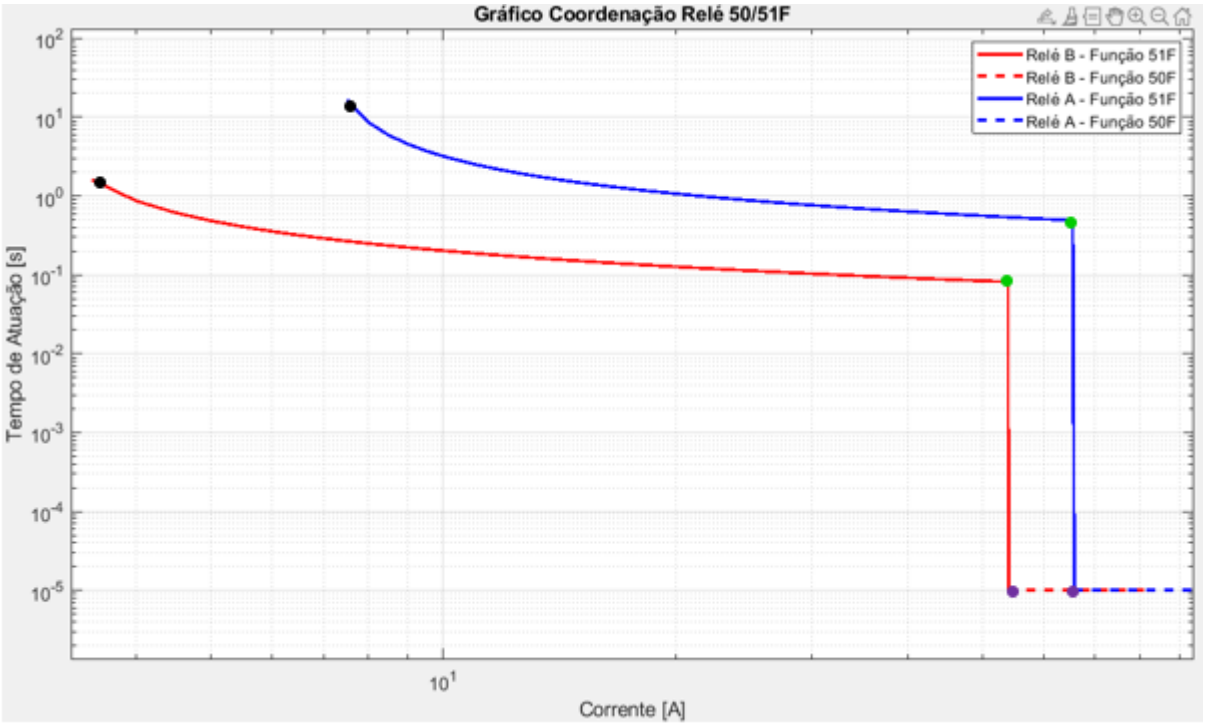
Figura 10 – Ajuste dos relés.

Relé	51F	50F	51N	50N	RTC	TD
A	7.0	65.8	1.4	13.2	100	0.9
B	3.0	54.1	0.5	10.8	80	0.2

Fonte: Autores.

A partir dos valores de ajustes dos relés A e B no caso 2, é possível plotar as curvas de coordenação em um gráfico de tempo de atuação x corrente, permitindo analisar a coordenação dos relés, ou seja, a ordem de atuação dos dispositivos de proteção em relação às diferentes correntes de falta.

Figura 11 – Gráfico da coordenação das funções 50 e 51 de fase.



Fonte: Autores.

Ao analisar o gráfico de coordenação dos relés de fase das funções 50 e 51 da Figura 11, onde os relés A e B estão coordenados, é possível observar que a atuação do relé A ocorre acima da atuação do relé B. Inicialmente, temos a parte temporizada, seguida pela parte instantânea.

Essa ordem de atuação indica que o relé A é configurado para operar em tempos de atuação mais longos e correntes mais altas em comparação ao relé B. Isso pode ser resultado dos ajustes específicos realizados nos relés, considerando as características do sistema elétrico e as necessidades de coordenação.

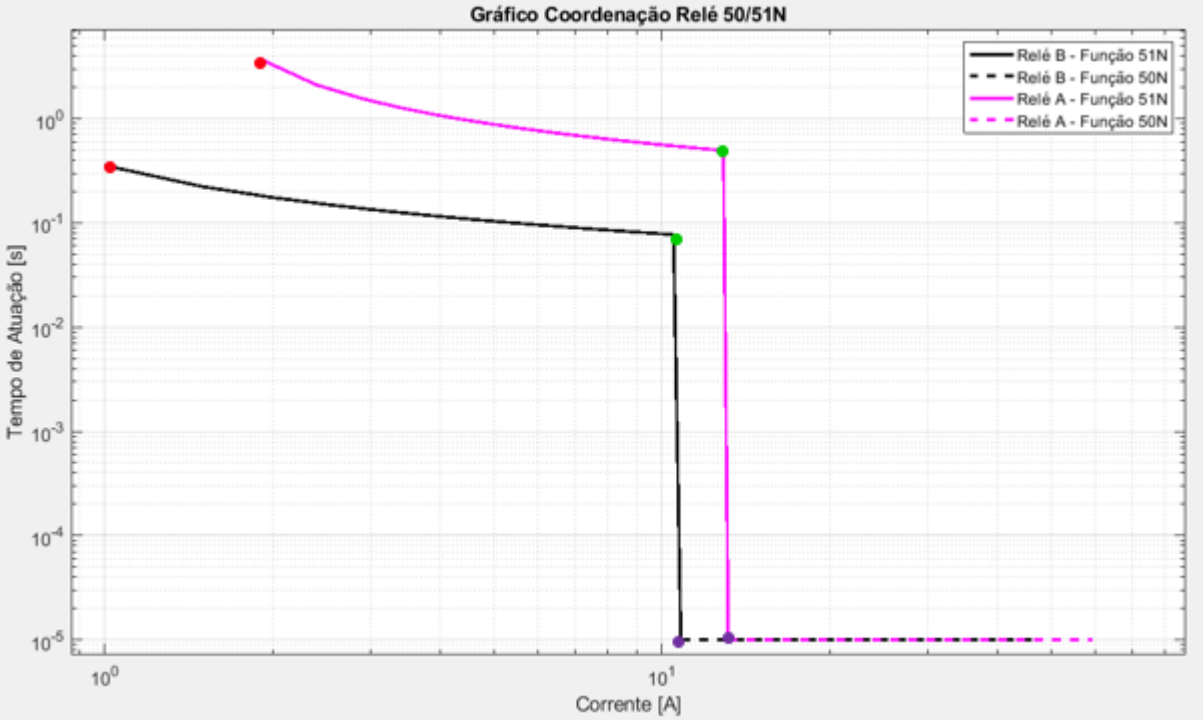
A parte temporizada representa a resposta do relé com um tempo ajustável para discriminar entre faltas temporárias e permanentes. O relé A possui um tempo de atuação mais alto nessa parte, indicando que ele é projetado para atuar em faltas mais prolongadas ou com maiores correntes de falta.

Após a parte temporizada, temos a parte instantânea, que representa a resposta imediata do relé diante de correntes de falta mais elevadas. Nesse caso, é possível observar que o relé A também possui uma corrente de atuação mais alta em comparação ao relé B, o que indica sua capacidade de atuar em faltas de maior magnitude.

A coordenação entre os relés A e B é importante para garantir uma resposta seletiva e eficiente em diferentes níveis de falta. Nesse cenário, o relé A é configurado para atuar em faltas mais severas ou em áreas mais próximas da fonte de alimentação, enquanto o relé B é ajustado para atuar em faltas menos graves ou em áreas mais distantes.

Essa coordenação adequada dos relés é essencial para minimizar interrupções desnecessárias no sistema elétrico, permitindo que apenas o relé mais próximo da falta atue e isole o trecho afetado, enquanto os demais relés permanecem em operação garantindo a seletividade do sistema.

Figura 12 – Gráfico da coordenação das funções 50 e 51 de neutro.



Fonte: Autores.

Ao analisar o gráfico de coordenação de neutro 50/51, onde os relés A e B estão coordenados, podemos observar que a atuação do relé A ocorre acima da atuação do relé B.

Uma diferença importante em relação ao caso 1 é que agora a coordenação foi realizada, pois o tempo de atuação da proteção instantânea do relé A ocorre em um tempo mais tardio em relação ao relé B.

A função temporizada representa o ajuste para discriminar faltas temporárias e permanentes. Nesse caso, o relé A possui um tempo de atuação mais elevado, o que significa que ele é projetado para atuar em faltas que a proteção do relé B não atua, devido a alguma falha.

Após a parte temporizada, temos a parte instantânea, que representa a resposta imediata do relé a correntes de falta mais próximas das barras. Nesse ponto, podemos notar que a atuação do relé A está acima da atuação do relé B, o que indica que o relé A possui um tempo de atuação maior.

Ao analisar o gráfico, observa-se que ambas curvas de atuação dos relés de fase e de neutro estão coordenadas, o que indica que a seletividade do sistema de proteção da linha de transmissão está sendo adequadamente garantida.

A partir da análise dos gráficos, pode-se concluir que a coordenação eficiente das proteções, tanto de fase quanto de neutro, depende das características específicas da linha de transmissão. Portanto, é fundamental realizar estudos e análises detalhadas da linha de transmissão, levando em consideração suas características, a fim de garantir a coordenação eficaz das proteções e o correto funcionamento do sistema elétrico como um todo.

6 CONCLUSÃO

No presente trabalho de conclusão de curso, realizou-se um estudo de proteção e seletividade em sistemas elétricos radiais. Analisou-se dois casos distintos, levando em consideração as características de cada sistema e a aplicação das proteções nos relés.

No primeiro caso, verificou-se que a coordenação de fase dos relés A e B estava adequada, com o relé B atuando primeiro e o relé A atuando posteriormente, garantindo uma resposta seletiva e eficaz em caso de falta. No entanto, na coordenação de neutro, observou-se uma falta de coordenação adequada, com a sobreposição indesejada entre as atuações instantânea e temporizada dos relés, resultando em desligamentos desnecessários e comprometendo a eficiência do sistema elétrico.

Já no segundo caso, constatou-se uma melhora na coordenação de neutro, onde o relé A atuava de forma mais tardia em relação ao relé B, evitando sobreposições indesejadas e garantindo uma melhor seletividade do sistema de proteção. Além disso, a coordenação de fase também estava adequada, com o relé A configurado para atuar em faltas mais severas ou próximas da fonte de alimentação, enquanto o relé B atuava em faltas menos graves ou mais distantes.

Em conclusão, o estudo de proteção e seletividade em sistemas elétricos radiais é de suma importância para garantir a confiabilidade e a segurança do sistema elétrico como um todo. A coordenação adequada dos relés é fundamental para evitar interrupções desnecessárias e garantir que apenas o dispositivo mais próximo da falha atue, isolando a área afetada e garantindo a continuidade do fornecimento de energia elétrica aos consumidores.

Recomenda-se que, ao projetar e implementar sistemas elétricos, sejam realizados estudos de proteção e seletividade detalhados, levando em consideração as normas técnicas e as melhores práticas. Além disso, é fundamental realizar testes e verificações periódicas para garantir o correto funcionamento dos equipamentos de proteção.

Espera-se que este trabalho contribua para o aprimoramento dos conhecimentos sobre proteção e seletividade em sistemas elétricos radiais, fornecendo informações valiosas para profissionais e pesquisadores da área. Além disso, este estudo de proteção e seletividade em sistemas elétricos radiais pode servir como base para trabalhos futuros.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, P. M. (2008). Power system protection. IEEE Press.

ANDRADE, Sonia Ribeiro Campos. Sistemas de medição fasorial sincronizada: aplicações para melhoria da operação de sistemas elétricos de potência. 2008.

ANJOS, R. A. dos et al. Coordenação de proteção em sistemas elétricos de potência. In: VI Congresso Brasileiro de Regulação e Mercado, 2016.

ARLEI, Bichels. Sistemas elétricos de potência: métodos de análise e solução [Recurso eletrônico].− Curitiba: EDUTFPR, 2018.

CAMINHA, Amadeu C. Introdução à proteção dos sistemas elétricos. Editora Blucher, 1977.

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

FRANÇA, Renato de Carvalho. Projeto de modernização de subestação consumidora. 2012.

FREITAS, Victor Silva de et al. Processamento do status de dispositivos chaveáveis como informação a priori na estimação integrada de estados e topologia em sistemas elétricos de potência. 2015.

GIGUER, S. Proteção de Sistemas de Distribuição. Editora Sagra. 1ª edição, 1988

GOMES, L. C. et al. Coordenação de relés de sobrecorrente em sistemas elétricos de potência radiais utilizando ferramentas de simulação. In: III Congresso Brasileiro de Energia Solar, 2017.

KINDERMANN, Geraldo. Proteção de sistemas elétricos de potência. Editora da UFSC, v. 1, 2005.

MAMEDE FILHO, João; MAMEDE, Daniel Ribeiro. Proteção de sistemas elétricos de potência. Grupo Gen-LTC, 2020.

MARDEGAN, Cláudio. Capítulo I Transformadores de corrente, potencial e bobinas de Rogowski para fins de proteção–Parte. Revista O Setor Elétrico, São Paulo, p. 22-31, 2010.

MUZY, Gustavo Luiz Castro de Oliveira. Subestações Elétricas. 2012. 122 f. TCC (Graduação)-Curso de Engenharia Elétrica, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

NBR, ABNT. 5462: Confiabilidade e mantenabilidade. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1994.

NBR, ABNT. 6856: Transformador de corrente – Especificação e ensaios. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2015.

OLIVEIRA, Carlos César Barioni de et al. Introdução a sistemas elétricos de potência: componentes simétricas. São Paulo: Edgard Blucher, 1996.

OLIVEIRA, Patrícia Cals de; PRADA, Ricardo B.; ENDRE, Ricardo B. Análise de transformadores de corrente para medição. 2001.

RODRIGUES, Jonatas Marques. Estudo Tutorial da Proteção de Sistemas Elétricos Industriais, 2013.

SANTOS, Samuel Augusto da Cruz. Ajuste de proteção de transformadores de sistemas elétricos de potência da SE Rondonópolis, Mato Grosso. 2018.

SATO, Fujio; FREITAS, Walmir. Análise de curto-circuito e princípios de proteção em sistemas de energia elétrica. 1. ed. Rio de Janeiro: Elseiver,2015.

SILVA, Henrique Tabosa da. Estudo da proteção de sobrecorrente do Relé SEL 311C. 2011.

SILVA, Rogerio Antonio da. Comportamento da função de proteção de sobrecorrente instantânea frente a distorções harmônicas nos relés de proteção numéricos. 2008. Tese de Doutorado. UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO.

SOUZA, J. P. et al. Coordenação de relés de proteção em sistemas elétricos de potência radiais utilizando técnicas de sobreposição de curvas de tempo e impedância aparente. In: XXV Congresso Brasileiro de Engenharia Elétrica, 2018.

SOUZA, Silvio Aparecido de et al. Estimação de parâmetros de um sistema elétrico de potência utilizando algoritmos genéticos. IEEE Latin America Transactions, v. 4, n. 1, p. 47-54, 2006.

STEVENSON JR., W. D. Elementos de análise de sistemas de potência. São Paulo - SP: McGraw-Hill do Brasil, 1986.

ANEXO A – CÓDIGO

```
clc
clear

%Recebendo as informações do sistema
disp('*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*')
disp('1 - Especificação dos Transformadores de Corrente');
disp('*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*')
disp('----------------------------------------------')
tamanho = input('Informe a quantidade de Barras do Seu Sistema: ');
disp('----------------------------------------------')

vetorAlfabeto = char('A':'Z');
vetorAlfabeto = vetorAlfabeto(isstrprop(vetorAlfabeto,"alpha")); %Deixando apenas os caracteres do alfabeto

vetorCorrenteTri = zeros(1,tamanho); %Inicializando o vetor
vetorCorrenteMono = zeros(1,tamanho); %Inicializando o vetor
vetorTensao = zeros(1,tamanho); %Inicializando o vetor
vetorCarga = zeros(1,tamanho); %Inicializando o vetor

for i = 1:tamanho
    while true
        vetorCorrenteTri(i) = input(sprintf('Insira o valor da Corrente de Curto-Circuito Trifásico na Barra %c em [A]:\nInforme o valor: ', vetorAlfabeto(i)));
```

```
            if isnumeric(vetorCorrenteTri(i)) && vetorCorrenteTri(i) >= 0
                if i > 1 && vetorCorrenteTri(i) > vetorCorrenteTri(i-1)
                    disp('Valor inválido.');
                else
                    break; % Valor válido, sai do loop
                end
            else
                disp('Valor inválido.');
            end
        end
    end
    disp('--------------------------------------------------------------------------')
    for i = 1:tamanho
        while true
            vetorCorrenteMono(i) = input(sprintf('Insira o valor da Corrente de Curto-Circuito Monofásica na Barra %c em [A]:\nInforme o valor: ', vetorAlfabeto(i)));
            if isnumeric(vetorCorrenteMono(i)) && vetorCorrenteMono(i) >= 0
                if i > 1 && vetorCorrenteMono(i) > vetorCorrenteMono(i-1)
                    disp('Valor inválido.');
                else
                    break; % Valor válido, sai do loop
                end
            else
                disp('Valor inválido.');
            end
```

```
        end
    end
    disp('--------------------------------------------------------------------------')
    for i = 1:tamanho
        while true
            vetorTensao(i) = input(sprintf('Insira o valor da Tensão de Alimentação na Barra %c em [V]:\nInforme o valor: ', vetorAlfabeto(i)));
            if isnumeric(vetorTensao(i)) && vetorTensao(i) >= 0
                break; % Valor válido, sai do loop
            else
                disp('Valor inválido.');
            end
        end
    end
    disp('--------------------------------------------------------------------------')
    for i = 1:tamanho
        while true
            vetorCarga(i) = input(sprintf('Insira o valor da Carga na Barra %c em [VA]:\nInforme o valor: ', vetorAlfabeto(i)));
            if isnumeric(vetorCarga(i)) && vetorCarga(i) >= 0
                break; % Valor válido, sai do loop
            else
                disp('Valor inválido.');
            end
        end
```

```
end
disp('------------------------------------------------------------------------')

fs = 20;
ft = 1.3;

for i = 1:tamanho-1
    %1° Critério - Máxima Corrente de Carga
    Imxc(i) = vetorCarga(i+1) / (sqrt(3) * vetorTensao(i+1));

    %2° Critério - Saturação ao Curto Circuito
    Imcc(i) = vetorCorrenteTri(i) / fs;

    if Imxc(i) >= Imcc(i)
        Ip(i) = Imxc(i);
    else
        Ip(i) = Imcc(i);
    end
end

pause(1);

%Escolhendo a RTC do TC
for i = 1:tamanho-1
```

```
            disp('-------------------------------------------------------------------------------------------
---')
            exibirMensagem();
            pause(1);
            disp(sprintf('\nLevando em consideração o valor de Ip na Barra %c é igual
a: %dA', vetorAlfabeto(i), Ip(i)));
            disp(sprintf('\nEscolha a RTC do TC na Barra %c de acordo com a Tabela
de Valores acima: \n', vetorAlfabeto(i)));
            pause(1);
            IndiceX(i) = input('Informe a linha da tabela: \nInforme sua escolha: ');
            IndiceY(i) = input('Informe a coluna da tabela: \nInforme sua escolha: ');

            RTC(i) = buscarRTC(IndiceX(i), IndiceY(i));

            disp(sprintf('\nO valor escolhido foi: \n%d', RTC(i)))
            pause(1);
            disp(sprintf('\nA RTC na Barra %c é: %d/5\n', vetorAlfabeto(i), RTC(i)))
            disp('-------------------------------------------------------------------------------------------
---')
            pause(1);
            rtc(i) = RTC(i)/5;
            pause(1);
        end

        for i = 1:tamanho-1
```

```
    it(i) = 80 * Imxc(i);
end

for i = 1:tamanho-1
    id(i) = 2.5 * it(i);
end

%Dados de placa do TC
for i = 1:tamanho-1
    pause(1);
    disp('-------------------------------------');
    disp(sprintf('******Tranformador de Corrente %d*****',i));
    disp('-------------------------------------');
    disp(sprintf('Ip| %dA',RTC(i)));
    disp('Is| 5A');
    disp(sprintf('It| %.2fA',it(i)));
    disp(sprintf('Id| %.2fA',id(i)));
    disp(sprintf('Ft| %.1fxInA',ft));
    disp('-------------------------------------');
    pause(1);
end
disp('-----------------------------------------------')
disp('2 - Ajuste dos Relés de Sobrecorrente de Fase:');
disp('-----------------------------------------------')
```

```
%Determinando o tipo do Relé
tipoRele();
pause(1);
disp('-----------------------------------------------------')
escolha = input('Escolha uma opção (1-2) para selecionar o tipo do relé: \nInforme sua escolha: ');
disp('-----------------------------------------------------')
a = escolherTipodeRele(escolha);

%DEterminando a folga do relé de fase
folgaRele();
pause(1);
disp('-----------------------------------------------------------------------------------------------------------')
esc = input('Escolha uma opção (1-2) de folga para o relé suportar, sem operar, as variações de carga rotineira do sistema: \nInforme sua escolha: ');
disp('-----------------------------------------------------------------------------------------------------------')
folga = porcentagemdefolga(esc);

disp('-------------------------------------------------------------------------------')
protecao = input(['Informe a porcentagem que a função 50 do relé será responsável pela proteção da LT: \nInforme a porcentagem: ']);
disp('-------------------------------------------------------------------------------')
p = tamanhoprotecao(protecao);
```

```
vetorcorrenteajuste = zeros(1,tamanho-1);
vetoriajuste = zeros(1, tamanho-1);
pause(1);

%Determinando o TAP do Rele de fase
for i=1:tamanho-1
   TAP(i) = ceil((folga * (Imxc(i))) / rtc(i));
   disp(sprintf('\nO valor do TAP do Relé de fase na Barra %c é: \n%d', vetorAlfabeto(i), ceil(TAP(i))))
   pause(1);
   end


vetorCorrenteBi = ccbifasico(vetorCorrenteTri, tamanho);

%Ajuste Relé 50
for i=1:tamanho-1
   vetorcorrenteajuste(i) = (vetorCorrenteTri(i)*vetorCorrenteTri(i+1))/(p*vetorCorrenteTri(i)+((1-p)*vetorCorrenteTri(i+1)));
   disp(sprintf(['\nO valor da corrente de proteção do Relé de fase função 50 na Barra %c é: \n%.0fA'], vetorAlfabeto(i), vetorcorrenteajuste(i)));
   pause(1);
   vetoriajuste(i) = vetorcorrenteajuste(i)/(rtc(i)*TAP(i));
   disp(sprintf('\nO valor do múltiplo do TAP do Relé de fase função 50 na Barra %c é: \n%.2f', vetorAlfabeto(i), vetoriajuste(i)));
```

```
    pause(1);
end


disp('-------------------------------------------------------------------------------')

%Determinando a folga do relé de neutro
disp('-----------------------------------------------')
disp('3 - Ajuste dos Relés de Sobrecorrente de Neutro:');
disp('-----------------------------------------------')
disp('-------------------------------------------------------------------------------')
disp('Informe um valor entre 10% e 45% para o relé de neutro suportar de desequilíbrio:');
releneutro = input('Informe o valor: ');
while releneutro < 10 || releneutro > 45
    disp('Valor inválido. Por favor, informe um valor entre 10 e 45.');
    releneutro = input('Informe o valor: ');
end
disp('-------------------------------------------------------------------------------')
rn = releneutro / 100;

%DEterminando a corrente de ajuste do relé de neutro
for i=1:tamanho-1
    TAPN(i) = round((rn * (Imxc(i))) / rtc(i),1);
```

```
        disp(sprintf('\nO valor do TAP do Relé de neutro na Barra %c é: \n%.1f', vetorAlfabeto(i), TAPN(i)))
        pause(1);
    end

    for i=1:tamanho-1
        vetorcorrenteajusten(i) = (vetorCorrenteMono(i)*vetorCorrenteMono(i+1))/(p*vetorCorrenteMono(i)+((1-p)*vetorCorrenteMono(i+1)));
        disp(sprintf('\nO valor da corrente de proteção do Relé de neutro função 50 na Barra %c é: \n%.0fA', vetorAlfabeto(i), vetorcorrenteajusten(i)));
        pause(1);
        vetoriajusten(i) = vetorcorrenteajusten(i)/rtc(i);
        disp(sprintf('\nO valor do múltiplo do TAP do Relé de neutro função 50 na Barra %c é: \n%.2f', vetorAlfabeto(i), vetoriajusten(i)));
        pause(1);
    end

    %DEterminando a corrente de ajuste do relé de neutro

    TAPab = TAPN(1,1);
    TAPbc = TAPN(1,2);

    Iccab85 = vetorcorrenteajusten(1,1);
    IajusteA50N = vetoriajusten(1,1);
```

```
Iccbc85 = vetorcorrenteajusten(1,2);
IajusteB50N = vetoriajusten(1,2);



%Escolhendo a curva do Relé
escolherRele();
%pause(1);

opcao=5;
while (opcao ~= 1 && opcao ~= 2 && opcao ~= 3 && opcao ~= 4)

    disp('-------------------------------------------------------------------------------------')
    opcao = input('Escolha uma opção (1-4) para selecionar a inclinação da curva de tempo inverso do relé: \nInforme sua escolha: ');
    disp('-------------------------------------------------------------------------------------')

    if (opcao==1)
        K=0.14;
        alfa=0.02;
        L=0;
        beta=1;
    elseif (opcao==2)
        K=0.05;
        alfa=0.04;
        L=0;
```

```
        beta=1;
    elseif (opcao==3)
        K=13.5;
        alfa=1;
        L=0;
        beta=1;
    elseif (opcao==4)
        K=80;
        alfa=2;
        L=0;
        beta=1;
     else
        disp('Opção inválida. Por favor, escolha novamente.');
     end
end

%Coordenação
mbc51b = Iccbc85/(rtc(1,2)*TAPN(1,2));
mab51b = Iccbc85/(rtc(1,1)*TAPN(1,1));
tdbcn = 0.2;
tbc = tdbcn*(L+(K./((mbc51b^alfa)-beta)));

tab = tbc + 0.5;
tdabn = tab/(L+(K/((mab51b^alfa)-beta)));
```

```
mab51a = vetorCorrenteMono(1,2)/(rtc(1,1)*TAPN(1,1));
taba = tdabn*(L+(K/((mab51a^alfa)-beta)));

if taba < 0.5
   taba = 0.5;
   tdabn = taba/(L+(K/((mab51a^alfa)-beta)));
end


%Rele BC 51
vetor51BC = (1.5*TAPbc):1.5:IajusteB50N;
mbc51 = vetor51BC./TAPN(1,2);
tatuacaobc51 = tdbcn*(L+(K./((mbc51.^alfa)-beta)));

%Rele BC 50
vetor50BC = IajusteB50N:1.5:IajusteB50N+(IajusteB50N/2);
mbc50 = vetor50BC./TAPN(1,2);
tatuacaobc50 = 0.00001 * ones(size(vetor50BC));

%Rele AB 51
vetor51AB = (1.5*TAPab):1.5:IajusteA50N;
mab51a = vetor51AB./TAPN(1,1);
tatuacaoab51 = tdabn*(L+(K./((mab51a.^alfa)-beta)));

%Rele AB 50
```

```
vetor50AB = IajusteA50N:15:IajusteA50N+(IajusteA50N/2);
mab51 = vetor50AB./TAPN(1,1);
tatuacaoab50 = 0.00001 * ones(size(vetor50AB));

%Relé de Fase

CorrenteAB85F = vetorcorrenteajuste(1,1);
AjusteABI50F = vetoriajuste(1,1);

CorrenteBC85F = vetorcorrenteajuste(1,2);
AjusteBCI50F = vetoriajuste(1,2);

%Coordenação fase
mbc51bf = CorrenteBC85F/(rtc(1,2)*TAP(1,2));
mab51bf = CorrenteBC85F/(rtc(1,1)*TAP(1,1));
tdbcf = 0.2;
tbcf = tdbcf*(L+(K./((mbc51bf^alfa)-beta)));

tabf = tbcf + 0.5;
tdabf = tabf/(L+(K/((mab51bf^alfa)-beta)));

mab51af = vetorCorrenteTri(1,2)/(rtc(1,1)*TAP(1,1));
tabaf = tdabf*(L+(K/((mab51af^alfa)-beta)));

if tabaf < 0.5
```

```
  tabaf = 0.5;
  tdabf = tabaf/(L+(K/((mab51af^alfa)-beta)));
end


%Rele BC 51
vetor51BCf = TAP(1,2):0.5:AjusteBCI50F;
mbc51f = vetor51BCf./TAP(1,2);
tatuacaobc51f = tdbcf*(L+(K./((mbc51f.^alfa)-beta)));

%Rele BC 50
vetor50BCf = AjusteBCI50F:AjusteBCI50F+(AjusteBCI50F/2);
mbc50f = vetor50BCf./TAP(1,2);
tatuacaobc50f = 0.00001 * ones(size(vetor50BCf));

%Rele AB 51
vetor51ABf = TAP(1,1):0.5:AjusteABI50F;
mab51af = vetor51ABf./TAP(1,1);
tatuacaoab51f = tdabf*(L+(K./((mab51af.^alfa)-beta)));

%Rele AB 50
vetor50ABf = AjusteABI50F:AjusteABI50F+(AjusteABI50F/2);
mab51f = vetor50ABf./TAP(1,1);
tatuacaoab50f = 0.00001 * ones(size(vetor50ABf));
```

```
%plot gráfico
%Dados para plotagem fase
figure;
xlim([0.1 17]);
ylim([0 12]);
x51f = vetor51BCf;
y51f = tatuacaobc51f;
x50f = vetor50BCf;
y50f = tatuacaobc50f;
xa51f = vetor51ABf;
ya51f = tatuacaoab51f;
xa50f = vetor50ABf;
ya50f = tatuacaoab50f;

% Plotagem das curvas com cores e estilos definidos
loglog(x51f, y51f, 'r', 'LineWidth', 2);
hold on;
loglog(x50f, y50f, 'r--', 'LineWidth', 2);
x_line = [vetor51BCf(end), vetor50BCf(1)];
y_line = [tatuacaobc51f(end), tatuacaobc50f(1)];
plot(x_line, y_line, 'r', 'LineWidth', 2);
loglog(xa51f, ya51f, 'b', 'LineWidth', 2);
loglog(xa50f, ya50f, 'b--', 'LineWidth', 2);
xa_line = [vetor51ABf(end), vetor50ABf(1)];
ya_line = [tatuacaoab51f(end), tatuacaoab50f(1)];
```

```
plot(xa_line, ya_line, 'b', 'LineWidth', 2);
% Legenda, grade e ajustes de formatação
legend('Relé B - Função 51F', 'Relé B - Função 50F', 'Relé A - Função 51F', 'Relé A - Função 50F');
grid on;
grid minor;
set(gca, 'FontSize', 12);
% Rótulos dos eixos
xlabel('Corrente [A]');
ylabel('Tempo de Atuação [s]');
% Título do gráfico
title('Gráfico Coordenação Relé 50/51F');
hold off;

%Plotagem Neutro
figure;
xlim([0.1 17]);
ylim([0 12]);
x51 = vetor51BC;
y51 = tatuacaobc51;
x50 = vetor50BC;
y50 = tatuacaobc50;
xa51 = vetor51AB;
ya51 = tatuacaoab51;
xa50 = vetor50AB;
```

```
ya50 = tatuacaoab50;
% Plotagem das curvas com cores e estilos definidos
loglog(x51, y51, 'k', 'LineWidth', 2);
hold on;
loglog(x50, y50, 'k--', 'LineWidth', 2);
xn_line = [vetor51BC(end), vetor50BC(1)];
yn_line = [tatuacaobc51(end), tatuacaobc50(1)];
plot(xn_line, yn_line, 'k', 'LineWidth', 2);
loglog(xa51, ya51, 'y', 'LineWidth', 2);
loglog(xa50, ya50, 'y--', 'LineWidth', 2);
xan_line = [vetor51AB(end), vetor50AB(1)];
yan_line = [tatuacaoab51(end), tatuacaoab50(1)];
plot(xan_line, yan_line, 'y', 'LineWidth', 2);
% Legenda, grade e ajustes de formatação
legend('Relé B - Função 51N', 'Relé B - Função 50N', 'Relé A - Função 51N',
'Relé A - Função 50N');
grid on;
grid minor;
set(gca, 'FontSize', 12);
% Rótulos dos eixos
xlabel('Corrente [A]');
ylabel('Tempo de Atuação [s]');
% Título do gráfico
title('Gráfico Coordenação Relé 50/51N');
hold off;
```

```
%Imprimir mensagem com os valores diponiveis de RTC
function exibirMensagem()
   disp('----------Tabela de Valores para Corrente no Primário do TC - Segundo a ABNT NBR 6856----------');
   disp('x/y 1            2            3            4            5     ' );
   disp('1   1 - 5A       2 - 10A      3 - 15A      4- 20A       5 - 25A');
   disp('2   6 - 30A      7 - 40A      8 - 50A      9- 60A       10 - 75A');
   disp('3  11 - 100A     12 - 150A    13 - 200A    14- 250A     15 - 300A');
   disp('4  16 - 400A     17 - 500A    18 - 600A    19- 800A     20 - 1000A');
   disp('5  21 - 1200A    22 - 1500A   23 - 2000A   24- 2500A    25 - 3000A');
   disp('-------------------------------------------------------------------------------------------')
end
%Fazendo a matrix dos valores de RTC
function valorRTC = buscarRTC(IndiceX, IndiceY)
   rtc                                                                                    = [5,10,15,20,25;30,40,50,60,75;100,150,200,250,300;400,500,600,800,1000;1200,1500,2000,2500,3000;4000,5000,6000,8000,10000];
   valorRTC = rtc(IndiceX, IndiceY);
end
%Imprimir mensagem do tipo da curva do Relé
function escolherRele()
   disp('---------------------------------')
   disp('Escolha o tipo de curva do Relé')
```

```
    disp('1 - Moderamente Inversa')
    disp('2 - Inversa')
    disp('3 - Muito inversa')
    disp('4 - Extremamente Inversa')
    disp('---------------------------------')
end
%Escolhendo os valores de A,B e alpha da tabela de acordo com o tipo da curva do relé
function [A, B, alpha] = escolherCurvaRele(opcao)
    curvas = [0.0226 0.0104 0.02;
              0.18 5.98 2;
              0.0963 3.88 2;
              0.02434 5.64 2];
    if opcao >= 1 && opcao <= size(curvas, 1)
        A = curvas(opcao, 1);
        B = curvas(opcao, 2);
        alpha = curvas(opcao, 3);
    else
        A = NaN;
        B = NaN;
        alpha = NaN;
    end
end
%Imprimir a mensagem com os tipos de Relé
function tipoRele()
```

```
    disp('-----------------------')
    disp('Escolha o tipo do Relé')
    disp('1 - Eletromecânico')
    disp('2 - Digital')
    disp('-----------------------')
end
%Escolhendo o tipo de Relé
function [a] = escolherTipodeRele(escolha)
    if escolha == 1
        a = 1.5;
    else
        a = 1.1;
    end
end
%Imprime as opções de folga do relé
function folgaRele()
    disp('---------------------------------------')
    disp('Escolha a porcentagem da folga do Relé')
    disp('1 - 40%')
    disp('2 - 50%')
    disp('---------------------------------------')
end
%Escolhe a folga do relé
function [folga] = porcentagemdefolga(esc)
    if esc ==1
```

```
        folga = 1.4;
    else
        folga = 1.5;
    end
end
%Fazendo o vetor de corrente de curto bifásico
function [vetorCorrenteBi] =  ccbifasico(vetorCorrenteTri, tamanho)
    vetorCorrenteBi = zeros(1, tamanho);
    for i=1:tamanho
        vetorCorrenteBi(i) = (sqrt(3)/2) * vetorCorrenteTri(i);
    end
end
function [p] = tamanhoprotecao(protecao)
    p = protecao/100;
end
```

RELATÓRIO FINAL DE CURSO Nº 25/2025 - DENP (11.62.04)

(Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)

(Assinado digitalmente em 26/05/2025 14:00)
FELIPE DE SOUZA DELGADO
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
DENP (11.62.04)
Matrícula: ###834#6

Visualize o documento original em https://sig.cefetmg.br/documentos/ informando seu número: ***25****, ano:* ***2025****, tipo:* ***RELATÓRIO FINAL DE CURSO****, data de emissão:* ***26/05/2025*** *e o código de verificação:* ***163290c3e3***