



Universidade Federal de Campina Grande

Centro de Engenharia Elétrica e Informática

Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica

RAIR FERNANDES MOREIRA

**FILOSOFIAS DE PROTEÇÃO E TELEPROTEÇÃO DE LINHAS DE
TRANSMISSÃO**

Campina Grande, Paraíba

Abril de 2014

RAIR FERNANDES MOREIRA

FILOSOFIAS DE PROTEÇÃO E TELEPROTEÇÃO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO

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

Área de Concentração: Proteção de Sistemas Elétricos

Orientador:

Prof. Francisco das Chagas Fernandes Guerra

Campina Grande, Paraíba

Abril de 2014

RAIR FERNANDES MOREIRA

FILOSOFIAS DE PROTEÇÃO E TELEPROTEÇÃO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO

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

Área de Concentração: Proteção de Sistemas Elétricos

Aprovado em / /

Professor Avaliador

Avaliador

Prof. Francisco das Chagas Fernandes Guerra

Orientador

Dedico este trabalho à meus pais que sempre estiveram comigo e nunca mediram esforços pra me proporcionar a melhor educação possível.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me encorajado durante todo o curso e me proporcionado saúde e paz necessárias para enfrentar todos os obstáculos que apareceram ao longo do tempo.

Agradeço também a meus pais, Sinval e Elizabeth, que foram sempre minha maior força e inspiração para seguir estudando e enfrentando as adversidades que apareceram. Sempre estiveram comigo me apoiando e incentivando para o caminho do bem, me passando valores importantíssimos como caráter e honestidade. Esta conquista da minha vida é dedicada especialmente a eles.

Também agradeço aos meus irmãos, Ulysses, Elis e Lávnis que compartilharam comigo momentos bons e ruins durante esse tempo de curso. Sou grato à minha namorada, Gabriela, pela compreensão nos momentos de dificuldade e pelo apoio dado sempre. Agradeço também a todos os meus amigos e familiares que sempre estiveram me incentivando estando perto de mim ou não.

Agradeço ao meu orientador, Chagas, pela paciência e tempo dedicado as sugestões para melhoria deste trabalho.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma, passaram pela minha vida e contribuíram para a construção de quem sou hoje.

*“Se fosse fácil
Achar o caminho das pedras,
Tantas pedras no caminho
Não seria ruim”*

Humberto Gessinger.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo o estudo de filosofias de proteção e teleproteção de linhas de transmissão mais comuns e sua implementação por meio de diagramas lógicos para uso em relés digitais. Para ilustração é feito um estudo de caso dos diagramas lógicos relacionados aos relés de proteção da linha 04M1 da subestação Ribeirão pertencente ao sistema Chesf. Inicialmente, são apresentados os componentes principais da cadeia de proteção, bem como fundamentos de proteção de linhas e o estudo dos esquemas de proteção e teleproteção mais usuais e que são implementados pelos relés do estudo de caso. Por fim, é apresentada a estrutura do barramento da subestação Ribeirão no setor de 230 kV, onde localiza-se o vão da linha estudada e em seguida é feita uma descrição dos diagramas lógicos usadas pelos relés de proteção da linha 04M1.

Palavras-chave: Proteção, Relés, Linha.

ABSTRACT

The work developed here has the purpose of presenting the most common philosophies of protection and teleprotection of transmission lines and their implementation by using logic diagrams for digital relays. As an illustration, it's done a case study of logic diagrams used by the protection relays of line 04M1 from the substation Ribeirão, which belongs to Chesf's system. Initially, it's stated the main components of the protection chain and of the elements of the protection lines, and the study of the most usual protection and teleprotection schemes, which are implemented by the relays from the case study. Finally, it's stated an structure of the substation Ribeirão bus in the 203 kV sector, where is located the studied line porthole and next it's done a description of the logic diagrams used by the protection relays from line 04M1.

Keywords: Protection, Relays, Line.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Esquema de zonas de proteção.	4
Figura 2. Diagrama lógico do esquema de quatro zonas.	4
Figura 3. Diagrama lógico do esquema SOTF	7
Figura 4. Esquema de teleproteção DUTT.....	13
Figura 5. Lógica para transmissão e recepção.....	14
Figura 6. Esquema de teleproteção POTT.	15
Figura 7. Lógica do esquema POTT.....	16
Figura 8. Diagrama unifilar do setor 230kV da SE Ribeirão.	17
Figura 9. Parte frontal do relé P442 Alstom.....	20
Figura 10. Pontos de conexão do relé P442 Alstom.	21
Figura 11. Entradas digitais da UP1.	22
Figura 12. Entradas digitais da UP1.	23
Figura 13. Entradas digitais da UP2.	23
Figura 14. Entradas analógicas do relé P442.....	24
Figura 15. Diagrama unifilar da cadeia de proteção da linha 04M1.....	24
Figura 16. Variáveis de entrada e internas do P442.....	26
Figura 17. Variáveis de entrada, internas e de saída.....	27
Figura 18. Diagramas lógicos de trip.	28
Figura 19. Diagrama lógico para falha de potencial e SOTF.....	28
Figura 20. Lógica de transmissão do carrier.	29
Figura 21. Lógica de falha de disjuntor.	31
Figura 22. Lógica de trip por DUTT e atuação do relé de bloqueio.....	32
Figura 23. Lógica de ordem de religamento e trip geral.	34
Figura 24. Lógica de desbloqueio do religamento da UP2.	34

SUMÁRIO

1	Introdução	1
2	Fundamentos de Proteção de Linhas	2
2.1	Filosofias de Proteção	5
2.1.1	Falha de Disjuntor	5
2.1.2	Fechamento Sobre Falta	6
2.1.3	Monitoramento da tensão do secundário do TP.....	7
2.1.4	Religamento Automático	9
2.1.5	Verificação de Sincronismo	11
2.2	Teleproteção	12
2.2.1	Lógica DUTT.....	13
2.2.2	Lógica POTT	14
3	Estudo de Caso: Proteção de Linha da Subestação Ribeirão – CHESF	17
3.1	Transferência de Proteção	18
3.2	Configuração do sistema de proteção da linha 04M1	19
3.3	Diagramas Lógicos implementados pelos relés	25
3.3.1	Transmissão do Carrier.....	28
3.3.2	Falha de disjuntor.....	30
3.3.3	Trip por DUTT e atuação do relé de bloqueio	31
3.3.4	Trip geral e Ordem de religamento	32
4	Conclusão.....	35
	Bibliografia.....	36
	ANEXO A – Tabela ANSI.....	37

1 INTRODUÇÃO

O componente principal dos sistemas de proteção é o relé. Relé é, basicamente, um sensor que monitora sinais de tensão e corrente vindos de transformadores de potencial (TPs) e transformadores de corrente (TCs) e envia sinais de comando para atuação de disjuntores. Os relés evoluíram historicamente desde os relés eletromecânicos, relés estáticos, até os relés digitais. Os relés eletromecânicos e estáticos apresentam alta durabilidade e confiabilidade, mas apresentam manutenção dispendiosa, são de ajuste mais complicado. Os relés digitais apresentam algumas vantagens como, por exemplo, a execução de múltiplas funções (sobrecorrente, distância, falha de disjuntor, sobretensão, etc.) por uma única unidade, a comunicação com outras unidades digitais na mesma subestação ou com unidades remotas, baixo custo de manutenção, maior facilidade de ajustes etc..

A proteção de sistemas elétricos de potência requer alta confiabilidade, velocidade e seletividade. Em um sistema interligado como o brasileiro, o cumprimento desses requisitos torna-se cada vez mais complexo à medida que o sistema cresce incorporando cada vez mais cargas. Com isso tem-se a necessidade de substituir os relés eletromecânicos por unidades digitais, que processam diversas informações de forma inteligente e mais rápida.

2 FUNDAMENTOS DE PROTEÇÃO DE LINHAS

A proteção de linhas de transmissão é executada por vários equipamentos, entre eles tem-se:

- **Relé:** atua como sensor que monitora as condições de operação do sistema que está destinado a proteger e atua na ocorrência de uma falta ou alguma condição desfavorável, como sobretensão, por exemplo, enviando sinais de comando para outros equipamentos ou dispositivos. Na proteção de linhas de transmissão, no caso de uma falta o relé envia um sinal para abertura do disjuntor, a fim de isolar o defeito. Esse sinal é comumente chamado de *trip*, e além do *trip*, o relé envia sinais para sinalização do defeito e alarmes na sala de comando da subestação. Os relés digitais usados atualmente executam diversas funções de proteção que antigamente eram realizadas por equipamentos individuais, o que tomava muito espaço nas salas de relés, entre outras desvantagens.
- **Disjuntor:** é o equipamento que realiza a abertura do circuito durante uma falta (é aberto também em condições normais para uma manutenção, por exemplo). A abertura do disjuntor depende de um sinal de *trip* enviado por relés. Existem diversos mecanismos usados pelos disjuntores para extinção do arco elétrico que se forma durante a abertura do circuito, dentre eles pode-se citar a extinção a gás SF₆.
- **Transformadores para instrumentos (TC e TP):** são ligados nos terminais das linhas e seus secundários alimentam os relés de proteção principais, fornecendo a eles os dados fundamentais para monitoramento da linha. Os transformadores de instrumentos são também usados para os circuitos de medição.
- **Carrier:** é usado para transmissão e recepção de sinais usados na teleproteção.

A proteção de linhas é realizada por várias funções, denominadas pela norma ANSI (ver tabela em anexo A) como:

- Proteção 50 (sobrecorrente instantânea): os relés monitoram a corrente em cada fase e atuam quando o valor medido ultrapassa um valor de ajuste, chamado de *pick-up*.
- Proteção 51 (sobrecorrente temporizada): o relé atua para uma sobrecorrente maior que o valor de ajuste após um tempo escolhido para o relé.
- Proteção 59 (sobretensão): atua quando a tensão monitorada ultrapassa o valor ajustado. Pode ser do tipo instantâneo (59I) ou temporizado (59T).
- Função 67 (sobrecorrente direcional): o relé dá *trip* para uma corrente maior que o valor de *pick-up* e em uma direção pré-estabelecida. Existe também a função sobrecorrente de neutro 67N, que é sensibilizada por três vezes a corrente de sequência zero.
- Falha de disjuntor (50BF): o relé atua se o disjuntor não conseguir abrir depois de receber sinal de *trip*;
- Proteção 79 (religamento): executa o fechamento do disjuntor após a abertura para eliminar uma falta.
- Função 25 (sincronismo): essa função verifica as condições de sincronismo para religamento.
- Proteção 21 (proteção de distância): atua quando os valores medidos de impedância, admitância ou reatância atingem valores pré-definidos ou ajustados no relé. Essas grandezas variam de acordo com o local de ocorrência do curto-circuito na linha. Como essas grandezas são proporcionais ao comprimento da linha, a medição de impedância, por exemplo, indica ao relé uma região aproximada de onde aconteceu a falta. As regiões de atuação da proteção 21 são chamadas de zonas e cada zona é caracterizada por um comprimento e um tempo de atuação. Dada uma linha de transmissão, os valores típicos de alcance e tempo das zonas de proteção adotados pela CHESF são.
 - Zona 1: alcance de 80% da linha e temporização instantânea.
 - Zona 2: alcance de 120% da linha, isto é, cobre toda a linha mais 20% da linha remota. Temporização de 400 ms.
 - Zona 3: alcance de 150% e ajuste de tempo de 800 ms.

- Zona 4: é a zona reversa e deve cobrir a zona 2 do terminal remoto, ou seja, pouco mais de 20% da linha para trás. A temporização usada é de 1s.

A Figura 1 representa o esquema de zonas de proteção.

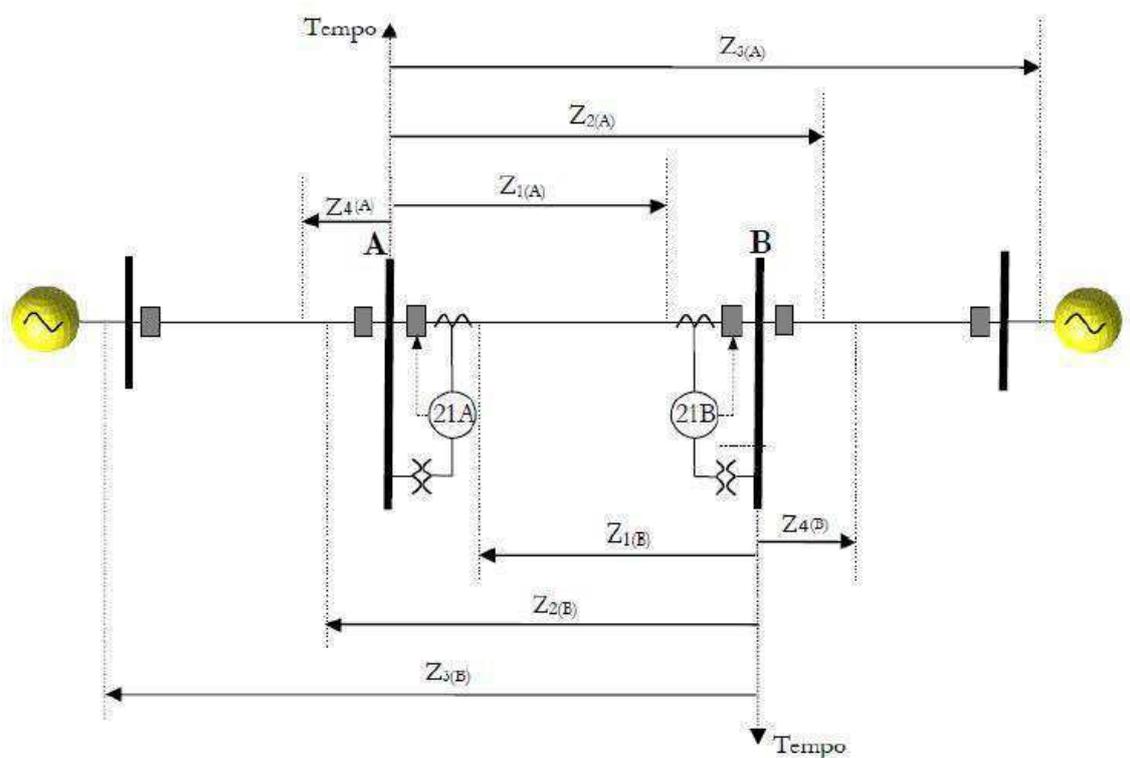


Figura 1. Esquema de zonas de proteção.

Assim, se a proteção 21 detectar uma falta em zona 1 haverá *trip* instantâneo. Mas se a falta estiver em zona 2, só haverá *trip* depois da temporização da zona 2 e assim sucessivamente. A Figura 2 representa a lógica de atuação por zonas.

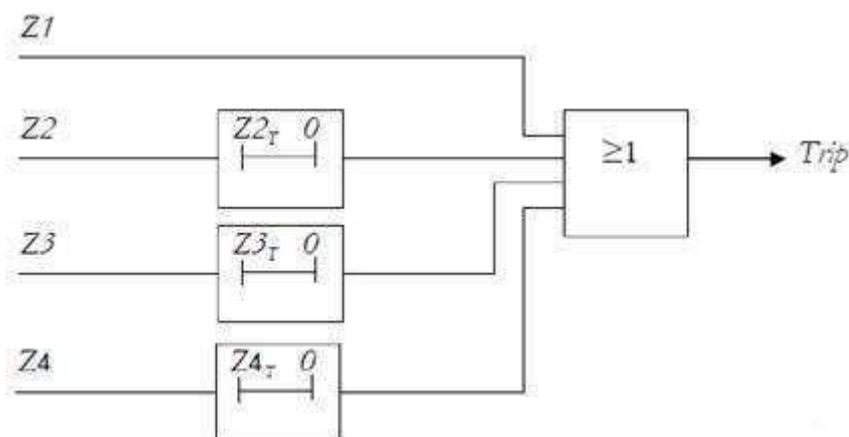


Figura 2. Diagrama lógico do esquema de quatro zonas.

Os relés digitais executam várias ações para cada falta em determinada zona. Têm-se as situações seguintes:

- Falta na zona 1: executa *trip*, dá partida no religamento e na proteção de falha de disjuntor, transmite sinal de *carrier* nos canais 1 e 2.
- Falta na zona 2: executa *trip*, dá partida na proteção de falha de disjuntor e transmite no canal 1.
- Falta na zona 3: executa *trip* e dá partida na proteção de falha de disjuntor.
- Falta na zona 4: apenas executa *trip*.

2.1 FILOSOFIAS DE PROTEÇÃO

Existem várias lógicas usadas em esquemas de proteção de linhas de transmissão e essas lógicas implementam as filosofias de proteção. A seguir são discutidas de forma geral filosofias comuns de proteção de linhas que foram usadas para o estudo de caso mostrado mais adiante.

2.1.1 FALHA DE DISJUNTOR

Após o *trip* pela proteção para abertura do disjuntor, este pode não abrir caso ocorra algum defeito como, por exemplo, falta de tensão CC no circuito do disjuntor. Dessa forma, caso ocorra uma falta e o disjuntor não consiga abrir é preciso isolar a falta por meio de disjuntores adjacentes. De forma geral, quando ocorre uma falha de disjuntor, é enviado sinal de *trip* para o disjuntor do outro terminal da linha e para os disjuntores adjacentes das outras linhas ligadas à barra. Assim, na ocorrência de uma falha de disjuntor deve-se “limpar” a barra e enviar *transfer trip* (denominação usada para o *trip* enviado por teleproteção para o terminal de linha remoto).

De uma forma geral, a lógica de falha de disjuntor é feita da seguinte forma:

- Após o envio do sinal de *trip*, a lógica de falha de disjuntor parte, isto é, começa a contar um tempo definido.

- Se após esse tempo o disjuntor não abrir, a saída lógica de falha de disjuntor é ativada e seu sinal é usado para enviar *transfer trip* e abrir os disjuntores adjacentes conectados à barra.

O monitoramento do disjuntor pode ser feito pelos contatos do circuito dele ou por meio da corrente da linha que flui pelo equipamento. Se o *trip* enviado pelo relé for devido à atuação de uma função que dependa de corrente, como por exemplo, 21 ou 67, a lógica de falha é, normalmente, feita por corrente, ou seja, se a corrente no disjuntor continuar fluindo por um tempo ativa-se o falha. Caso o *trip* seja causado por função independente de corrente (sobretensão, por exemplo) a lógica de falha é feita por contatos, isto é, tem-se falha de disjuntor caso após o *trip* e decorrido um tempo, os contatos do disjuntor continuarem indicando disjuntor fechado.

2.1.2 FECHAMENTO SOBRE FALTA

Durante a manutenção de disjuntores ou linhas de transmissão é preciso isolá-los para garantir segurança à equipe que esteja realizando a manutenção. Essa isolamento é efetuada por meio da abertura de seccionadoras que envolvam o equipamento e, às vezes, é utilizada a chave seccionadora de aterramento. Após o término da manutenção é preciso energizar novamente o trecho desligado. Para cada caso existe um roteiro de manobras que devem ser executadas criteriosamente para a energização com segurança. Mas, podem acontecer falhas nesse procedimento como, por exemplo, o esquecimento da abertura da chave de aterramento. Nesse caso, no momento da energização do equipamento, ocorrerá uma falta para a terra através da seccionadora. Este fato é conhecido como “fechamento sobre falta” ou *SOTF*, de *Switch-Onto-Fault*.

Os relés digitais utilizam lógicas internas para detecção do fechamento sobre falta e atuação com a abertura do disjuntor. Quando ocorrer essa situação, a proteção deve atuar instantaneamente enviando *trip* para abertura do disjuntor e, além disso, deve ser bloqueado o religamento automático.

A lógica do *SOTF* tem como entradas o estado do disjuntor (fechado) e o comando de fechamento. O estado, como foi dito anteriormente, é informado através de uma das entradas digitais do relé por meio de um contato auxiliar, seja este contato de um relé auxiliar ou mesmo do circuito do disjuntor. O sinal de comando do disjuntor também é dado à proteção através de um contato auxiliar. O monitoramento da

ocorrência da falta pode ser feito por meio de unidades de sobrecorrente instantânea, de fase ou de neutro. Dessa forma, quando ocorrer o comando de fechamento do disjuntor e ele fechar, sendo detectada uma sobrecorrente, na fase ou no neutro, a proteção emite um sinal para abertura do disjuntor e um sinal para bloqueio do religamento automático.

Na lógica de fechamento sobre falta, se houver um religamento ou um comando de fechamento manual do disjuntor, aguarda-se a detecção de falta por unidades de proteção sem direcionalidade (partida da proteção ou sobrecorrente). Caso haja o curto-circuito, então é confirmada a tentativa de um fechamento sobre uma falta existente e, assim, é enviado o sinal de trip para o disjuntor. Caso a proteção não detecte nenhuma falta durante este intervalo de tempo (100ms, por exemplo), então é realizado o religamento automático ou o fechamento por comando manual. A Figura 3 mostra a lógica do esquema *SOTF*.

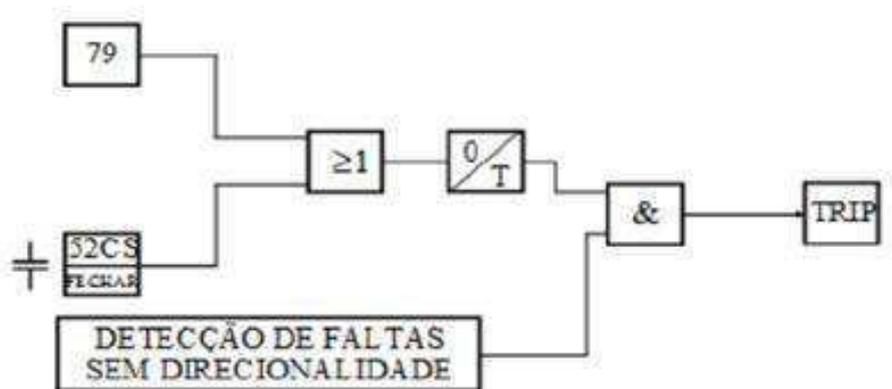


Figura 3. Diagrama lógico do esquema *SOTF*

2.1.3 MONITORAMENTO DA TENSÃO DO SECUNDÁRIO DO TP

Os transformadores para instrumentos (TC e TP) têm uma caixa auxiliar instalada nas suas bases metálicas que servem para disponibilizar pontos de conexão com os terminais de seus enrolamentos secundários. Cada caixa é composta por bornes que possibilitam essas conexões, entre os transformadores de instrumentos e equipamentos secundários, como relés de proteção, multimedidores e oscilógrafos.

Na caixa do TP, além dos bornes para interligação, existem minidisjuntores tripolares (com contatos auxiliares NA e NF) para os circuitos alimentados pelo TP. Em instalações mais antigas ainda se utiliza fusível. No caso dos TCs isso não é utilizado, pois a abertura de um minidisjuntor abriria o circuito deixando o secundário do TC em

vazio, causando danos graves ao equipamento (sua explosão, por exemplo). Neste caso, utilizam-se blocos de aferição de corrente, que curto-circuitam o secundário do TC quando seus contatos de seccionamento mudam de posição a fim de desfazer momentaneamente a interligação entre o TC e o equipamento ligado ao seu secundário.

No caso da abertura de um minidisjuntor, seja por ação manual ou por defeito no circuito, algumas funções da proteção, como proteção 21 e direcional, podem atuar indevidamente. Isso acontece porque essas proteções são polarizadas por tensão e a perda de potencial em pelo menos uma das fases impossibilitaria o cálculo correto da distância da falta por parte da proteção 21, assim como também causaria erros na detecção da direcionalidade do fluxo de corrente durante um curto pela proteção direcional.

Dessa forma, é necessário que o relé digital consiga perceber que o minidisjuntor do TP foi aberto e, durante uma falta nessas condições, atue da melhor forma possível. Em geral, a lógica usada para detecção de perda de potencial do TP é implementada da forma descrita a seguir.

- Verifica-se se o disjuntor está fechado. Esta condição é requisito para esta lógica, ou seja, caso o disjuntor esteja aberto, não é possível a lógica de perda de tensão do TP.
- O relé confere se há queda de tensão.
- Verifica-se variação na corrente.
- Se houver queda de tensão e a corrente não variar, então se tem perda de tensão do TP. No caso de uma falta a queda de tensão seria acompanhada de um aumento da corrente.
- Bloqueia-se a atuação da proteção 21 e proteções direcionais que sejam polarizadas por tensão (funções de sobrecorrente).

Esta lógica é geral e pode sofrer pequenas alterações dependendo do fabricante do relé. Pode-se, por exemplo, não bloquear todos os elementos direcionais, desabilitando apenas a função de sobrecorrente reversa e habilitando a sobrecorrente à frente. Além da lógica para detecção de perda de potencial do TP, atualmente também se utiliza um dos contatos do minidisjuntor da caixa de ligação do TP para informar o relé digital, através de uma de suas entradas digitais, a abertura do minidisjuntor.

2.1.4 RELIGAMENTO AUTOMÁTICO

A maioria das faltas no sistema elétrico é temporária e se auto-extingue após a eliminação do arco elétrico por meio da atuação da proteção. Por isso é fundamental o religamento automático, que garante maior continuidade no fornecimento de energia elétrica aos consumidores.

A função de religamento é denominada função 79 de acordo com a tabela ANSI (em anexo). A partida do religamento é feita apenas pela partida de primeira zona da proteção 21 ou pelo recebimento de sinal pela teleproteção de primeira zona. Além disso, durante o comando manual de abertura do disjuntor o religamento deve ser desabilitado. Isto acontece pela ativação da função 86, bloqueio de religamento.

Os curto-circuitos que são eliminados após a extinção do arco pela abertura do disjuntor são chamados de curto-circuitos temporários. Um exemplo deste tipo de falta ocorre quando há o rompimento da rigidez dielétrica da cadeia de isoladores. Após a abertura do disjuntor o arco elétrico é eliminado e, muitas vezes, a cadeia de isoladores recupera sua isolação. Assim, com o religamento o sistema volta ao normal.

Por outro lado, se durante a falta os isoladores forem danificados e perderem sua rigidez dielétrica, como no caso de perfuração interna ou até mesmo a destruição da cadeia ou de um dos isoladores, após o religamento a falta continuará. Nesse caso, o defeito é chamado de curto-circuito permanente. Outros exemplos de faltas permanentes acontecem quando, por exemplo, um cabo de linha de transmissão cai no chão, ou quando um curto entre fases é provocado por vândalos ou ainda quando há um aterramento feito por chave de terra para manutenção, o qual é esquecido durante a energização, etc. Nesses casos a falta só será extinta após ação humana, feita por equipes de manutenção.

Outro conceito comum utilizado na filosofia de religamento é o *dead time*, ou tempo morto do disjuntor. O tempo morto é o intervalo de tempo entre a extinção do arco e o restabelecimento da corrente elétrica. Dois parâmetros são importantes para o *dead time*, que são o limite inferior de *dead time*, e o limite superior. O limite inferior é o tempo mínimo necessário para a extinção completa do arco elétrico, de forma que o religamento seja seguro, evitando o restabelecimento da corrente de curto. O limite superior de *dead time* é o tempo máximo que o disjuntor deve permanecer desligado, de forma que o religamento não provoque distúrbios no sistema elétrico, como oscilação de potência.

O religamento automático é efetuado em ciclos. No caso de linhas de distribuição o religamento é, em geral, efetuado três vezes, pois na maioria das vezes o curto é temporário e se extingue com a abertura do disjuntor e, além disso, os surtos gerados são suportáveis e não causam problemas de estabilidade ao sistema. Já em linhas de transmissão recomenda-se realizar o religamento apenas uma vez, pois tentativas de religamento mal sucedidas podem gerar sobretensões elevadas no sistema e problemas de estabilidade, prejudicando o funcionamento de máquinas operando na rede.

Após um ciclo de religamento, este é bloqueado por um tempo definido, chamado de *reclaim time*, ou tempo de recomposição do disjuntor. Quando é dado um comando de fechamento manual ao disjuntor o religamento deve ser bloqueado por um intervalo de tempo ajustado no relé. O comando de fechamento é geralmente um pulso de cinco segundos e, nesse intervalo o religamento fica desabilitado. Mas se houver uma falta durante esse tempo o religamento continuará bloqueado por mais um intervalo definido na lógica do relé.

A prática de religamento pode acontecer em apenas uma fase, religamento monopolar, ou pode ser trifásico, religamento tripolar. No sistema elétrico a maioria das faltas são temporárias e monofásicas. Assim, é fundamental o religamento monopolar, garantindo mais confiabilidade e disponibilidade ao sistema. Esse esquema apresenta algumas vantagens em relação ao religamento trifásico, como por exemplo, sobretensões de manobra menores, transitórios mais estáveis e menor possibilidade de perda de sincronismo. Entretanto, a manobra efetuada apenas em uma fase provoca, inevitavelmente, o desbalanço momentâneo do sistema afetando as cargas, como motores. Outro fenômeno importante é a formação do arco secundário, que é a existência do curto na fase defeituosa alimentado por indução eletromagnética pelas outras duas fases sem defeito, mesmo após a abertura dos disjuntores da linha defeituosa. No religamento tripolar isso não existe, já que não haverá linhas energizadas para alimentar a falta.

Para que o religamento monofásico possa ser implementado, é necessário que a proteção consiga identificar a fase defeituosa e atue no pólo do disjuntor equivalente. Com isso, os disjuntores empregados na SE devem ser especificados de forma que possam operar seus pólos de maneira independente. Além disso, a proteção deve ter em sua lógica a atuação do religamento tripolar subsequente ao religamento monofásico, caso este não consiga eliminar o defeito.

Na abertura tripolar, a proteção não precisa identificar qual a fase defeituosa e opera abrindo os três pólos do disjuntor isolando completamente a falta. Dessa forma, não há possibilidade de formação de arco secundário. Ademais, a abertura trifásica pode eliminar qualquer tipo de falta *shunt*: trifásica, fase-fase, fase-fase-terra e monofásica. Caso a falta seja extinta com a abertura, o religamento tripolar deve ser efetuado. O *dead time* para este caso é, normalmente, de 500 a 1000 ms. Entretanto, como a linha é desenergizada, a manobra de religamento tripolar pode provocar sobretensões elevadas podendo até causar perda de sincronismo no sistema e oscilação de potência.

2.1.5 VERIFICAÇÃO DE SINCRONISMO

A função verificação de sincronismo ou check de sincronismo é identificada por 25 de acordo com a tabela *ANSI*. Essa função está presente na maioria dos relés digitais da atualidade. A função 25 atua de forma a verificar o momento adequado para o fechamento do disjuntor, seja num religamento automático ou num religamento manual. A checagem de sincronismo é feita pela comparação da amplitude, fase e frequência das tensões dos dois lados do disjuntor. O religamento só é permitido se essas grandezas estiverem iguais, de forma a evitar sobretensões e oscilações.

Quando a linha de transmissão é radial o religamento automático depende apenas do *dead time*, já que a linha foi desenergizada e não tem fonte remota. Já no caso de linha com fonte dos dois lados é preciso realizar a verificação de sincronismo. Assim, o religamento automático depende do tempo morto do disjuntor e da checagem de sincronismo.

De forma geral, um dos terminais da linha deve religar primeiro após verificar tensão nula na linha e esse religamento acontece depois tempo morto definido. Esse terminal que atua primeiro é chamado de terminal líder. Em seguida o terminal remoto deve verificar sincronismo e fechar o disjuntor caso as condições de tensão na linha sejam compatíveis com a tensão da barra. Esse terminal é chamado de seguidor. A ONS estabelece no *submódulo 2.6 - Requisitos mínimos para os sistemas de proteção e de telecomunicações*, “para permitir a seleção do terminal líder, ambos os terminais devem ser equipados com esquemas de religamento e de verificação de sincronismo”.

2.2 TELEPROTEÇÃO

A teleproteção compreende as filosofias de proteção executadas por relés de terminais de uma linha utilizando comunicação entre si. Para o funcionamento da teleproteção é preciso que as proteções dos terminais de uma linha se comuniquem, enviando e recebendo sinais. Assim, existem canais de comunicação entre os terminais. A teleproteção é um artifício a mais na seletividade do sistema de proteção.

É necessário que as subestações tenham em cada terminal de linha equipamentos para telecomunicação adequados. Os canais de comunicação utilizados são os seguintes:

- Fio piloto: o meio de propagação pode ser fios telefônicos ou cabos elétricos blindados.
- Onda portadora: o meio de comunicação é a própria linha de transmissão.
- Fibra ótica: o meio é implementado por cabos de fibra ótica no núcleo dos cabos guarda.
- Microondas: a comunicação se dá pelo ar.

O esquema mais comum é de onda portadora ou *carrier*. Nele, um sinal na faixa de 20 e 400 kHz é enviado nos mesmos cabos que transportam a energia do sistema de potência. A transmissão com *carrier* apresenta algumas vantagens como, não haver necessidade de amplificadores de sinal em linhas longas, além de fácil manutenção. Entretanto, durante uma falta, o canal pode ser exposto a ruído.

O sistema de teleproteção é composto por bobinas de bloqueio, capacitores de acoplamento, grupo de acoplamento, transmissores e receptores. A bobina de bloqueio serve para filtrar o sinal de *carrier* da linha. Ela é formada basicamente por uma indutância em paralelo com um acoplamento resistivo-capacitivo. Este conjunto é responsável pela filtragem do sinal. Já os capacitores de acoplamento têm a função de isolar o sistema de transmissão ou recepção da alta tensão.

O uso de fibra para teleproteção não é muito comum no sistema de transmissão brasileiro. Entretanto, pode ser considerado o meio adequado para este fim, apresentando várias vantagens, como a isolação contra interferência eletromagnética,

menor tempo de transmissão, ausência de equipamentos como bobina de bloqueio e divisores capacitivos, comunicação feita diretamente entre relés, etc.

A seguir, são analisadas as lógicas de teleproteção mais usuais e que foram consideradas no estudo de caso da proteção de linha da subestação Ribeirão.

2.2.1 LÓGICA DUTT

Esse esquema de teleproteção é bastante comum em sistemas de potência. A lógica *DUTT* (*Direct Underreach Transfer Trip*) é executada da seguinte forma:

- A proteção 21 de um terminal de linha percebe uma falta em primeira zona. Neste caso, a proteção 21 opera por subalcance.
- Envia sinal de *trip* para o disjuntor do seu vão e envia sinal de *transfer trip* para o disjuntor remoto no outro terminal da linha. Esse sinal é recebido pelos equipamentos de teleproteção no outro terminal e enviado para o relé principal. Na lógica do relé esse sinal é processado e tem como saída um *trip* direto na bobina de abertura do disjuntor.

Dessa forma, na lógica *DUTT* há uma abertura sem retardo e sem condicional no disjuntor remoto. No caso de uma falta entre os dois terminais de uma linha e dentro da zona 1 de ambas, as duas proteções vão enviar *transfer trip*. Se a falta ocorrer muito próxima de um terminal, estando fora da zona 1 do terminal remoto, este só atuaria em tempo de zona 2, mas devido ao esquema *DUTT* o disjuntor remoto também abrirá em tempo de zona 1, isolando o defeito mais rapidamente. Isso é mostrado na Figura 4.

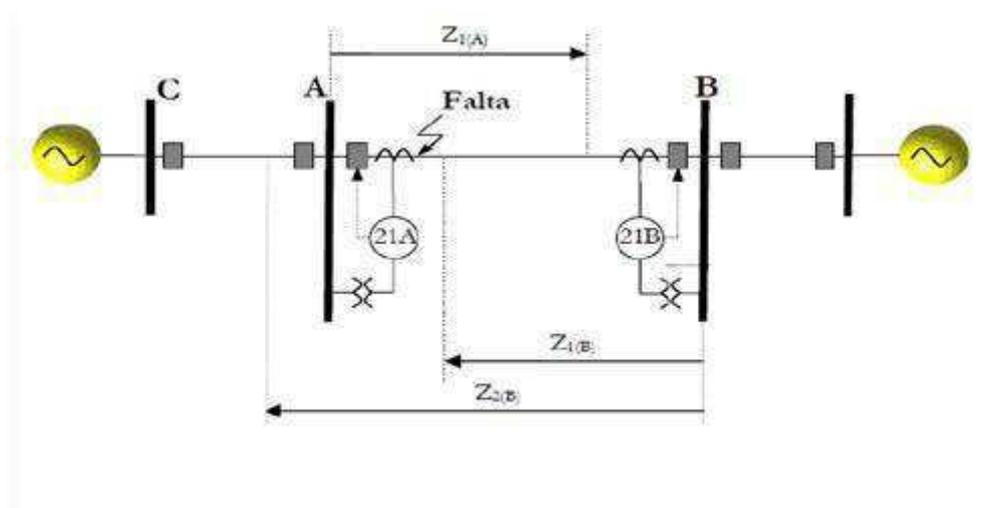


Figura 4. Esquema de teleproteção *DUTT*.

A transmissão de *transfer trip* no esquema *DUTT* é realizada pelos dois canais (configuração mínima e necessária utilizada na lógica de teleproteção). A transmissão simultânea pelos dois canais pode também ser utilizada nos casos de atuação das proteções 59 (sobretensão), 78 (proteção contra falta de sincronismo) e 50BF (falha de disjuntor), efetuando a abertura do disjuntor remoto em tempo de zona 1. A Figura 5 mostra uma lógica de *DUTT*.

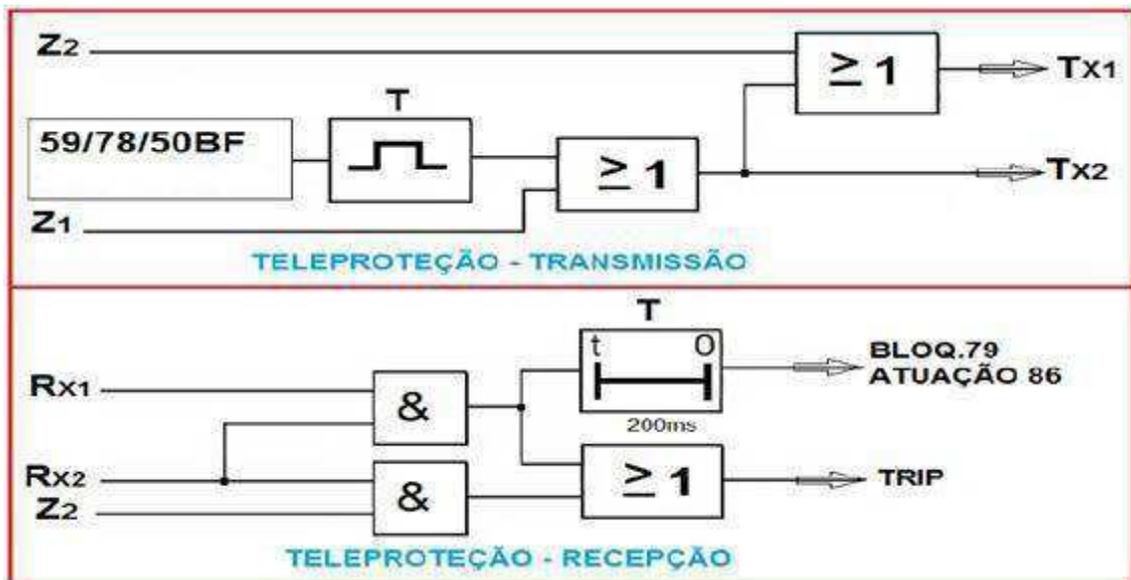


Figura 5. Lógica para transmissão e recepção.

Na lógica acima, se a proteção 21 atuar com zona 1, é efetuada a transmissão sem retardo de tempo pelos canais um e dois (Tx1 e Tx2). No terminal remoto quando há recepção simultânea pelos dois canais (Rx1 e Rx2) a proteção atua com *trip* e se após 200ms os dois canais continuarem recebendo *transfer trip* o religamento é bloqueado enquanto os sinais se mantiverem ativos. No relé digital o bloqueio de religamento está vinculado a uma saída binária que atua na bobina do relé de bloqueio 86 (relé biestável). Já no caso de atuação da proteção por sobretensão (59), falta de sincronismo (78) ou falha de disjuntor (50BF), o sinal transmitido deverá ser mantido por cerca de 300ms nos dois canais tendo a mesma lógica na recepção que no caso anterior. Nesse caso a lógica *DUTT* é conhecida como *DTT* ou *DTT* mantido (*Direct Transfer Trip mantido*).

2.2.2 LÓGICA POTT

A lógica *POTT* (*Permissive Overreach Transfer Trip*) realiza a proteção da linha com sobrealcançe, atuando para faltas ocorridas em zona 2. Mas diferentemente da

lógica *DUTT*, a filosofia *POTT* não realiza a abertura do disjuntor remoto de forma independente da proteção do outro terminal, pois nesse caso é preciso que o relé remoto também perceba falta em zona 2, garantindo que o desligamento só ocorra para uma falta existente entre os dois terminais. Esse esquema é importante no caso de haver algum problema com a transmissão do canal dois, pois nesse caso se houvesse apenas a lógica *DUTT*, o não recebimento de sinal do canal faria com que o relé não enviasse *trip* para o circuito do disjuntor, como mostrado na Figura 5.

A Figura 6 ilustra o esquema de teleproteção *POTT*. Percebe-se que para haver abertura do disjuntor em um dos terminais é preciso que sejam satisfeitas as condições de recepção do canal 1 e atuação da proteção 21 em 2ª zona. Esta zona é temporizada geralmente por 400 ms, ou seja, é detectada uma falta por meio da proteção de distância no alcance da zona 2 e só ocorre *trip* se a duração do curto ultrapassar 400 ms.

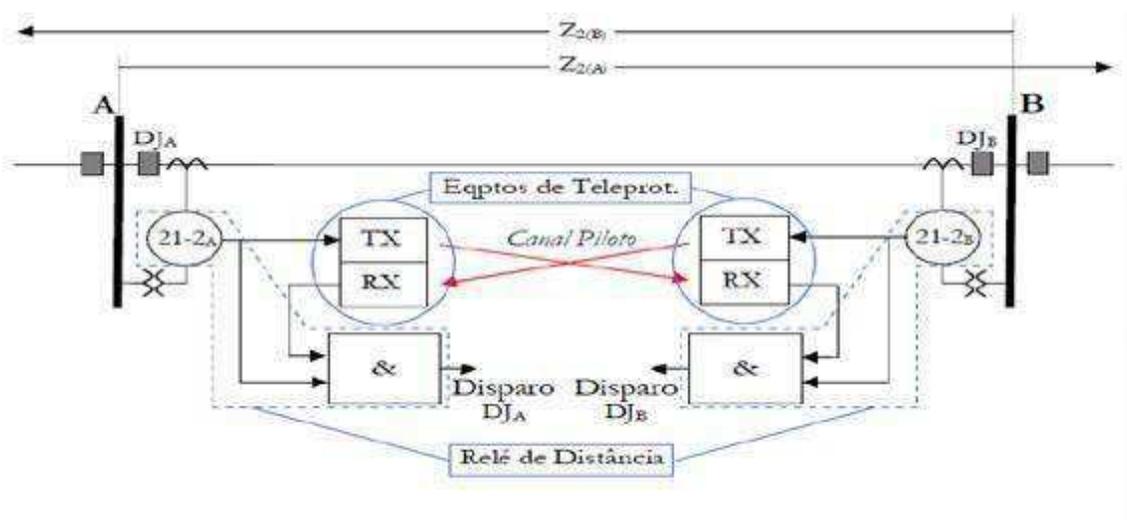


Figura 6. Esquema de teleproteção *POTT*.

A Figura 7 mostra o diagrama lógico do esquema *POTT*.

Outra situação na qual se torna necessário o uso dessa lógica é a seguinte:

- Ocorre uma falta próxima de uma ponta da linha, de modo que esteja dentro da zona 1 do terminal próximo e fora do alcance da zona 1 do terminal remoto, mas dentro de sua zona 2.
- Ocorre falha na proteção 21 de primeira zona do terminal próximo, mas há partida da zona 2 seguido de disparo (após 400ms) para seu disjuntor e transmissão pelo canal dois.

- O terminal remoto parte a proteção de zona 2 e, como não recebe *transfer trip* instantâneo, envia sinal de disparo após 400 ms para o seu disjuntor e para o disjuntor remoto.
- Como a proteção próxima à falta acionou a zona 2, ao receber o *transfer trip* ocorre a abertura do disjuntor. O mesmo ocorre no outro terminal de linha.

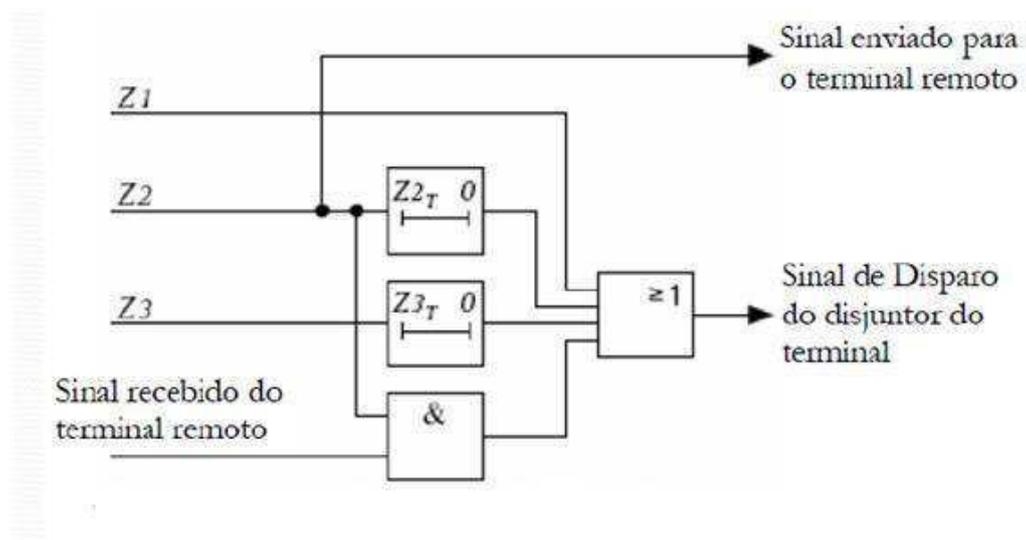


Figura 7. Lógica do esquema POTT.

Nesse caso, é importante o condicional imposto pela zona 2 do terminal ao receber *transfer trip* pois se isso não acontecesse, poderia haver desligamento da linha indevidamente caso a falta tivesse ocorrido dentro do alcance de zona dois de uma das proteções mas fora da linha protegida, já que a zona dois sobrealça a linha.

3 ESTUDO DE CASO: PROTEÇÃO DE LINHA DA SUBESTAÇÃO RIBEIRÃO – CHESF

A subestação Ribeirão pertencente ao sistema CHESF (Companhia Hidroelétrica do São Francisco) é do tipo 230/69/13,8kV e fica localizada na região metropolitana do Recife-PE. Foi feito o estudo da proteção da linha de transmissão ANGELIM/RECIFE II C2 -04M1 pertencente ao vão E no setor de 230kV. Seu barramento é do tipo barra principal e barra de transferência, como mostra o diagrama unifilar simplificado na Figura 8.

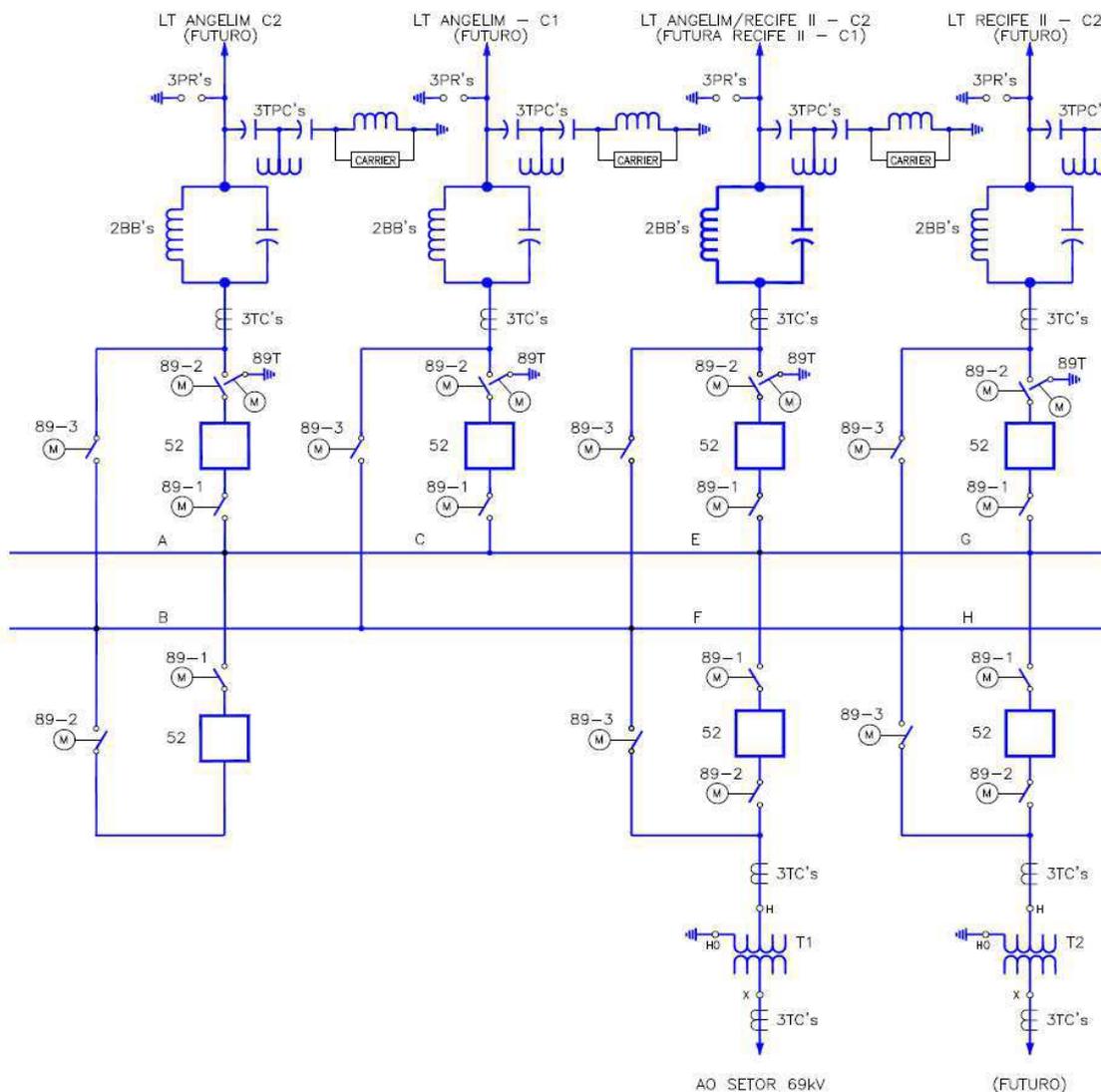


Figura 8. Diagrama unifilar do setor 230kV da SE Ribeirão.

3.1 TRANSFERÊNCIA DE PROTEÇÃO

Nesse tipo de configuração de barramento o disjuntor do vão da linha pode entrar em manutenção sem que a linha seja desenergizada. Para isso é preciso fazer com que a corrente da linha passe a circular apenas pelo disjuntor do vão de transferência. Normalmente são realizadas as seguintes manobras para realizar a transferência de disjuntores:

- Fecham-se as seccionadoras do *bay* de transferência (89-1 e 89-2);
- Fecha-se a seccionadora de *by-pass* do vão da linha (89-3);
- Fecha-se o disjuntor do vão de transferência (52B);
- Abre-se o disjuntor da linha (52E);
- Abrem-se as seccionadoras do vão da linha (89-1 e 89-2).

No momento em que é fechado o disjuntor do *bay* de transferência, este fica em paralelo com o disjuntor do vão da linha e, dessa forma, a corrente da carga é dividida e passa a circular por ambos os disjuntores. Assim, nesse momento é importante que ambos os disjuntores tenham proteção. Para isso, a proteção de cada linha de transmissão é projetada de forma que nesse momento de manobra possa atuar sobre ambos os disjuntores, ou seja, a proteção pode ser manobrada ou transferida. Depois que o disjuntor da linha é aberto, o fluxo de corrente fica apenas pelo vão de transferência.

A transferência de proteções é efetuada pelo operador da SE através de uma chave de comando instalada num painel dentro da sala de comando, chamada 43T. Para esse caso, devem ser usadas três posições da chave:

- Normal: a proteção atua apenas no disjuntor do vão da linha;
- Em Transferência: a proteção atua no disjuntor do vão da linha e no disjuntor do vão de transferência;
- Transferido: a proteção atua apenas no disjuntor do vão de transferência.

Dessa forma, garante-se a proteção da linha em todos os instantes da manobra assegurando a continuidade do sistema.

3.2 CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA DE PROTEÇÃO DA LINHA 04M1

O sistema de proteção de linhas atualmente adotado pela CHESF é do tipo proteção principal mais proteção alternada. O conceito de proteção principal e alternada é bem definido pelo ONS no submódulo 20.1, assim como também os conceitos de proteção unitária ou restrita e proteção gradativa ou irrestrita. Dessa forma, segundo o ONS submódulo 20.1:

Proteção unitária ou restrita: Sistema de proteção destinado a detectar e eliminar, seletivamente e sem retardo de tempo intencional, falhas que ocorram apenas no componente protegido. São exemplos de proteção unitária ou restrita os esquemas com comunicação direta relé a relé, os esquemas de teleproteção, as proteções diferenciais, os esquemas de comparação de fase etc;

Proteção gradativa ou irrestrita: Sistema de proteção destinado a detectar e eliminar falhas que ocorram no componente protegido e fornecer proteção adicional para os componentes adjacentes. Sua atuação é normalmente coordenada com a atuação das proteções dos equipamentos adjacentes por meio de retardo de tempo intencional. São exemplos de proteção gradativa ou irrestrita as proteções de sobrecorrente e as proteções de distância;

Proteção principal: Esquema de proteção composto por um sistema de proteção unitária ou restrita e um sistema de proteção gradativa ou irrestrita;

Proteção alternada: Esquema de proteção composto por um sistema de proteção unitária ou restrita e um sistema de proteção gradativa ou irrestrita, funcionalmente idêntico à proteção principal e completamente independente desta.

Assim, no esquema de proteção principal mais alternada têm-se dois relés que executam suas funções de proteção simultaneamente e de forma independente um do outro. Com isso tem-se uma segurança a mais, graças à redundância, pois se um relé tiver defeito e não operar para uma falta, o outro deve operar em condições normais.

Na linha de transmissão em estudo são usados dois relés digitais:

- Para proteção principal: relé P442 ALSTOM;

- Proteção alternada: relé P442 ALSTOM.

Cada relé apresenta entradas digitais e contatos de saída dos tipos normalmente aberto (NA) e normalmente fechado (NF). Nas entradas digitais são informados estados e posição de disjuntor e seccionadoras, comando de fechamento de disjuntor, comando de religamento, recepção de carrier e abertura de minidisjuntor do TP. Nos esquemas lógicos dos relés P442 as entradas digitais são relacionadas às *opto labels*. Essas informações são usadas pelo relé para processar sua lógica de proteção. Cada contato de saída é relacionado às saídas dos diagramas lógicos de proteção (por exemplo, falha de disjuntor, bloqueio de religamento, etc.) por meio de software do relé, de forma que esses contatos atuam quando as respectivas saídas lógicas passam para nível lógico um. Nos diagramas lógicos internos as saídas digitais são chamadas de *relay labels*. Os relés são alimentados por tensão de 125Vcc disponibilizado pelo serviço auxiliar da SE.

Além dos relés digitais, o sistema de proteção da linha também dispõe de relés auxiliares. Os relés auxiliares são formados por bobinas que quando energizadas atuam seus contatos auxiliares NA ou NF. Eles são utilizados basicamente para aumentar o número de contatos das saídas digitais, além de serem usados em circuitos de intertravamentos e comandos. É preciso aumentar o número de contatos das saídas digitais porque quando ativadas elas devem atuar em diversos circuitos, como por exemplo, circuito de abertura de disjuntor, registrador de perturbações (oscilografia), alarmes e circuito do anunciador. E ainda, disjuntores, seccionadoras, sistema de carrier, painéis de comando entre outros, têm circuitos formados por relés auxiliares que também auxiliam no sistema de proteção.

Na Figura 9 é mostrada a parte frontal do relé P442. Ao seu lado é mostrada uma chave, que é a chave de teste ou serviço, isto é, quando a chave está na posição teste o relé não atua nos circuitos conectados às suas saídas.



Figura 9. Parte frontal do relé P442 Alstom.

A Figura 10 representa a parte de trás do relé P442, sendo mostrados os pontos onde são conectados os circuitos analógicos de TC e TP, as entradas digitais e os pontos terminais dos contatos de saída.

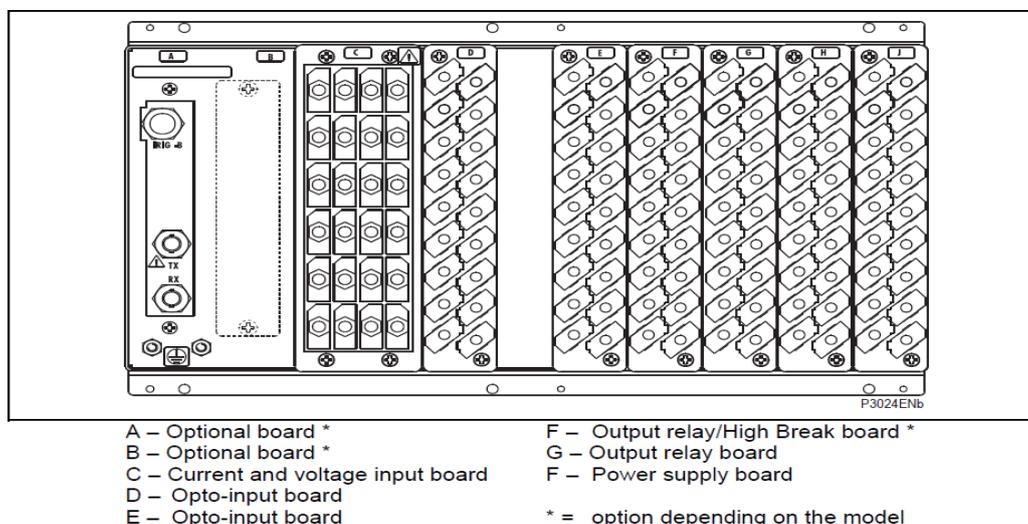


Figura 10. Pontos de conexão do relé P442 Alstom.

O relé de proteção principal é chamado de UP1 (unidade de proteção um) e o da proteção alternada de UP2. Nas entradas digitais da UP1 foram inseridas as seguintes informações:

- Disjuntor do vão E (52E) ou do vão de transferência (52B) fechado. Nota-se que não há informação de posição por pólos do disjuntor, sendo essa uma característica específica da linha 04M1;
- Bloqueio de fechamento por baixa pressão: Esse dado também é conhecido como baixa pressão de SF6 de primeiro grau e é usado apenas para alarme. Ele é obtido por meio de manômetros especiais que monitoram a pressão do gás SF6 no disjuntor e energizam relés auxiliares do circuito do disjuntor de acordo com o nível de pressão interna;
- Bloqueio de função: também conhecido por baixa pressão de SF6 de segundo grau e indica um estado crítico do equipamento de forma que ele não consiga extinguir o arco elétrico corretamente. É usado nas lógicas de falha de disjuntor e bloqueio de religamento;
- Seccionadoras 89-1 e 89-2 do vão E ou do vão B (bay de transferência) fechadas;
- Comando de fechamento manual;

- Religamento ativado: é executado por meio de uma chave instalada num painel na sala de comando da SE;
- Recepção de carrier: a linha 04M1 tem dois canais para teleproteção, sendo assim tem-se recepção de carrier do canal 1 e do canal 2;
- Abertura de disjuntor do TP: na caixa de ligação do TP tem-se minidisjuntores com contatos NA e NF que servem para sinalizar sua abertura.

Nas entradas digitais da UP2 foram inseridas as mesmas informações da UP1 e adicionadas as informações seguintes, conforme é mostrado na Figura 13:

- Partida da UP1 – Bloqueio do religamento da UP2: é usado um contato de saída da UP1 para bloquear o religamento da UP2, pois apenas uma das proteções deve ativar o religamento;
- UP1 chave em teste ou falha interna: o religamento na UP2 deve ser habilitado caso a UP1 esteja em teste ou não tenha partido o religamento por alguma falha no relé ou no caso do minidisjuntor do TP que alimenta a UP1 estiver aberto.

A Figura 11 e a Figura 12 representam as entradas digitais e cada informação inserida nelas através de contatos auxiliares dos circuitos dos equipamentos envolvidos. Essa representação é a utilizada no caderno funcional do projeto elétrico da linha 04M1.

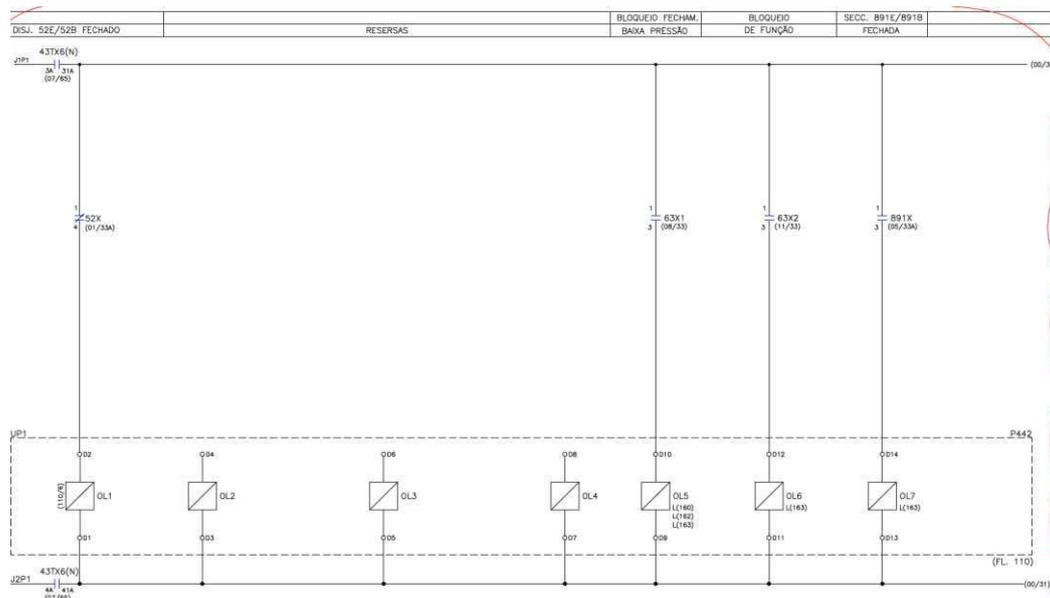


Figura 11. Entradas digitais da UP1.

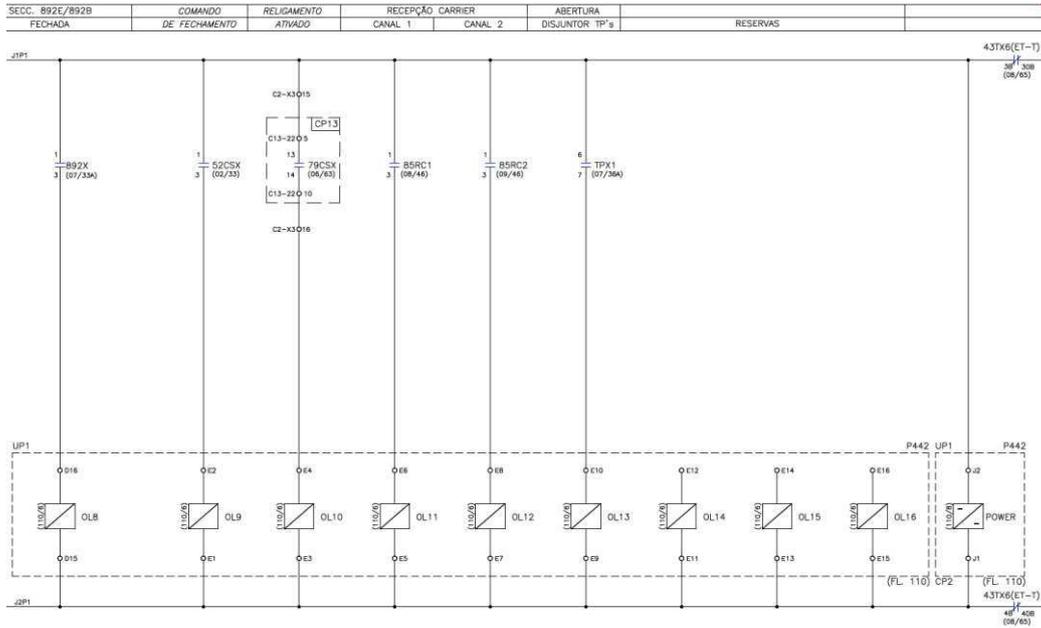


Figura 12. Entradas digitais da UP1.

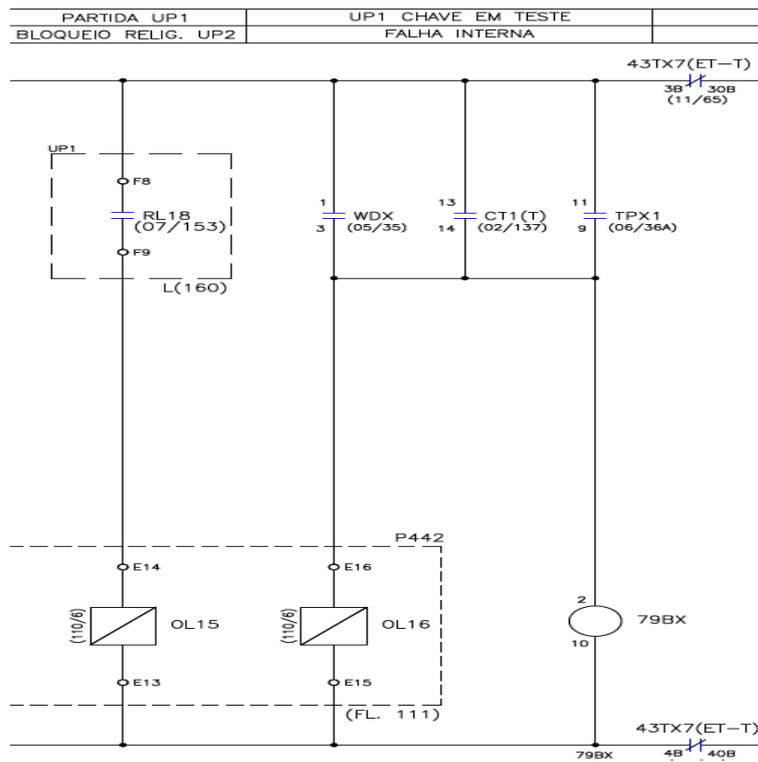


Figura 13. Entradas digitais da UP2.

Na Figura 13 o relé auxiliar 79BX é utilizado para sinalização de religamento bloqueado.

Além das entradas digitais, os relés P442 também são alimentados por sinais analógicos de tensão e corrente provenientes do TP e TC da linha, respectivamente. A Figura 14 representa as entradas analógicas da proteção principal:

O bloco CP1 (chassi de proteção um) abriga o oscilógrafo que é um equipamento que registra os eventos de tensão e corrente em condições normais de operação ou durante uma falta. No bloco PC2 (painel de comando dois) está instalado um multimedidor. O CP13 (chassi de proteção treze) comporta relés auxiliares, tais como relés 27 (de subtensão), relés de posição de seccionadoras, dentre outros. Nos blocos da proteção principal e alternada estão representadas as diversas funções de proteção que cada relé digital contempla: distância (21), sobrecorrente direcional (67), sobrecorrente instantânea e temporizada (50/51), falha de disjuntor (50BF), sincronismo (25), bloqueio por oscilação de potência (68), religamento (79), etc.

3.3 DIAGRAMAS LÓGICOS IMPLEMENTADOS PELOS RELÉS

Os relés digitais utilizados para a proteção da linha 04M1 apresentam variáveis de entrada, variáveis internas e variáveis de saída. As variáveis de entrada são as informações fornecidas ao relé por meio de suas entradas digitais e foram descritas anteriormente. As variáveis internas dependem das binárias de entrada e das entradas analógicas e são processadas por esquemas lógicos específicos. As variáveis de saída correspondem às saídas dos diagramas lógicos e são associadas aos contatos de saída dos relés. A seguir são analisados os esquemas lógicos de proteção usados na linha 04M1.

Na Figura 16, as variáveis internas recebem os dados das entradas. As variáveis internas são:

- *CB Aux (52-A)*: Contato NA usado para armazenar dado de posição dos pólos do disjuntor e assume nível lógico um quando a entrada também é um (disjuntor fechado). É usado para os três pólos do disjuntor (*CB AUX A*, *CB AUX B* e *CB AUX C*) e são interligados porque a configuração dos contatos do disjuntor da linha só disponibiliza a informação dos três pólos fechados ao mesmo tempo;
- *CB Healthy*: essa variável assume nível alto para o disjuntor em condições normais (*Circuit Breaker Healthy* ou circuito do disjuntor saudável). Na sua entrada é fornecido o dado de baixa pressão de SF₆ de primeiro grau. Dessa forma, no diagrama lógico a entrada é negada, pois

caso haja bloqueio de fechamento por baixa pressão, *CB HEALTHY* deve assumir nível zero. Essa informação é utilizada internamente para bloqueio do religamento;

- *Man Close CB*: recebe o sinal comando de fechamento manual. Internamente é utilizada para partir a função *SOTF* e bloqueio do religamento;

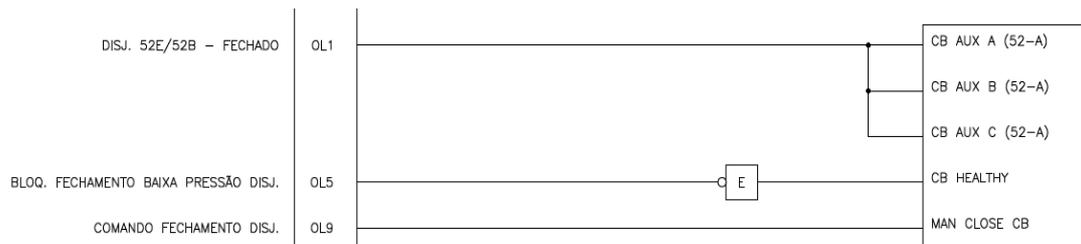


Figura 16. Variáveis de entrada e internas do P442.

No diagrama apresentado na Figura 17 tem-se:

- *TPAR ENABLE*: habilita o religamento tripolar;
- *A/R FAIL*: falha do religamento automático no caso de não serem satisfeitas as condições de sincronismo para o fechamento do disjuntor.

De acordo com o diagrama lógico, o religamento tripolar é habilitado se o religamento estiver ativado e não houver sinalização de falha de religamento pelo *A/R FAIL* após três minutos (180.000 ms). Se *A/R FAIL* se mantiver ativo após os três minutos, a saída do temporizador T9 passará para nível lógico um e se manterá até 10 ms depois que o sinal *A/R FAIL* mudar para zero.

- *V > START ANY A*: partida da proteção de sobretensão na fase A;
- *V > START ANY B*: partida da proteção de sobretensão na fase B;
- *V > START ANY C*: partida da proteção de sobretensão na fase C;
- *V > 1 TIMER BLOCK*: essa variável interna bloqueia o trip por sobretensão se não houver sobretensão trifásica;
- *A/R LOCKOUT*: bloqueio do religamento automático após um ciclo de religamento. O *A/R LOCKOUT* será ativado se durante o *reclaim time* do disjuntor a proteção der *trip*. O *A/R LOCKOUT* atuará bloqueando o

religamento e isso se manterá até que seja resetado ou o relé receber um comando manual de fechamento.

Assim, o religamento é bloqueado quando *A/R LOCKOUT* é ativado ou quando o relé não recebe a informação de religamento ativado, executado por uma chave de comando.

- *DIST START A*: partida da proteção 21 na fase A.
- *DIST START B*: partida da proteção 21 na fase B.
- *DIST START C*: partida da proteção 21 na fase C.
- *V > 2 TRIP*: sobretensão temporizada. A temporização é definida no *settings* do relé.
- *V > 1 TRIP*: sobretensão instantânea.
- O *LED7* diz respeito a um dos *leds* na parte frontal do relé, e nesse caso acenderá se houver *trip* por sobretensão.

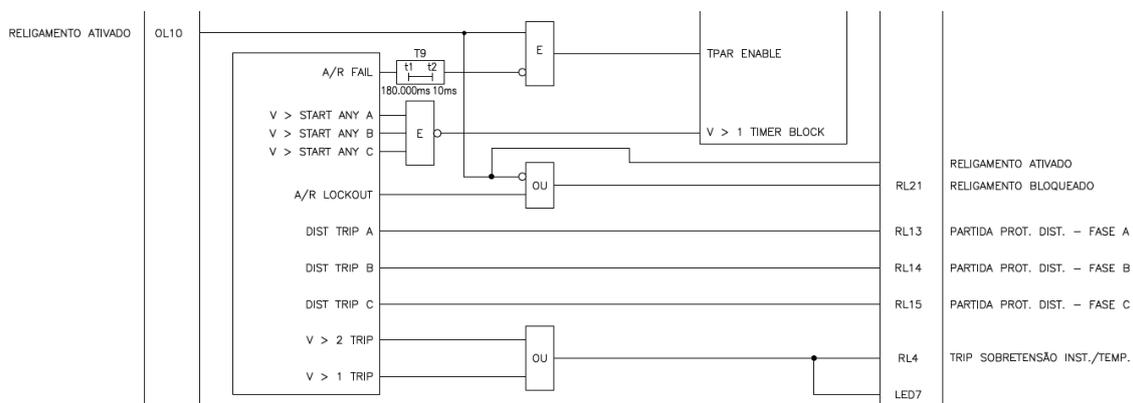


Figura 17. Variáveis de entrada, internas e de saída.

A atuação da proteção de distância é indicada para cada zona de atuação do relé, assim como também trip geral para atuação da proteção 21 em qualquer fase ou zona. Da Figura 18 tem-se:

- *DIST TRIP A*: trip da função 21 para uma falta na fase A.
- *DIST TRIP B*: trip da função 21 para uma falta na fase B;
- *DIST TRIP C*: trip da função 21 para uma falta na fase C.
- A ativação de pelo menos uma dessas variáveis fecha o contato de saída RL17 (*relay label 17*) sinalizando *trip* pela proteção de distância.

- T1, T2, T3 e T4: temporizações características para falta em zona 1 (Z1), zona 2 (Z2), zona 3 (Z3) e zona 4 (Z4) respectivamente. Esses valores são inseridos no *settings* do relé. Os valores típicos usados pela CHESF são: T1 = instantâneo, T2 = 400 ms, T3 = 800 ms e T4 = 1 s.

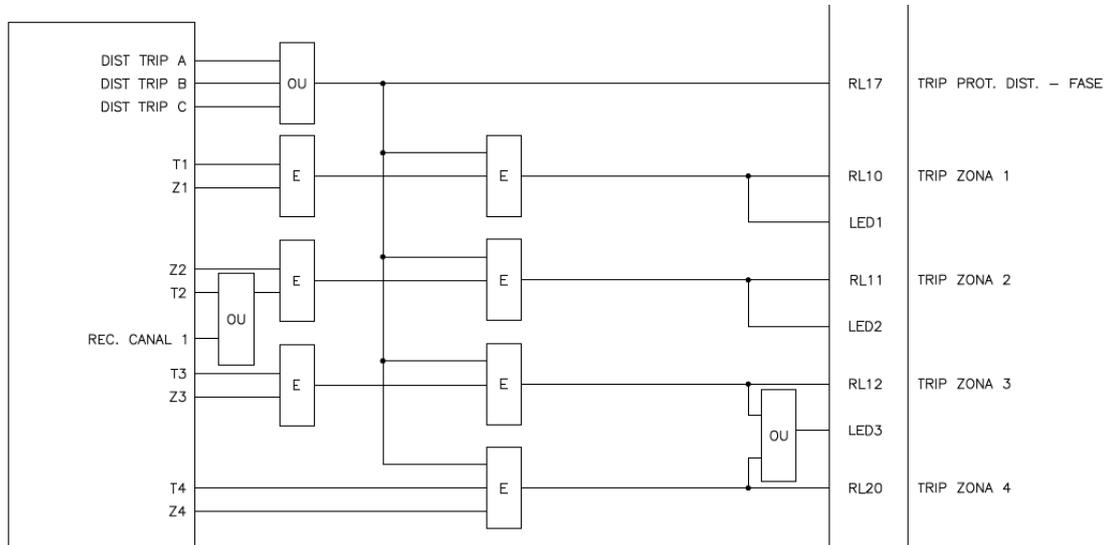


Figura 18. Diagramas lógicos de trip.

A indicação de perda de potencial do TP na entrada digital OL13 é relacionada à variável interna *VT FAIL ALARM*. Mas *VT FAIL ALARM* também pode ser ativada se for detectada perda de potencial por algoritmo interno. A Figura 19 também mostra a saída de *trip* para fechamento sobre falta e sua sinalização no *LED4*.

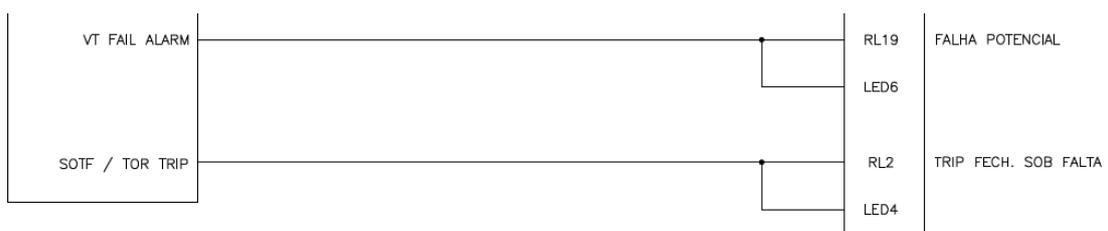


Figura 19. Diagrama lógico para falha de potencial e *SOTF*.

3.3.1 TRANSMISSÃO DO *CARRIER*

Para entendimento do esquema lógico da Figura 20 é preciso definir as variáveis internas:

- *DIST. SIG. SEND* e *DEF SIG. SEND*: estas funções são utilizadas para receber o sinal permissivo do terminal remoto e complementar a lógica

POTT. A variável *DIST. SIG. SEND* está relacionada à atuação da proteção 21, enquanto *DEF SIG. SEND* relaciona-se com a proteção 67N (*Directional Earth Fault* ou DEF).

- RL5 (*relay label 5*): esse contato de saída foi utilizado para a atuação do esquema de falha de disjuntor que será mostrado adiante.

Pela análise do diagrama lógico mostrado percebe-se que haverá transmissão de sinal do *carrier* pelo canal 1 quando pelo menos uma das situações seguintes forem satisfeitas:

- Houver recepção do *carrier* no canal 1 e pelo menos um pólo do disjuntor (do vão E ou do vão de transferência B) esteja aberto e essa situação durar no mínimo 20 ms. Essa lógica caracteriza o esquema conhecido como Eco, que devolve o sinal de teleproteção se o disjuntor já estiver aberto.
- As variáveis *DIST. SIG. SEND* ou *DEF SIG. SEND* forem ativadas.
- Houver sinal de falha de disjuntor por no mínimo 300 ms.
- Houver sobretensão instantânea ($V > 1 \text{ TRIP}$) ou temporizada ($V > 2 \text{ TRIP}$) mantidas por mais de 300 ms.
- O relé atuar para uma falta em zona 1 (Z1) por no mínimo 100 ms.

A transmissão pelo canal 2 só acontecerá para os casos de falha de disjuntor, sobretensão ou zona 1 como descritos para o canal 1.

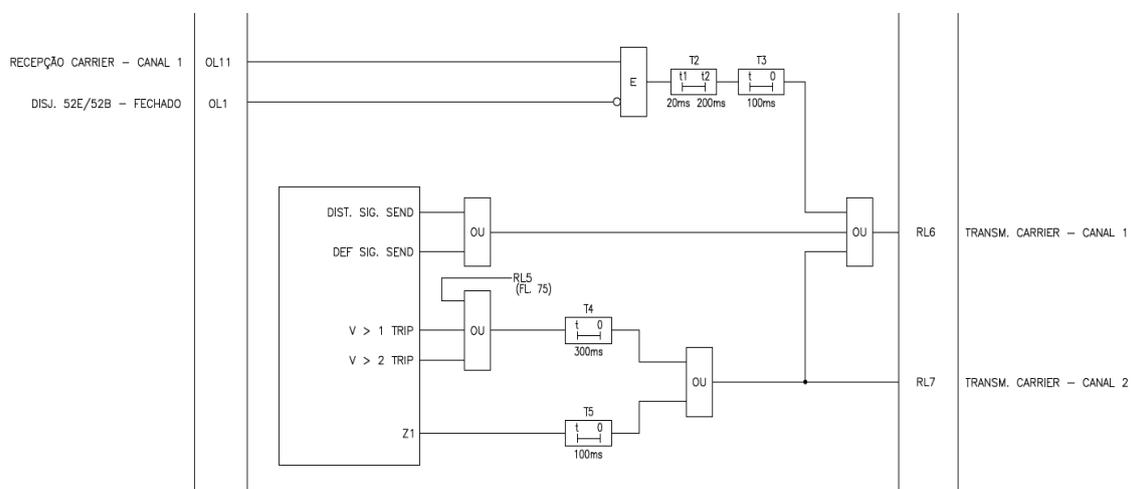


Figura 20. Lógica de transmissão do *carrier*.

3.3.2 FALHA DE DISJUNTOR

O esquema de falha depende das seguintes entradas:

- Bloqueio de função (baixa pressão de SF₆ no DJ).
- Posição dos pólos do disjuntor (disjuntor fechado).
- Posição das seccionadoras que envolvem o disjuntor (89.1 e 89.2).

Além dessas entradas digitais, o relé também utiliza dados processados internamente. São o *TBFI TRIP* e o *ANY TRIP*. O *TBFI TRIP* envia um sinal de disparo para o disjuntor se, depois de um intervalo de tempo ajustado, ele não abrir. O *ANY TRIP* é um sinal de disparo para o disjuntor emitido por qualquer das funções de proteção do relé, podendo ser um *trip* monopolar (por fase) ou tripolar. A Figura 21 mostra o diagrama lógico para o esquema de falha.

A ativação do esquema de falha de disjuntor depende, antes de tudo, da posição das seccionadoras 89.1 e 89.2. Só poderá ocorrer atuação do esquema de falha de disjuntor se as duas seccionadoras estiverem fechadas. Caso esta condição seja satisfeita, a lógica dependerá de duas situações:

- Se ocorrer atuação do *TBFI TRIP*, o falha será ativado, de forma que um contato de saída do relé atuará sinalizando este evento.
- Outro fator determinante para atuação da lógica de falha é a baixa pressão de SF₆ no disjuntor. De forma que, caso haja algum *trip* (*ANY TRIP*) por alguma função interna do relé e o mesmo esteja recebendo sinal de baixa pressão de SF₆ 2º grau e, ainda, qualquer um dos pólos do equipamento esteja fechado, ocorrerá atuação da saída binária correspondente ao esquema de falha de disjuntor. Ou seja, a baixa pressão de SF₆ de segundo grau desconsidera a temporização do esquema de falha de disjuntor.

O contato de sinalização de falha de disjuntor utilizado pelo relé permanecerá fechado até que ocorra a abertura de pelo menos uma das chaves que isolam o disjuntor. Isto é, a abertura das chaves seccionadoras 89.1 ou 89.2 efetua o *reset* do esquema de falha de disjuntor.

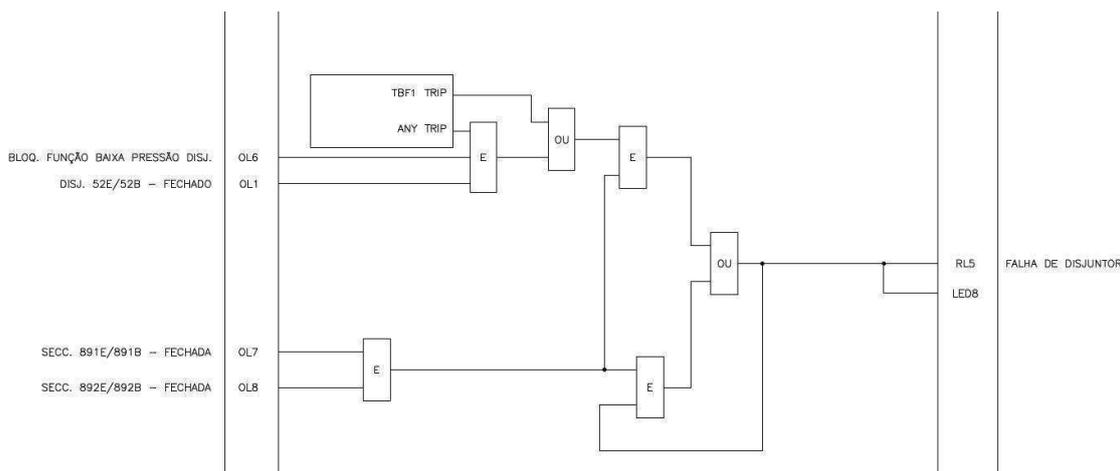


Figura 21. Lógica de falha de disjuntor.

3.3.3 TRIP POR DUTTE ATUAÇÃO DO RELÉ DE BLOQUEIO

Na lógica *DUTT* (*Direct Underreach Transfer Trip*) a abertura direta do disjuntor remoto é feita por meio da transmissão de sinal do *carrier* pelos dois canais simultaneamente. Assim, para haver *trip* é preciso haver recepção nos canais 1 e 2, como mostra a Figura 22. As variáveis internas usadas na lógica são:

- *EXTERNAL TRIP A, B e C*: essa variável deve receber sinais de trip enviados pela proteção remota. Nesse caso, *EXTERNAL TRIP* só terá nível lógico 1 se houver recepção de *carrier* nos dois canais. Ao ser ativada, essa função realiza *trip* acionando a função *ANY TRIP*, parte o religamento e parte a lógica de falha de disjuntor se o relé não tiver dado *trip* pela atuação de funções sensibilizadas por corrente.
- *BAR* (Bloqueio do Religamento Automático): essa variável desabilita a partida do religamento. Na lógica usada, o religamento será bloqueado por *BAR* se houver baixa pressão de SF₆ de primeiro grau por mais de 200ms ou recepção dos dois canais do *carrier* também por mais de 200ms. Assim, ao receber sinais da teleproteção nos dois canais as funções *EXTERNAL TRIP* são habilitadas e partem o religamento, mas se a recepção permanecer por mais de 200 ms o religamento é bloqueado.

O relé de bloqueio é implementado por meio de um relé auxiliar do tipo biestável. Os relés biestáveis comutam seus contatos e permanecem assim bastando para

isso um pulso de tensão em uma de suas bobinas. Para que os contatos voltem ao estado de repouso é preciso pelo menos um pulso na outra bobina. Um dos contatos NF do relé de bloqueio é utilizado no circuito de fechamento do disjuntor, de forma que sua atuação provoca a abertura do contato e impossibilita o fechamento do disjuntor. Dessa forma, é utilizado um contato de saída do relé digital, que é relacionado à saída da lógica de bloqueio do religamento, para ativar o relé de bloqueio, atuando diretamente no circuito do disjuntor. O rearme do religamento só será possível por meio da atuação do operador por meio de um botão que energiza a bobina de rearme do relé auxiliar de bloqueio.

Pela lógica do esquema da Figura 22, haverá atuação do relé de bloqueio quando houver pelo menos uma das situações:

- Sobretensão instantânea ou temporizada.
- Falha de disjuntor.
- Recepção dos canais 1 e 2 durante, no mínimo, 200ms.

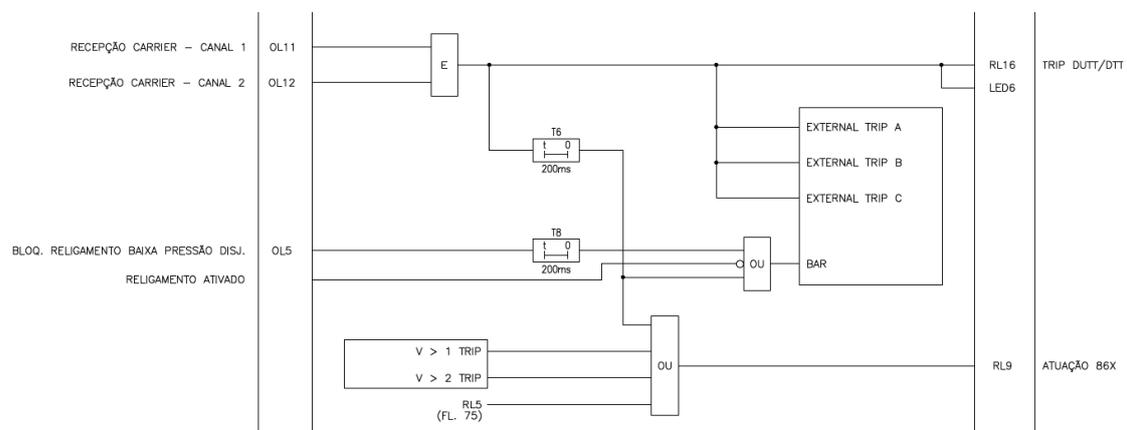


Figura 22. Lógica de *trip* por *DUTT* e atuação do relé de bloqueio.

3.3.4 TRIP GERAL E ORDEM DE RELIGAMENTO

A saída lógica *TRIP GERAL* reúne todas as funções da proteção que atuam com *trip*, de forma que qualquer *trip* é ligado a *TRIP GERAL*. Essa saída é relacionada a um contato do P442 para atuar nos relés auxiliares cujos contatos são usados nos circuitos de abertura dos disjuntores (do vão E ou do vão B). Assim, *TRIP GERAL* atua quando:

- ocorre falha de disjuntor, ou.

- *ANY TRIP* é ativada.

A saída lógica Ordem de Religamento é ligada ao contato de saída RL8 e atua num relé auxiliar que usa um contato NA no circuito de fechamento do disjuntor, ou seja, quando a bobina do relé auxiliar é energizada por ativação de RL8, fecha-se um contato que coloca potencial no circuito de fechamento do disjuntor. Para ativação de Ordem de Religamento devem ser ativadas as variáveis internas:

- *A/R CLOSE* (comando de religamento/fechamento): essa variável atua mantendo um pulso por um intervalo de tempo suficiente para atuação do circuito de fechamento do disjuntor.
- *CHECK SYNCH OK*: verifica se as condições de sincronismo para religamento são satisfeitas.

Como visto anteriormente, o religamento não deve ser efetuado simultaneamente pelos dois relés (proteção principal e alternada) e, por isso, é usada uma lógica para bloqueio do religamento da UP2. A saída dessa lógica está conectada ao contato RL18 e está rotulada como UP1 – PARTIDA RELIG. / VTS (BLOQUEIO RELIG. UP2). Na lógica para bloqueio do religamento da UP2 são usadas as variáveis internas:

- *A/R Ist In PROG*: indica que um ciclo de religamento do disjuntor está em andamento.
- *VTS FAST*: lógica interna que verifica perda de potencial por falha no minidisjuntor do TP.

Dessa forma, a lógica de bloqueio do religamento pela UP2 será ativada se um ciclo de religamento estiver em andamento e não tiver sido detectada falha de minidisjuntor, ou seja, a UP1 tiver partido o religamento em condições normais de funcionamento. O diagrama lógico correspondente a esses esquemas é mostrado na Figura 23.

Foi mostrado anteriormente que é usada uma entrada digital na UP2 para desbloqueio do religamento no caso de defeito interno da UP1 (WDX) ou chave de atuação da UP1 estar na posição *teste* ou abertura do minidisjuntor do TP (detectada por

contato auxiliar do minidisjuntor). Essa lógica é a única diferença nos esquemas lógicos da UP2 com relação a UP1 e é mostrada na Figura 24.

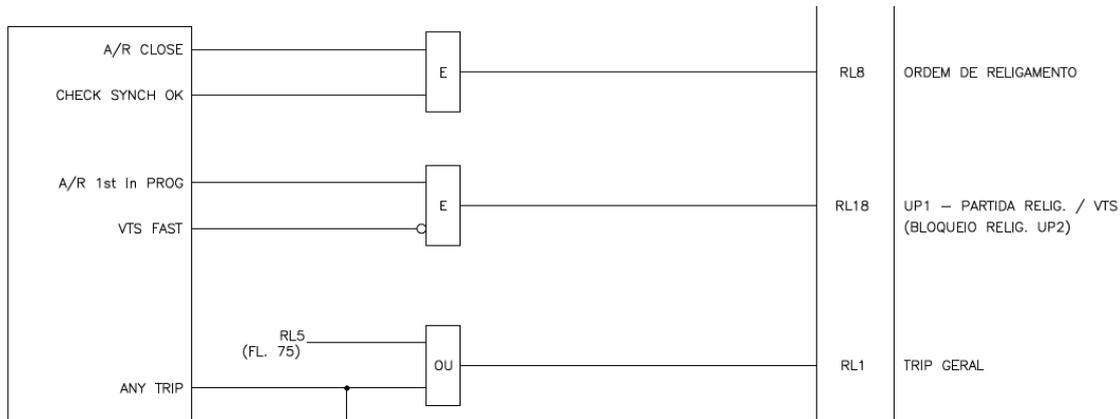


Figura 23. Lógica de ordem de religamento e trip geral.

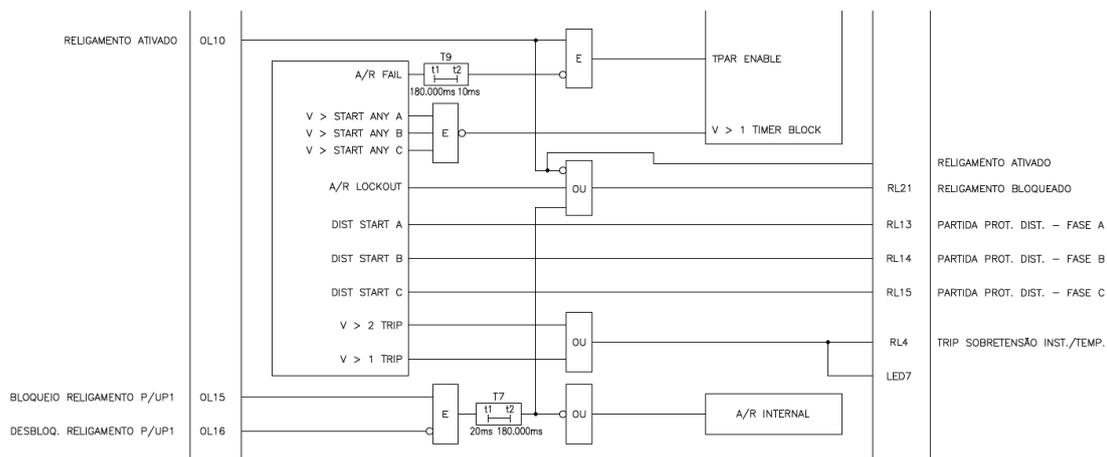


Figura 24. Lógica de desbloqueio do religamento da UP2.

4 CONCLUSÃO

Neste documento foram apresentados os principais esquemas de proteção e teleproteção de linhas de transmissão e seus equivalentes diagramas lógicos usados por relés digitais.

Ficou evidenciado que a utilização de relés digitais minimiza o espaço usado nas cabanas de relés, pois devido ao uso das lógicas internas cada relé executa diversas funções de proteção o que antes era feito por equipamentos distintos. Além disso, tem-se um ganho na facilidade de ajuste dos mesmos, na coordenação, seletividade e velocidade.

A principal contribuição desse trabalho foi o desenvolvimento de uma documentação que trata de um assunto importante e que ainda não tem muitas referências na literatura, podendo este servir para uma introdução ao tema por engenheiros iniciantes.

BIBLIOGRAFIA

ABNT. **NBR 10520 - Informação e documentação - Citações em documentos - Apresentação.** Associação Brasileira de Normas Técnicas. [S.l.]: ABNT. 2002. p. 7.

ABNT. **NBR 6023 - Informação e documentação - Referências - Elaboração.** Associação Brasileira de Normas Técnicas. [S.l.]: ABNT. 2002. p. 24.

ABNT. **NBR 14724 - Informação e documentação — Trabalhos acadêmicos — Apresentação.** Associação Brasileira de Normas Técnicas. [S.l.]: ABNT. 30 dez. 2005. p. 9.

ABNT. **NBR 6034 - Informação e documentação - Índice - Apresentação.** Associação Brasileira de Normas Técnicas. [S.l.]: ABNT. 2005. p. 4.

FILHO, J. M.; MAMEDE, D. R. F. **Proteção de Sistemas Elétricos de Potência.** 1. ed. São Paulo: LTC - grupo GEN, v. 1, 2011.

GONÇALVES, Eduardo Martins. **Metodologias para Validação de Proteções de Linhas de Transmissão.** 2012. 97 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

KINDERMANN, G. **Proteção de Sistemas Elétricos de Potência.** 2. ed. Florianópolis-SC: UFSC - EEL - LABPLAN, v. 1, 2005.

KINDERMANN, G. **Proteção de Sistemas Elétricos de Potência.** 2. ed. Florianópolis - SC: UFSC - EEL - LABPLAN, v. 2, 2005.

ONS – Operador Nacional do Sistema. Procedimentos de Rede, Submódulo 2.6, Requisitos Mínimos para os Sistemas de Proteção e de Telecomunicações. 11/11/2011.

ONS - Operador Nacional do Sistema. Procedimentos de Rede, Submódulo 20.1, Glossário de Termos Técnicos. 05/08/2009.

SATO, F. **Proteção de Sistemas de Energia Elétrica.** Campinas - SP: UNICAMP, 2005. 138 p. Notas de Aula.

SCHNEIDER ELECTRIC, MiCOM P441/P442 & P444: Numerical Distance Protection - Technical Guide P44x/EN T/J96, 2013.

SCHWEITZER. **Tutorial de Diagramas Lógicos de Esquemas de Proteção e Controle.** 2. ed. Campinas - SP: Schweitzer Engineering Laboratories, Brasil LTDA., v. 1, 2013. 237 p.

ANEXO A – TABELA ANSI

A tabela contida neste anexo foi retirada do site da SEL (Schweitzer Engineering Laboratories), em http://www.selinc.com.br/Tabela_ANSI_SEL.pdf

Nr	Denominação
1	Elemento Principal
2	Relé de partida ou fechamento temporizado
3	Relé de verificação ou interbloqueio
4	Contator principal
5	Dispositivo de interrupção
6	Disjuntor de partida
7	Relé de taxa de variação
8	Dispositivo de desligamento da energia de controle
9	Dispositivo de reversão
10	Chave comutadora de seqüência das unidades
11	Dispositivo multifunção
12	Dispositivo de sobrevelocidade
13	Relé de rotação síncrona
14	Dispositivo de subvelocidade
15	Dispositivo de ajuste ou comparação de velocidade e/ou frequência
16	Dispositivo de comunicação de dados
17	Chave de derivação ou de descarga
18	Dispositivo de aceleração ou desaceleração
19	Contator de transição de partida-marcha
20	Válvula operada eletricamente
21	Relé de distância
22	Disjuntor equalizador
23	Dispositivo de controle de temperatura
24	Relé de sobreexcitação ou Voltz por Hertz
25	Relé de verificação de Sincronismo ou Sincronização
26	Dispositivo térmico do equipamento
27	Relé de subtensão
28	Detector de chama
29	Contator de isolamento
30	Relé anunciador
31	Dispositivo de excitação
32	Relé direcional de potência
33	Chave de posicionamento
34	Dispositivo master de seqüência
35	Dispositivo para operação das escovas ou curto-circuitar anéis coletores
36	Dispositivo de polaridade ou polarização
37	Relé de subcorrente ou subpotência
38	Dispositivo de proteção de mancal
39	Monitor de condições mecânicas
40	Relé de perda de excitação ou relé de perda de campo
41	Disjuntor ou chave de campo
42	Disjuntor/chave de operação normal
43	Dispositivo de transferência ou seleção manual

44	Relé de sequência de partida
45	Monitor de condições atmosféricas
46	Relé de reversão ou desbalanceamento de corrente
47	Relé de reversão ou desbalanceamento de tensão
48	Relé de sequência incompleta/ partida longa
49	Relé térmico
50	Relé de sobrecorrente instantâneo
51	Relé de sobrecorrente temporizado
52	Disjuntor de corrente alternada
53	Relé para excitatriz ou gerador CC
54	Dispositivo de acoplamento
55	Relé de fator de potência
56	Relé de aplicação de campo
57	Dispositivo de aterramento ou curto-circuito
58	Relé de falha de retificação
59	Relé de sobretensão
60	Relé de balanço de corrente ou tensão
61	Sensor de densidade
62	Relé temporizador
63	Relé de pressão de gás (Buchholz)
64	Relé detector de terra
65	Regulador
66	Relé de supervisão do número de partidas
67	Relé direcional de sobrecorrente
68	Relé de bloqueio por oscilação de potência
69	Dispositivo de controle permissivo
70	Reostato
71	Dispositivo de detecção de nível
72	Disjuntor de corrente contínua
73	Contator de resistência de carga
74	Relé de alarme
75	Mecanismo de mudança de posição
76	Relé de sobrecorrente CC
77	Dispositivo de telemedição
78	Relé de medição de ângulo de fase/ proteção contra falta de sincronismo
79	Relé de religamento
80	Chave de fluxo
81	Relé de frequência (sub ou sobre)
82	Relé de religamento de carga CC
83	Relé de seleção/ transferência automática
84	Mecanismo de operação
85	Relé receptor de sinal de telecomunicação (teleproteção)
86	Relé auxiliar de bloqueio
87	Relé de proteção diferencial

88	Motor auxiliar ou motor gerador
89	Chave seccionadora
90	Dispositivo de regulação (regulador de tensão)
91	Relé direcional de tensão
92	Relé direcional de tensão e potência
93	Contator de variação de campo
94	Relé de desligamento
95	Usado para aplicações específicas
96	Relé auxiliar de bloqueio de barra
97 à 99	Usado para aplicações específicas
150	Indicador de falta à terra
AFD	Detector de arco voltaico
CLK	Clock
DDR	Sistema dinâmico de armazenamento de perturbações
DFR	Sistema de armazenamento de faltas digital
ENV	Dados do ambiente
HIZ	Detector de faltas com alta impedância
HMI	Interface Homem-Máquina
HST	Histórico
LGC	Esquema lógico
MET	Medição de Subestação
PDC	Concentrador de dados de fasores
PMU	Unidade de medição de fasores
PQM	Esquema de monitoramento de potência
RIO	Dispositivo Remoto de Inputs/Outputs
RTU	Unidade de terminal remoto/Concentrador de Dados
SER	Sistema de armazenamento de eventos
TCM	Esquema de monitoramento de Trip
SOTF	Fechamento sob falta