



Universidade Federal de Campina Grande  
Centro de Engenharia Elétrica e Informática  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

Dissertação de Mestrado

**Análise da Interoperabilidade de Relés via  
Teleproteção**

Rafaella Nascimento Meira

Campina Grande – Paraíba – Brasil

Julho/2018

Rafaella Nascimento Meira

# Análise da Interoperabilidade de Relés via Teleproteção

Dissertação de Mestrado apresentada à Coordenação  
do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da  
Universidade Federal de Campina Grande, em  
cumprimento às exigências para obtenção do  
grau de Mestre em Ciências no domínio  
da Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Processamento de Energia

Núbia Silva Dantas Brito, D.Sc.

Orientadora

Benemar Alencar de Souza, D.Sc.

Orientador

Campina Grande – Paraíba – Brasil

Julho/2018

M514a

Meira, Rafaella Nascimento.

Análise da interoperabilidade de relés via teleproteção / Rafaella Nascimento Meira. – Campina Grande, 2018.

68 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Engenharia Elétrica e Informática, 2018.

"Orientação: Profª. D. Sc. Núbia Silva Dantas Brito, Prof. D. Sc. Benemar Alencar de Souza".

Referências.

1. Relés de Distância.
2. Esquema de Teleproteção - Análise.
3. Interoperabilidade. I. Brito, Núbia Silva Dantas. II. Souza, Benemar Alencar de. III. Título.

CDU 621.318.5(043)

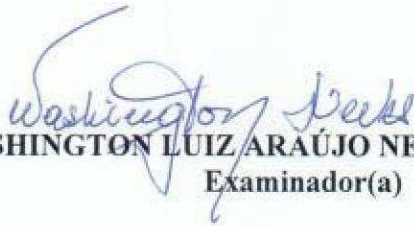
**"ANÁLISE DA INTEROPERABILIDADE DE RELÉS VIA TELEPROTEÇÃO"**

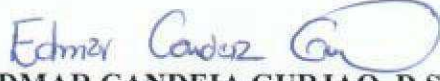
**RAFAELLA NASCIMENTO MEIRA**

**DISSERTAÇÃO APROVADA EM 31/07/2018**

  
**NUBIA SILVA DANTAS BRITO, D.Sc., UFCG**  
Orientador(a)

  
**BENEMAR ALENCAR DE SOUZA, D.Sc., UFCG**  
Orientador(a)

  
**WASHINGTON LUIZ ARAÚJO NEVES, Ph.D., UFCG**  
Examinador(a)

  
**EDMAR CANDEIA GURJAO, D.Sc., UFCG**  
Examinador(a)

**CAMPINA GRANDE - PB**

# Agradecimentos

Agradeço à Deus, pois Dele veio a força e a persistência para a construção desta Dissertação.

À minha mãe, Rosângela, pelo esforço para me proporcionar uma boa educação, pela força e coragem, as quais foram essenciais para superação de todas as adversidades ao longo desta caminhada.

A toda minha família, em especial a minha irmã Lethícia e meus avós Rômulo e Iracy, que com todo carinho e apoio não mediram esforços para eu chegar a esta etapa da minha vida.

Ao meu namorado, Adriano, por toda paciência, apoio e amor.

Aos meus orientadores, Núbia Silva Dantas Brito e Benemar Alencar de Souza, pela paciência, direcionamentos e tempo dedicado as sugestões.

Aos amigos Jamile, Hotoniones, Ramayana, Caio e Rodrigo, do LARCA e LSP, em especial que estavam sempre dispostos a me ajudar e esclarecer problemas.

À Ângela e demais funcionários da COPELE, pela atenção e esclarecimentos ao longo desse período.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro.

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

## Resumo

A análise do tipo de esquema de teleproteção que garante a interoperabilidade de relés de distância, sejam estes iguais ou distintos em relação ao fabricante, modelo ou marca, assim como a extinção de faltas com o menor atraso de tempo possível é investigado neste trabalho. Para este propósito, um *software* dedicado aos estudos de proteção de sistemas elétricos, foi utilizado na modelagem de um sistema-teste de energia elétrica, no qual relés de distância assistidos por esquemas de teleproteção foram alocados nos terminais de uma das linhas de transmissão. Por fim, foi desenvolvida uma metodologia que pode ser aplicada para avaliar a interoperabilidade dos relés de distância, cuja eficácia foi comprovada.

**Palavras-chave:** análise, interoperabilidade, relés de distância, teleproteção.

# **Abstract**

The analysis of the type of teleprotection scheme that ensures the interoperability of distance relays, whether these are equal or distinct in relation to the manufacturer, model or brand, as well as the extinction of faults with the least possible delay of time is investigated in this work. For this purpose, software dedicated to the protection studies of electrical systems, was used in the modeling of a system-testing of electric power, in which distance relays assisted by teleprotection schemes were allocated at the terminals of one of the transmission lines. Finally, a methodology was developed that can be applied to assess the interoperability of distance relays, the efficacy of which has been proven.

**Keywords:** analyze, interoperability, distance relays, teleprotection.

# Lista de Figuras

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 - Relés iguais ou distintos nos terminais da linha de transmissão. ....   | 3  |
| Figura 2 - Diagrama esquemático de um sistema de proteção. ....  | 10 |
| Figura 3 - Diagrama R-X. ....  | 12 |
| Figura 4 - Tipos de características de operação do relé de distância: (a) Impedância; (b) Mho; (c) Lenticular; (d) Retângulo; (e) Blinder; (f) Reatância; (g) Resistência..... | 13 |
| Figura 5 - Característica mho autopolarizada no plano R-X.....   | 14 |
| Figura 6 - Características dos relés de ângulo de impedância, reatância e resistência. ....  | 14 |
| Figura 7 - Característica quadrilateral no plano R-X.....  | 15 |
| Figura 8 - Representação das zonas de proteção de distância. ....  | 16 |
| Figura 9 - Representação da interseção das zonas de atuação dos relés nos terminais de uma LT.....   | 17 |
| Figura 10 - Transferência Direta de Disparo por Subalcance – DUTT. ....  | 18 |
| Figura 11 - Transferência Permissiva de Disparo por Subalcance - PUTT. ....  | 20 |
| Figura 12 - Transferência Permissiva de Disparo por Sobrealcance - POTT. ....  | 21 |
| Figura 13 - Aceleração de Zona.....  | 23 |
| Figura 14 - Comparação Direcional por Bloqueio - DCB. ....   | 25 |
| Figura 15 - Comparação Direcional por Desbloqueio - DCUB. ....   | 28 |
| Figura 16 - Metodologia proposta. ....   | 33 |
| Figura 17 - Sistema-teste.....   | 34 |
| Figura 18 - Sistema-teste modelado no módulo One-Line Diagram. ....  | 35 |
| Figura 19 - Caso Ia – Sem teleproteção: Diagrama R-X da característica quadrilateral na perspectiva do relé SEL 311C instalado na barra B.....                                 | 38 |
| Figura 20 - Caso Ia – Sem teleproteção: Diagrama R-X da característica quadrilateral na perspectiva do relé SEL 311C instalado na barra C.....                                 | 39 |
| Figura 21 - Caso Ia – Sem teleproteção: Diagrama R-X da característica quadrilateral na perspectiva do relé SEL 421C instalado na barra C.....                                 | 40 |
| Figura 22 - Caso Ia – Sem teleproteção: Diagrama R-X da característica quadrilateral na perspectiva do relé REL 670 instalado na barra C.....                                  | 41 |
| Figura 23 - Caso Ia –Perspectiva dos relés SEL 311C instalados nas barras B e C- sem teleproteção: Diagrama unifilar. ....   | 42 |



|  |    |
|--|----|
| Figura 24 - Caso Ia –Perspectiva do relé SEL 311C instalado na barra B e SEL 421 instalado na barra C- sem teleproteção: Diagrama unifilar. .... | 43 |
| Figura 25 - Caso Ia –Perspectiva do relé SEL 311C instalado na barra B e REL 670 instalado na barra C- sem teleproteção: Diagrama unifilar. .... | 44 |
| Figura 26 - Caso Ia – Perspectiva dos relés SEL 311C instalados nas barras B e C - com teleproteção POTT: Diagrama unifilar. ....                | 45 |
| Figura 27 - Caso Ia – Perspectiva do relé SEL 311C instalado na barra B e SEL 421 na barra C - com teleproteção POTT: Diagrama unifilar. ....    | 46 |
| Figura 28 - Caso Ia – Perspectiva do relé SEL 311C instalado na barra B e REL 670 na barra C - com teleproteção POTT: Diagrama unifilar. ....    | 47 |
| Figura 29 - Caso Ia – Perspectiva dos relés SEL 311C instalados nas barras B e C - com teleproteção DCB: Diagrama unifilar.....                  | 48 |
| Figura 30 - Caso Ia – Perspectiva dos relés SEL 311C instalado na barra B e SEL 421 na barra C - com teleproteção DCB: Diagrama unifilar. ....   | 49 |
| Figura 31 - Caso Ia – Perspectiva dos relés SEL 311C instalado na barra B e REL 670 na barra C - com teleproteção DCB: Diagrama unifilar. ....   | 50 |

# Lista de Tabelas

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 - Síntese Bibliográfica. ....   | 9  |
| Tabela 2 - Esquemas de teleproteção baseada em sinalização. ....   | 17 |
| Tabela 3 - Funcionamento do esquema de teleproteção - DUTT.....  | 18 |
| Tabela 4 - Funcionamento do esquema de teleproteção - PUTT.....  | 20 |
| Tabela 5 - Funcionamento do esquema de teleproteção - POTT.....  | 22 |
| Tabela 6 - Funcionamento do esquema de teleproteção de Aceleração de Zona. ....  | 24 |
| Tabela 7 - Funcionamento do esquema de teleproteção - DCB. ....  | 26 |
| Tabela 8 - Funcionamento do esquema de teleproteção DCUB.....  | 29 |
| Tabela 9 - Análise comparativa dos esquemas de teleproteção.....   | 31 |
| Tabela 10 - Parâmetros das LTs. ....   | 34 |
| Tabela 11 - Parâmetros dos equivalentes de Thévenin. ....  | 34 |
| Tabela 12 - Ajustes dos tempos de atraso e de <i>pickup</i> dos esquemas POTT e DCB. ....  | 35 |
| Tabela 13 - Casos de estudo. ....  | 37 |
| Tabela 14 - Informações contidas no relatório da falta. Caso Ia – Sem teleproteção: Diagrama<br>R-X da característica quadrilateral na perspectiva do relé SEL 311C instalado na barra B.<br>..... | 38 |
| Tabela 15 - Informações contidas no relatório da falta. Caso Ia – Sem teleproteção: Diagrama<br>R-X da característica quadrilateral na perspectiva do relé SEL 311C instalado na barra C.<br>..... | 39 |
| Tabela 16 - Informações contidas no relatório da falta. Caso Ia – Sem teleproteção: Diagrama<br>R-X da característica quadrilateral na perspectiva do relé SEL 421C instalado na barra C.<br>..... | 40 |
| Tabela 17 - Informações contidas no relatório da falta. Caso Ia – Sem teleproteção: Diagrama<br>R-X da característica quadrilateral na perspectiva do relé REL 670 instalado na barra C.<br>.....  | 41 |
| Tabela 18 - Informações contidas no relatório da falta. Caso Ia –Perspectiva dos relés SEL<br>311C instalados nas barras B e C- sem teleproteção.....  | 42 |
| Tabela 19 - Informações contidas no relatório da falta. Caso Ia –Perspectiva do relé SEL<br>311C instalado na barra B e SEL 421 instalado na barra C- sem teleproteção. ....                       | 43 |
| Tabela 20 - Informações contidas no relatório da falta. Caso Ia –Perspectiva do relé SEL<br>311C instalado na barra B e REL 670 instalado na barra C- sem teleproteção. ....                       | 44 |

|   |    |
|---|----|
| Tabela 21 - Informações contidas no relatório da falta. Perspectiva dos relés SEL 311C instalados nas barras B e C - com teleproteção POTT. ....                        | 46 |
| Tabela 22 - Informações contidas no relatório da falta. Perspectiva do relé SEL 311C instalado na barra B e SEL 421 na barra C - com teleproteção POTT. ....            | 46 |
| Tabela 23 - Informações contidas no relatório da falta. Caso Ia – Perspectiva do relé SEL 311C instalado na barra B e REL 670 na barra C - com teleproteção POTT. ....  | 47 |
| Tabela 24 - Informações contidas no relatório da falta. Caso Ia – Perspectiva dos relés SEL 311C instalados nas barras B e C - com teleproteção DCB. ....               | 49 |
| Tabela 25 - Informações contidas no relatório da falta. Caso Ia – Perspectiva dos relés SEL 311C instalado na barra B e SEL 421 na barra C - com teleproteção DCB. .... | 50 |
| Tabela 26 - Informações contidas no relatório da falta. Caso Ia – Perspectiva dos relés SEL 311C instalado na barra B e REL 670 na barra C - com teleproteção DCB. .... | 51 |
| Tabela 27 - Análises das faltas localizadas nas linhas LT1 e LT3 do sistema-teste, com relés SEL 311C, SEL421 e REL 670, sem e com teleproteção POTT ou DCB. ....       | 52 |
| Tabela 28 - Funções de proteção dos relés SEL 311C, SEL 421 e REL 670. ....   | 60 |

# Lista de Símbolos, Abreviaturas e Siglas

ABB - *Asea Brown Boveri.*

ANEEL - *Agência Nacional de Energia Elétrica.*

BER - *Bit Error Rate.*

CAPE - *Computer Aided Protection Engineering.*

DCB - *Directional Comparison Blocking.*

DCUB - *Directional Comparison Unblocking.*

DUTT - *Direct Underreach Transfer Tripping.*

ECHO – *Lógica para devolução do sinal de disparo.*

FSK - *Frequency Shift Keying.*

GE – *General Eletric.*

GOOSE - *Generic Object Oriented Substation Event.*

IEC - *International Electrotechnical Comission.*

IED - *Intelligent Electronic Device.*

IEEE - *Institute of Electrical and Electronics Engineers.*

K0 - *Fator de compensação de sequência zero própria da linha de transmissão.*

km - *Quilômetro – Múltiplo da unidade padrão de medida de comprimento: m (metro).*

kV - *Quilovolt – Múltiplo da unidade padrão de medida de tensão elétrica: v (volt).*

LT - *Linha de Transmissão.*

ms - *Milisegundos – Múltiplo da unidade padrão de medida de tempo: s (segundo).*

ohm/km - *Unidade de impedância por quilômetro.*

PLC - *Power Line Communication.*

PMC - *Probability of Missing Command.*

POTT - *Permissive Overreach Transfer Tripping.*

p.u. - *Por unidade.*

PUC - *Probability of Unwanted Commands.*

PUTT - *Permissive Underreach Transfer Tripping.*

RCVR – *Receiver.*

RO – *Overreaching.*

RTC – *Relação de transformação do transformador de corrente.*

RTDS - *Real Time Digital Simulator.*

RTP - *Relação de transformação do transformador de potencial.*

SEL - *Schweitzer Engineering Laboratories.*

SEP – Sistema Elétrico de Potência.

SFE - Superintendência de Fiscalização dos Serviços de Eletricidade.

TC - Transformador de Corrente.

TL1 – Tempo de coordenação.

TP - Transformador de Potencial.

TRIP – Sinalização de disparo.

UR – *Underreaching*.

XMTR – *Transmitter*.

WAN - *Wide Area Network*.

$\Omega$  –ohm, unidade de medida da resistência elétrica.

# Sumário

|   |    |
|---|----|
| CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....  | 1  |
| 1.1 MOTIVAÇÃO.....  | 2  |
| 1.2 OBJETIVOS .....   | 2  |
| 1.3 CONTRIBUIÇÕES .....   | 2  |
| 1.4 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO .....  | 3  |
| CAPÍTULO 2 - REVISÃO DA LITERATURA.....   | 4  |
| 2.1 LEVANTAMENTO HISTÓRICO.....   | 4  |
| 2.2 TRABALHOS MAIS RELEVANTES.....  | 6  |
| 2.3 SÍNTESE BIBLIOGRÁFICA .....   | 8  |
| CAPÍTULO 3 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....   | 10 |
| 3.1 O SISTEMA DE PROTEÇÃO.....  | 10 |
| 3.2 RELÉS DE DISTÂNCIA .....  | 11 |
| 3.2.1. <i>Características mho e quadrilateral</i> .....                         | 13 |
| 3.2.2. <i>Zonas de proteção</i> .....   | 15 |
| 3.3 ESQUEMAS DE TELEPROTEÇÃO .....  | 16 |
| 3.3.1. <i>Transferência Direta de Disparo por Subalcance (DUTT)</i> .....       | 18 |
| 3.3.2. <i>Transferência Permissiva de Disparo por Subalcance (PUTT)</i> .....   | 19 |
| 3.3.3. <i>Transferência Permissiva de Disparo por Sobrealcance (POTT)</i> ..... | 21 |
| 3.3.4. <i>Aceleração de Zona</i> .....  | 23 |
| 3.3.5. <i>Comparação Direcional por Bloqueio (DCB)</i> .....                    | 25 |
| 3.3.6. <i>Comparação Direcional por Desbloqueio (DCUB)</i> .....                | 28 |
| 3.4 DESEMPENHO DOS ESQUEMAS DE TELEPROTEÇÃO .....                               | 30 |
| CAPÍTULO 4 - METODOLOGIA PROPOSTA .....   | 33 |
| CAPÍTULO 5 – EXPOSIÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....                           | 37 |
| 5.1 CASO IA – SEM TELEPROTEÇÃO.....   | 38 |
| 5.1.1 <i>Módulo Coordination Graphics:</i> .....                                | 38 |
| 5.1.2 <i>Módulo System Simulator:</i> .....                                     | 42 |
| 5.2 CASO IA - COM TELEPROTEÇÃO POTT .....                                       | 45 |
| 5.2.1 <i>Módulo System Simulator:</i> .....                                     | 45 |

|  |  |    |
|--|--|----|
| 5.3  | CASO IA - COM TELEPROTEÇÃO DCB .....   | 48 |
| 5.3.1  | <i>Módulo System Simulator:</i> .....  | 48 |
| 5.4  | ANÁLISE GERAL DOS CASOS – SEM TELEPROTEÇÃO, COM TELEPROTEÇÃO POTT<br>OU DCB  | 52 |
| 5.4.1  | <i>Faltas localizadas na LT adjacente (LT1)</i> .....  | 57 |
| 5.4.2  | <i>Faltas localizadas na LT protegida (LT3): Fora da área de intercessão<br/>das primeiras zonas dos relés localizados nas barras B e C.</i> ..... | 58 |
| 5.4.3  | <i>Faltas localizadas na LT protegida (LT3): Dentro da área de intercessão<br/>das primeiras zonas das barras B e C.</i> .....                     | 59 |
| 5.5  | CONSIDERAÇÕES GERAIS .....   | 59 |
| CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES E PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS ..... |  | 63 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....                                  |  | 65 |
| APÊNDICE - AJUSTES DOS RELÉS.....                                |  | 68 |

# Capítulo 1 - Introdução

A demanda crescente por energia elétrica junto da exigência progressiva do consumidor por um produto de qualidade, tem exigido das empresas de energia elétrica aperfeiçoamento constante das suas instalações e equipamentos. Neste sentido, o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS)<sup>1</sup> encaminha anualmente à Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o Plano de Modernização de Instalações (PMI), composto por revitalizações necessárias para manter a prestação adequada de serviço de energia elétrica das empresas de transmissão (ANEEL, 2017). Dentre os processos adotados no PMI, destaca-se a substituição dos relés eletromecânicos por relés digitais, usualmente conhecidos como dispositivos eletrônicos inteligentes ou IED (*Intelligent Electronic Device*).

Atualmente, a grande maioria das linhas de transmissão (LT) de alta tensão no Brasil, são protegidas por relés digitais de distância, que apesar das suas reconhecidas qualidades, como ter atuação praticamente instantânea para a primeira zona, possuem uma limitação: seu alcance não consegue cobrir toda a LT a ser protegida. Graças aos avanços dos sistemas de comunicação, essa limitação pode ser superada, fazendo uso de *links* de comunicação de altas taxas e confiáveis entre os relés instalados em cada terminal da LT a ser protegida.

O canal de comunicação que se estabelece entre os relés, permite que os esquemas de *trip* sejam interconectados através da troca de informações de estados lógicos dos relés, o que resulta em redução considerável do tempo de extinção de faltas (GERS & HOLMES, 2004). Esse procedimento de trocas de informações entre os relés é denominado de teleproteção. As diretrizes para os sistemas de proteção e de telecomunicações no Brasil são estabelecidas nos Procedimentos de Rede do ONS, em particular no Submódulo 2.6 (ONS, 2017).

Os esquemas de proteção das LT adotados no Brasil são fiscalizados de acordo com o Manual de Fiscalização da Transmissão elaborado pela Superintendência de Fiscalização dos

---

<sup>1</sup> Todas as empresas que compõem o Sistema Interligado Nacional (SIN) são fiscalizadas pelo ONS e pela ANEEL, que são os órgãos responsáveis pelo controle, regulação e fiscalização das operações relacionadas à geração, transmissão e comercialização de energia elétrica no Brasil.



Serviços de Eletricidade (SFE)<sup>2</sup>, no qual é estabelecido que os conjuntos de equipamentos instalados em todos os terminais das LT, devem ser **idênticos** (mesmo fabricante, marca e modelo), não sendo admissível à utilização de equipamentos distintos (ANEEL, 2017). Essa exigência visa garantir a total interoperabilidade entre IEDs remotos, porém restringe severamente a gerência do sistema, impedindo as concessionárias de diversificar o estoque de relés para substituições em manutenções, por exemplo. Neste sentido, a investigação da interoperabilidade de relés não idênticos constitui-se em tema atual e importante.

## 1.1 Motivação

A motivação desta pesquisa é estudar a interoperabilidade de relés via esquemas de teleproteção, em particular, utilizando relés não idênticos nos terminais da linha de transmissão, haja vista isto ainda não ser fato.

## 1.2 Objetivos

Este trabalho teve como objetivo geral, analisar a interoperabilidade de relés de distância via esquemas de teleproteção e como objetivos específicos:

1. Avaliar o estado da arte em relação ao tema: interoperabilidade e teleproteção;
2. Entender os aspectos relevantes dos esquemas de teleproteção, em particular, os esquemas POTT (*Permissive Overreach Transfer Tripping*) e DCB (*Directional Comparison Blocking*).

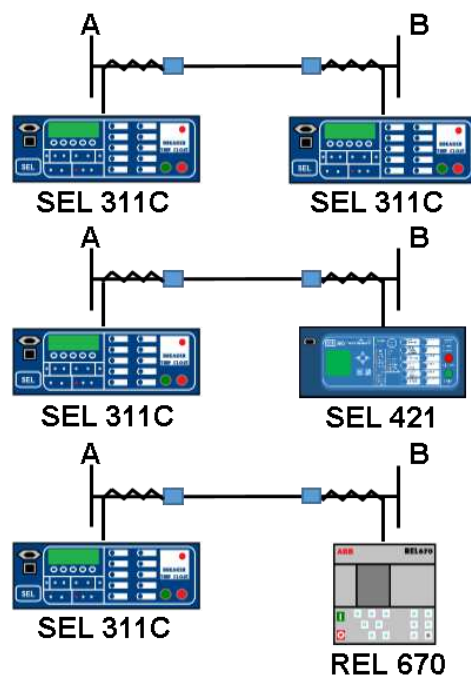
## 1.3 Contribuições

A contribuição principal do trabalho é a investigação do processo de utilização de relés de distância, idênticos ou não (Figura 1), nos terminais da linha de transmissão, buscando alcançar a interoperabilidade via esquemas de teleproteção.

---

<sup>2</sup> A (SFE) é o órgão responsável pela fiscalização das empresas de distribuição e transmissão de energia quanto ao cumprimento dos contratos de concessão, dos regulamentos técnicos e comerciais estabelecidos pela ANEEL e pela legislação setorial (ANEEL, 2017).

Figura 1 - Relés iguais ou distintos nos terminais da linha de transmissão.



Fonte: Autoria própria.

## 1.4 Organização do texto

O texto foi organizado em sete capítulos, além deste capítulo introdutório, conforme a seguir:

- Capítulo 2: Revisão bibliográfica dos trabalhos considerados mais relevantes ao tema teleproteção;
- Capítulo 3: Fundamentação teórica requerida para o desenvolvimento da pesquisa;
- Capítulo 4: Apresentação da metodologia proposta;
- Capítulo 5: Exposição e análise dos resultados obtidos;
- Capítulo 6: Conclusões;
- Capítulo 7: Apêndice.

# Capítulo 2 - Revisão da literatura

Apresenta-se a seguir um compêndio do estado da arte relacionado ao tema, seguido de uma análise crítica dos trabalhos considerados mais relevantes para esta dissertação de mestrado.

## 2.1 Levantamentos histórico

No início de 1920, o Comitê de Dispositivos de Proteção (*Protective Devices Committee*) enviou um pedido para uma série de empresas, solicitando informações sobre os esquemas de proteção de relés das LT que estavam sendo ou tinham sido testados e foram aprovados ou abandonados. O levantamento realizado naquela época forneceu informações importantes sobre os sistemas em uso, além de expor as tendências na arte dos relés de proteção (HESTER, 1922).

FITZGERALD (1927) é considerado um dos pioneiros em teleproteção. O autor afirma que a escolha do esquema de teleproteção depende de vários fatores, dentre os quais, um dos mais importantes é o tamanho do sistema que se deseja proteger. No trabalho, a proteção de LT longas é feita fazendo uso do esquema de onda portadora (*carrier*) de corrente, no qual são apresentados os requisitos e os princípios gerais desse esquema.

Com o passar do tempo, vários autores abordaram novos meios de comunicação e esquemas de teleproteção. NEHER (1933) apresentou fundamentos de um método de proteção de LT baseado na comparação da direção relativa do fluxo de corrente nos terminais da LT por meio de um sistema de comunicação. GEORGE (1935) mostrou que o uso de canais de comunicação adequados para os sistemas com fio piloto<sup>3</sup> ou *Power Line Communication* (PLC) era crucial para a confiabilidade do sistema de proteção, além de resultar em custos menores.

Três décadas depois, LENSNER (1960) mostrou que cada sistema de proteção com fio piloto tem seu campo de aplicação, o qual é influenciado por fatores técnicos e econômicos.

---

<sup>3</sup> O termo “piloto” significa que existe um canal dedicado de comunicação entre os extremos da LT onde se trocam informações de referência.

Nos casos de LT transpostas ou com múltiplos terminais, combinações dos vários sistemas são requeridas.

Mais adiante, observou-se que o desempenho da proteção com fio piloto requer um entendimento maior do funcionamento do esquema. BURZESE (1990) analisou o desempenho de esquemas com fio piloto em condição de falta a partir da aplicação de gravadores de falha e gravadores de sequência de eventos. Logo após, o *Power Engineering Journal* publicou uma série de três tutoriais que descrevem o papel das comunicações digitais e das fibras ópticas na proteção do sistema elétrico. Em um dos tutoriais, AGGARWAL (1994) listou os tipos de sistemas de teleproteção e os diferentes meios de comunicação que podem ser empregados. Ao final, ele afirma que a escolha do sistema de teleproteção depende de vários fatores, tais como: requisitos técnicos, considerações geográficas, economia, etc.

Com o passar dos anos, vários esquemas têm sido propostos, cujas principais características foram analisadas em SCHWEITZER III (1998), tais como: probabilidade de erros de operação, cobertura da resistência de falha, tempos de operação e complexidade dos esquemas de proteção mais populares.

Em 2001, SCHWEITZER III mostrou que as comunicações digitais diretas fornecem vários *bits* em cada direção, e esses bits extras levam a esquemas mais simples e flexíveis. Por fim, conclui que o monitoramento do desempenho do canal, incluindo a sequência de eventos, a duração da interrupção e a indisponibilidade, fornece as medidas de desempenho necessárias para manter e melhorar as comunicações, sem testes periódicos.

Com os avanços tecnológicos, os canais de comunicação do tipo fio piloto vêm sendo substituídos gradativamente, transmissão digital. Neste novo cenário, destaca-se o trabalho de WARD (2004), no qual discutiram-se os requisitos para o canal de comunicação para projetos pilotos, transferência de disparo e proteção diferencial de corrente, assimetria de canais, canal de comutação em redes T1 e SONET e o efeito sobre o desempenho da proteção piloto. Ainda nesse mesmo ano, SANDERS (2004) mostrou que além de proporcionar compensação simultânea de alta velocidade para todas as falhas dentro de uma seção de LT, incluindo falhas no final da zona, o sistema PLC pode ser usado para proporcionar funções de disparo remoto para proteção de transformador, para proteção do reator *shunt* e disjuntor remoto de falha do sistema. Em 2008, APOSTOLOV deu início a discussão sobre testes em esquemas de teleproteção aplicando o padrão IEC (*International Electrotechnical Commission*) 61850.

Devido ao fato da confiabilidade e a segurança dos esquemas de teleproteção dependerem fortemente da rede de telecomunicação, a *TNB Research Sdn Bhd*<sup>4</sup> construiu um laboratório de simulação de teleproteção, que teve como objetivos: i) avaliar vários projetos diferentes teleproteção, configurações e interfaces para um melhor desempenho; ii) adquirir mais conhecimento e entendimento sobre o comportamento da proteção de esquemas de corrente diferencial; iii) auxiliar no processo de solução de problemas para futuros incidentes; iv) avaliar o uso de uma rede Ethernet sobre SDH como a tecnologia de rede WAN (*Wide Area Network*) para o futuro padrão IEC 61850-90 (YUSOF, 2012).

Ao longo desta revisão, constatou-se que, à medida que as técnicas de comunicação utilizadas nos esquemas de teleproteção vão sendo melhorados, análises comparativas entre eles tornam-se imprescindíveis. Neste sentido, CHAURAN (2014) realizou um estudo comparativo de vários esquemas de comunicação baseados na proteção de relés, tais como canais de fios piloto, *Power Line Carrier Communication* (PLCC) e microondas. Ao final, o autor concluiu que não existem regras rígidas para a escolha do método de comunicação.

Por fim, observou-se que os equipamentos e serviços disponíveis atualmente, têm evoluído, fazendo uso de normas de comunicação modernas e adaptadas ao desempenho e requisitos dos sistemas de proteção piloto de alta velocidade. Um dos desafios atuais é a integração dos sistemas de telecomunicações e de informações. Neste contexto, ACHANTA (2016) descreveu os requisitos de desempenho de comunicação para várias aplicações de proteção e controle, incluindo o tempo de canal, condições de assimetria de canais e *jitter* (variação estatística do atraso na entrega de dados em uma rede). Discutiu também as vantagens e desvantagens das comunicações, incluindo PLC, microondas, fibras óticas, redes óticas síncronas e rádios de espectro espalhado.

Ao final deste breve levantamento histórico, pôde-se concluir que teleproteção constitui um tema multidisciplinar, visto que envolve conceitos de telecomunicações e proteção. Como consequência, ela está sujeita ao avanço tecnológico dessas áreas.

## **2.2 Trabalhos mais relevantes**

Desta revisão bibliográfica, destacam-se alguns trabalhos como mais relevantes para esta dissertação de mestrado, os quais são analisados a seguir.

---

<sup>4</sup> Empresa do setor elétrico da Malásia subsidiária da TNB.

GUERRERO (2012) propôs o uso do RTDS (*Real Time Digital Simulator*) para avaliar dois sistemas para esquemas de teleproteção DCB (*Directional Comparison Blocking*), usando técnicas diferentes de operação. O primeiro sistema utiliza nas interfaces do esquema de teleproteção, entradas e saídas binárias típicas dos dispositivos envolvidos. O segundo sistema usa as mesmas interfaces através da configuração de mensagens GOOSE (*Generic Object Oriented Substation Event*), aplicando os aspectos relevantes do padrão IEC 61850. Ambos os sistemas são avaliados com aplicação de faltas em tempo real, via simulações no *software* do RTDS e com relés SEL/421. A comparação dos resultados obtidos nos testes aplicando interface convencional e GOOSE mostra o impacto do padrão IEC 61850 nos esquemas de teleproteção. Segundo o autor, os resultados demonstraram a atuação correta do esquema de teleproteção DCB, tanto com interface convencional, quanto com interface GOOSE. Percebe-se um grande avanço, visto que o trabalho inclui a simulação em tempo real e avalia o impacto da utilização do padrão IEC 61850, utilizando mensagens GOOSE. Porém, não há uma explicação explícita para escolha do esquema de teleproteção DCB, tornando o método de avaliação limitado.

BARTOSIEWICZ (2013) apresentou sucintamente os esquemas de teleproteção usuais e comentou sobre outros esquemas especiais que utilizam funções avançadas, como por exemplo a função ECHO (lógica para devolução do sinal de disparo). Em seguida, realizou três testes de esquemas de teleproteção e descreveu os métodos utilizados. No primeiro teste, as funções de coordenação da proteção foram avaliadas sinteticamente para os dispositivos da série UR da GE Multilin. No segundo teste, os diversos tipos de esquemas de teleproteção foram avaliados durante a coordenação real entre os dispositivos D60 e D90Plus. Por fim, no último teste o esquema POTT foi aplicado para comparar a coordenação entre duas proteções L90 através do uso de diferentes tipos de comunicação. Segundo o autor, os resultados dos testes de coordenação realizados, tanto sintéticos quanto reais, demonstraram a capacidade dos dispositivos da série UR da GE de proteger a LT. O autor se preocupa com a avaliação de diversos esquemas de teleproteção e também com a utilização de relés de modelos distintos de mesmo fabricante, buscando mostrar a vantagem do uso de esquemas de teleproteção. Além disso, propõe que a coordenação dos relés de proteção de distância pode ser realizada utilizando a transmissão de quadros GOOSE ou GSSE (*Generic Substation Status Event*) através de redes WAN. Dessa forma, percebe-se não só uma avaliação dos esquemas de teleproteção, mas também uma visão mais ampla, que inclui os canais de comunicação.

TUCKER (2014) avaliou o uso de modelos, fabricantes e épocas de fabricação diferentes de relés baseados em microprocessadores em um esquema de teleproteção. O autor

estudou três casos reais e avaliou o uso de relés dos fabricantes GE e SEL. No primeiro caso, os terminais da LT estão sob o domínio da mesma empresa de transmissão de energia elétrica e foram utilizados relés de diferentes fabricantes em esquemas DCB primário e POTT alternativo. No segundo caso, os terminais pertencem a diferentes empresas, com relés iguais no esquema DCB primário e relés diferentes no esquema de teleproteção alternativo POTT. No terceiro caso, os terminais pertencem a empresas diferentes, com relés iguais no esquema DCB alternativo e relés diferentes no esquema de teleproteção primário POTT. Segundo o autor, foram observadas dificuldades de coordenação. Um diferencial do trabalho foi a utilização de relés distintos. Apesar de o estudo ter sido realizado fora do Brasil, percebe-se que há a possibilidade de utilização de relés diferentes nos terminais da linha de proteção, apesar das dificuldades de coordenação, que tornam-se ainda mais evidentes com a utilização de relés de fabricantes distintos.

SAYGIN (2015) apresentou um resumo dos esquemas de proteção de distância auxiliados por teleproteção, discutindo os requisitos de comunicação e aplicações. O autor afirma que a tecnologia digital possibilitou melhora substancial do desempenho dos relés de distância, possibilitando o acesso em poucos milissegundos a dados sobre suas decisões, medições, entradas locais ou remotas. Adicionalmente, o autor apresentou exemplos de projetos personalizados de teleproteção, no qual foram utilizados dois sistemas de proteção principais com relés GE. Dessa forma, percebe-se que o autor identificou a necessidade de criar um novo esquema de teleproteção, o que demonstra que os esquemas tradicionais podem evoluir e se adequar de acordo com o sistema elétrico que se deseja proteger.

## **2.3 Síntese bibliográfica**

Uma síntese dos trabalhos mais relevantes mostrou que:

- O objetivo principal da modificação do esquema de distância, via teleproteção, é aumentar a velocidade do processo de extinção da falta.
- Os melhoramentos das técnicas de comunicação utilizadas nos esquemas de teleproteção, tornam análises comparativas entre eles imprescindíveis;
- O uso de relés de fabricantes distintos no emprego da teleproteção ainda está em fase incipiente.

Ao final, a revisão bibliográfica apontou uma oportunidade de utilizar relés de fabricantes distintos nos terminais da linha de transmissão. Além da possibilidade de fazer uma

comparação entre esquemas de teleproteção permissivos e de comparação direcional, buscando identificar qual possibilita um menor tempo de operação e garante a interoperabilidade. Dessa forma, foi desenvolvido o método proposto nesta dissertação.

Aspectos como o tipo de teleproteção, relés utilizados e tipo de teste, identificados nos trabalhos mais relevantes, com adição do método proposto, são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1 - Síntese Bibliográfica.**

| Referência             | Tipo de Teleproteção |                  |                  |             |                  | Tipo de Relé |    |          | Tipo de Teste |          |
|------------------------|----------------------|------------------|------------------|-------------|------------------|--------------|----|----------|---------------|----------|
|                        | D<br>U<br>T<br>T     | P<br>U<br>T<br>T | P<br>O<br>T<br>T | D<br>C<br>B | D<br>C<br>U<br>B | SEL          | GE | ABB      | Veloc.        | Interop. |
| Guerrero (2012)        |                      |                  |                  | x           |                  | x            |    |          | x             | X        |
| Bartosiewicz (2013)    | x                    | x                | X                | x           | x                |              | x  |          | x             |          |
| Tucker (2014)          |                      |                  | X                | x           |                  | x            | x  |          |               | X        |
| Saygin (2015)          |                      |                  |                  | x           |                  |              | x  |          | x             |          |
| <b>Método Proposto</b> |                      |                  | <b>X</b>         | <b>x</b>    |                  | <b>x</b>     |    | <b>x</b> | <b>x</b>      | <b>X</b> |

Fonte: Autoria própria.

Notas:

DUTT - Transferência direta de disparo por subalcance;

PUTT - Transferência permissiva de disparo por subalcance;

POTT - Transferência permissiva de disparo por sobrealcance;

DCB - Comparação direcional por bloqueio;

DCUB - Comparação direcional por desbloqueio;

Veloc. - Velocidade;

Interop. - Interoperabilidade.

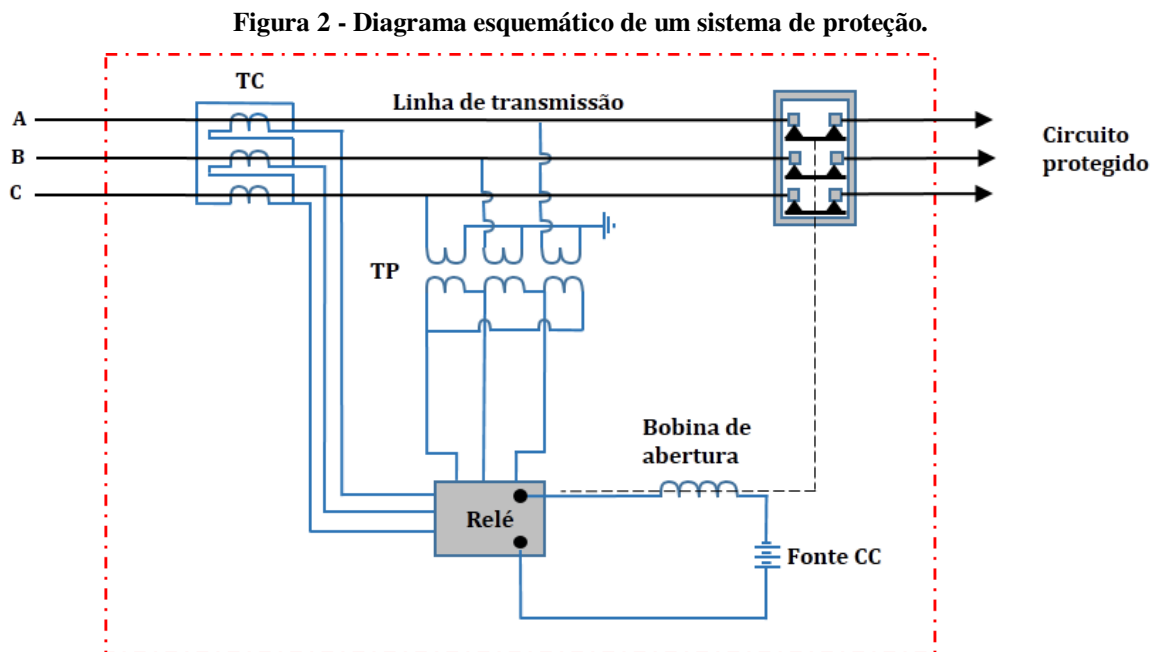


# Capítulo 3 – Fundamentação teórica

Apresenta-se a seguir, um resumo dos temas mais importantes para o desenvolvimento do trabalho de dissertação.

## 3.1 O sistema de proteção

Um sistema de proteção é definido como sendo o conjunto de equipamentos e acessórios destinados a realizar a proteção para condições de operação anormais em componentes do Sistema Elétrico de Potência (SEP) (ONS, 2017). Seu objetivo é assegurar a continuidade do fornecimento de energia elétrica aos usuários, bem como salvaguardar as pessoas e as instalações do SEP, atuando de forma rápida e precisa. Um diagrama de um sistema de proteção típico é apresentado na Figura 2.



Fonte: Autoria própria.

Seu princípio de funcionamento pode ser descrito da seguinte forma: os transdutores (TP e TC)<sup>5</sup> reduzem as amplitudes das grandezas envolvidas (tensão e corrente, respectivamente) para níveis aceitáveis de leitura e acesso seguro. Em seguida, essas informações são disponibilizadas ao relé (elemento lógico do sistema de proteção), que se encarrega de processá-las. Caso os valores das grandezas excedam valores pré-definidos, os contatos do relé são fechados. Neste instante, a bobina de abertura do disjuntor é energizada, o que resulta na abertura dos contatos principais do disjuntor e isolamento do componente ou circuito sob falta (SÁ *et al.*, 2010).

Um sistema de proteção bem projetado deve atender aos seguintes requisitos básicos (GUERRA, 2011):

- **Confiabilidade:** o sistema de proteção sempre deve atuar em caso de defeito, e apenas neste caso;
- **Sensibilidade:** a faixa de incerteza entre as condições de operação e de não operação deve ser a menor possível;
- **Velocidade:** o sistema de proteção deve atuar da forma mais rápida possível, de modo a evitar danos aos componentes da rede elétrica (efeitos térmicos e eletrodinâmicos) ou perda de estabilidade do sistema;
- **Seletividade:** o defeito deve ser eliminado desligando-se a menor parte possível da rede, de modo a ser mantido o máximo índice de continuidade de serviço;
- **Economia:** o custo do sistema de proteção deve ser compatível com o custo do equipamento protegido e com a importância deste último em relação ao funcionamento do resto do sistema.

## 3.2 Relés de distância

Os relés experimentaram uma evolução notável desde que a tecnologia digital foi adotada em sua fabricação, tendo-se transformado em dispositivos eletrônicos inteligentes ou IED (*Intelligent Electronic Device*). Além de agregarem maiores recursos às tarefas de proteção de equipamentos, barras e LT, os IED são capazes de participar de diversas funções de supervisão, controle e automação (PEREIRA *et al.*, 2007). Dentre as funções que podem ser inseridas em um IED, destaca-se nesta dissertação, a função de distância.

---

<sup>5</sup> Acrônimos de transformador de potencial e transformador de corrente, os quais são também conhecidos como “transformadores para instrumentos”.

O relé de distância aplica o algoritmo da função proteção de distância, a qual baseia-se no princípio da medição da impedância, admitância ou reatância de sequência positiva da LT entre o ponto onde o relé está instalado e o ponto de ocorrência da falta, tomando como base as grandezas medidas pelos transformadores para instrumentos (MASON, 1956). A denominação “relé de distância” refere-se à proporcionalidade entre o valor da impedância medida pelo relé e a distância em relação ao ponto de medição. Essa relação é mostrada, matematicamente pelas equações 3.1 e 3.2:

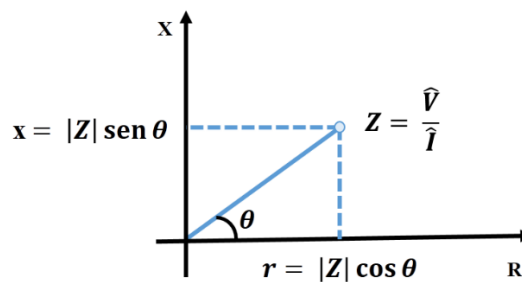
$$Z_r = \frac{V_{sec}}{I_{sec}} \quad (3.1)$$

$$Z_r = pZ_{L1sec} = pZ_{L1} \frac{RTC}{RTP} \quad (3.2)$$

sendo:  $Z_r$  a impedância medida pelo relé;  $V_{sec}$  a tensão fornecida pelo secundário do TP;  $I_{sec}$  a corrente fornecida pelo secundário do TC;  $p$  um percentual variável do comprimento total da LT a depender da localização da falta;  $Z_{L1sec}$  a impedância de sequência positiva da LT referida ao secundário;  $Z_{L1}$  a impedância de sequência positiva da LT;  $RTC$  a relação do TC;  $RTP$  a relação do TP.

As características de um relé de distância são apresentadas usualmente em um diagrama (ou plano complexo) R-X (Figura 3), cujo eixo das abscissas representa a resistência  $R$  e o eixo das ordenadas, a reatância  $X$ .

Figura 3 - Diagrama R-X.

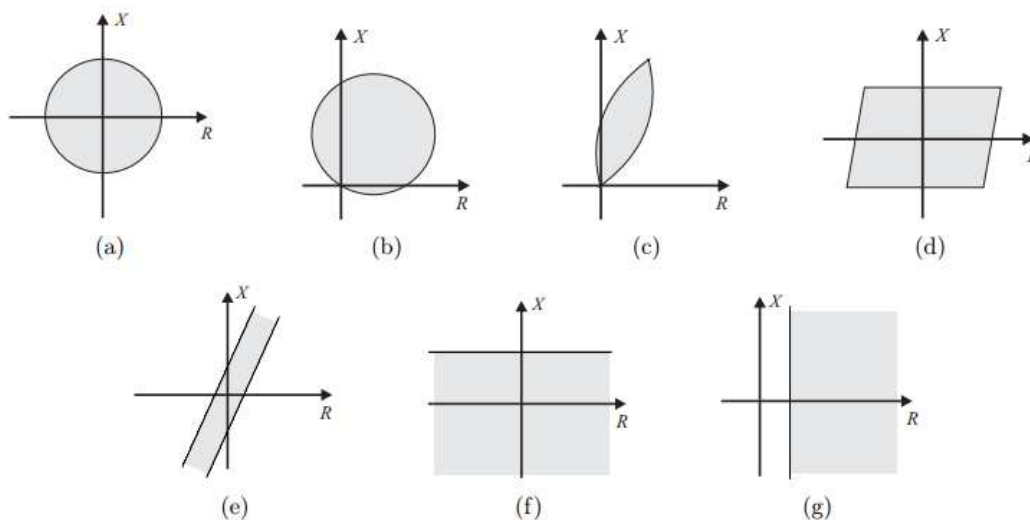


Fonte: Autoria própria.

A região de falta nesse plano é denominada de “zona de proteção”, a qual é determinada pelo relé a partir do valor da impedância aparente, de acordo com a característica de operação adotada. Usualmente, a impedância estimada é a de sequência positiva, visto que ela é constante em relação à distância, é comum a todos os tipos de falta e não depende da resistividade do solo. O relé deve operar caso a impedância aparente esteja dentro da sua característica de

operação, que consiste em uma figura geométrica no plano R-X. Na prática, diversas figuras geométricas podem ser utilizadas, tais como: círculos, retângulos, elipses, ou a combinação delas (Figura 4). A escolha da característica depende do sistema a ser protegido e das características disponíveis nos relés (SILVA, 2009).

**Figura 4 - Tipos de características de operação do relé de distância: (a) Impedância; (b) Mho; (c) Lenticular; (d) Retângulo; (e) Blinder; (f) Reatância; (g) Resistência.**



Fonte: SILVA (2009).

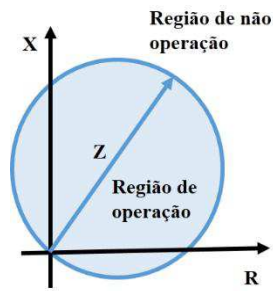
Nesta pesquisa, optou-se pelo uso das características mho e quadrilateral, as quais são abordadas a seguir.

### 3.2.1. Características mho e quadrilateral

A característica mho possui alcance finito, direcionalidade, boa acomodação da resistência de falta e menor sensibilidade às oscilações de potência (ZIEGLER, 2006). Ela pode ser de dois tipos:

- Mho autopolarizada: representada por uma circunferência que passa pela origem do diagrama R-X, cuja região de operação é delimitada pela sua área de cobertura (Figura 5). A principal deficiência dessa característica é observada quando há uma falta imediatamente à frente do relé, a tensão medida pelo TP entre esse ponto de falta e o ponto de localização do próprio TP deve ser muito próxima de zero e essa medição deve corresponder ao ponto de origem do diagrama R-X, porém, caso haja possíveis erros nessas medições, o valor da impedância vista pelo relé pode cair fora da região de operação e, dessa maneira, o relé não atua por não perceber a presença do curto (GONÇALVES, 2007).

**Figura 5 - Característica mho autopolarizada no plano R-X.**



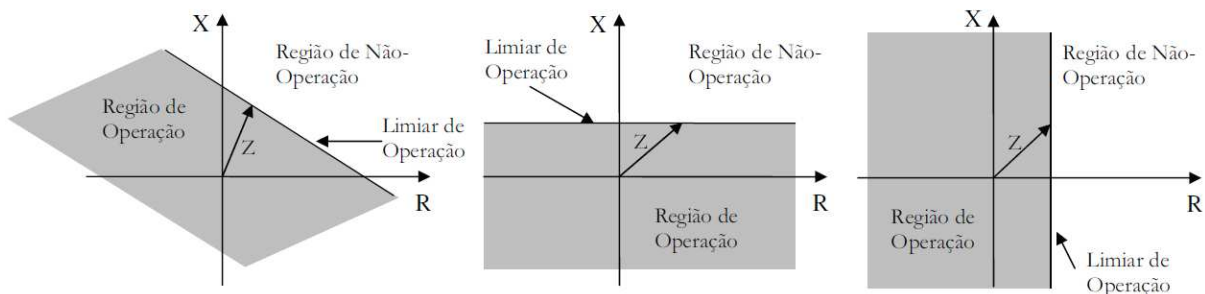
Fonte: Autoria própria.

- Mho polarizada: contorna a deficiência do tipo autopolarizada. Neste caso, a tensão de polarização do relé é calculada como sendo a tensão de entrada do relé adicionada de uma parcela de suplementação, que depende do tipo de polarização utilizada. Para isso, empregam-se os chamados “comparadores”, que podem ser de fase ou módulo: a partir da comparação dos módulos ou da defasagem entre dois sinais, distingue-se uma situação de operação normal de uma situação de falta.

Outra característica muito utilizada é a quadrilateral, composta pela composição de outras características (Figura 6). Ela envolve uma combinação de quatro unidades de medição, conforme mostrado na Figura 7. Estas unidades consistem de uma unidade de reatância, duas unidades resistivas e um elemento direcional.

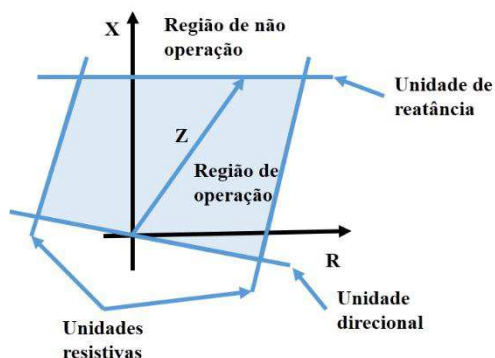
Com a característica quadrilateral, a área de disparo pode ser modificada para incluir uma área desejada, o que é especialmente útil para as faltas envolvendo a terra (BLACKBURN, 2006).

**Figura 6 - Características dos relés de ângulo de impedância, reatância e resistência.**



Fonte: GONÇALVES (2007).

Figura 7 - Característica quadrilateral no plano R-X.



Fonte: Autoria própria.

### 3.2.2. Zonas de proteção

As zonas de proteção do relé de distância são as áreas delimitadas pelos valores de alcance e temporização. Normalmente, são utilizadas três zonas de proteção, mas, dependendo da aplicação, zonas adicionais podem ser incluídas.

A impedância de alcance da 1ª zona de proteção (zona primária) corresponde a uma porcentagem de 80 a 85% da impedância total da LT a ser protegida. Uma margem de segurança de 15 a 20% é necessária devido às imprecisões provocadas por diversas fontes de erro, como por exemplo, as provenientes dos TC e TP, que podem tornar o relé sobrealçado, provocando sua operação para faltas fora de sua zona de proteção (AREVA T&D, 2002).

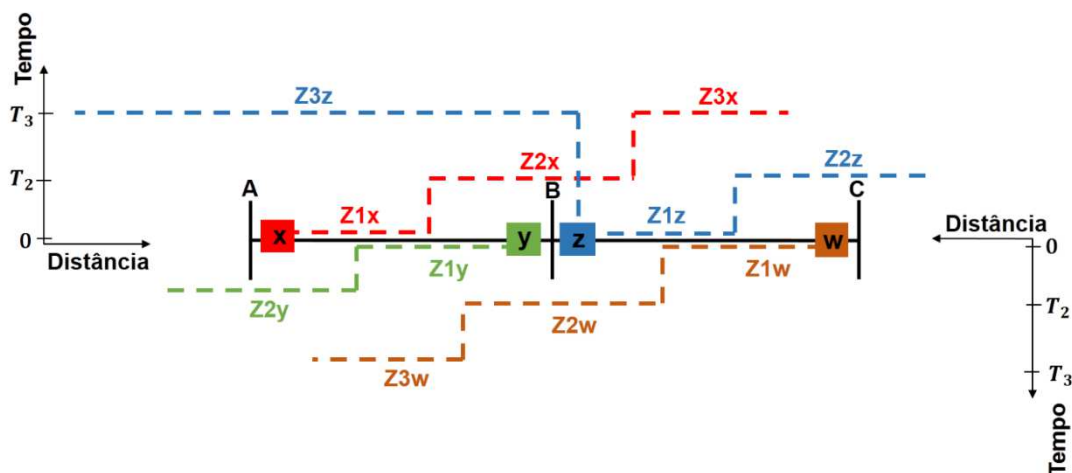
Normalmente, o alcance estabelecido para zonas secundárias é de pelo menos 120% da LT a ser protegida, sendo que 20% ou mais da LT adjacente não podem ultrapassar o alcance de 1ª zona da LT vizinha, de modo a se assegurar a coordenação entre os relés e evitar atuação indevida. No caso da proteção de distância, a temporização que garante essa coordenação deve ser de no mínimo 250 ms acima do tempo de abertura do disjuntor da LT adjacente, (ANDERSON, 1999). Portanto, o tempo de atuação em 2ª zona é geralmente, da ordem de 300 ms a 500 ms e deve englobar o tempo de atuação em 1ª zona da LT mais lenta dentre as LT adjacentes, adicionados os tempos de abertura do seu disjuntor e de falha do disjuntor do barramento adjacente, além de uma margem de segurança (GONÇALVES, 2007).

As zonas terciárias fornecem proteção de retaguarda remota para faltas que ocorram em LT adjacentes. Sua principal função é atuar caso ocorra uma falha na abertura do disjuntor, para uma falha em 2ª zona. O ajuste do alcance da 3ª zona é estabelecido de modo que se possa detectar faltas até a extremidade da LT adjacente eletricamente mais longa, ocasionando um sobrealcance das 2ª zonas das demais LT. O tempo de atuação da 3ª zona deve ser superior ao

tempo de atuação das 1ª e 2ª zonas das LT adjacentes. Geralmente, esse valor é estabelecido em torno de 1s (ANDERSON, 1999).

Na Figura 8, apresentam-se as zonas de proteção de distância de um sistema de transmissão, destacando-se os seus alcances e os tempos de atraso associados. As zonas são especificadas de acordo com a nomenclatura associada aos disjuntores das LT.

**Figura 8 - Representação das zonas de proteção de distância.**



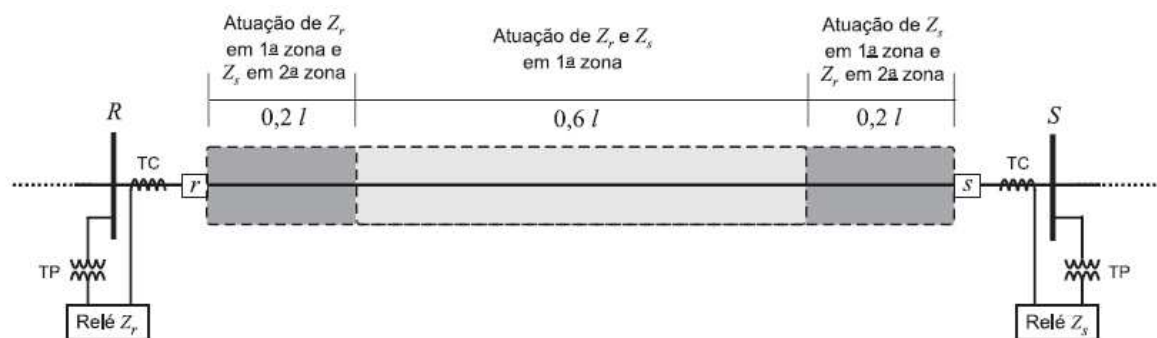
Fonte: Autoria própria.

### 3.3 Esquemas de teleproteção

No sistema convencional, a 1ª zona de um relé de distância protege cerca de 80% da LT, sendo os 20% restantes protegidos pela 2ª zona, que possui um atraso na atuação da ordem de 200 ms à 500 ms. Na prática, esse sistema não é adequado para muitas LT, devido ao disparo retardado para falhas que venham a ocorrer a 40% do seu comprimento, o que pode levar a instabilidade ou outros problemas, conforme ilustrado na Figura 9 (ANDERSON, 1999).

Para contornar essa situação, são empregados os esquemas de proteção de distância com comunicação lógica, chamados de esquemas de teleproteção, os quais são definidos na IEC (1999) em três tipos: disparo permissivo, disparo direto ou de transferência e bloqueio.

**Figura 9 - Representação da interseção das zonas de atuação dos relés nos terminais de uma LT.**



Fonte: SILVA (2009).

Na prática, dispõe-se de seis esquemas básicos de teleproteção, definidos de acordo com a característica da zona de impedância (subalcance ou sobrealcance), que iniciará a transmissão do sinal no relé. Na Tabela 2, apresentam-se as nomenclaturas comumente usadas na literatura técnica para descrição desses esquemas.

O objetivo dos esquemas de teleproteção por sinalização é fazer com que os relés, em todos os terminais da LT protegida, comparem suas respostas e determinem o sentido correto da falta. Isto possibilitará acelerar o processo de tomada de decisão do relé, tanto no bloqueio contra faltas externas quanto na eliminação de faltas (GUERRERO, 2011).

**Tabela 2 - Esquemas de teleproteção baseada em sinalização.**

| Esquemas de teleproteção                                    |
|---|
| Transferência Direta de Disparo por Subalcance (DUTT)       |
| Transferência Permissiva de Disparo por Subalcance (PUTT)   |
| Transferência Permissiva de Disparo por Sobrealcance (POTT) |
| Aceleração de Zona  |
| Comparação Direcional por Desbloqueio (DCUB)                |
| Comparação Direcional por Bloqueio (DCB)                    |

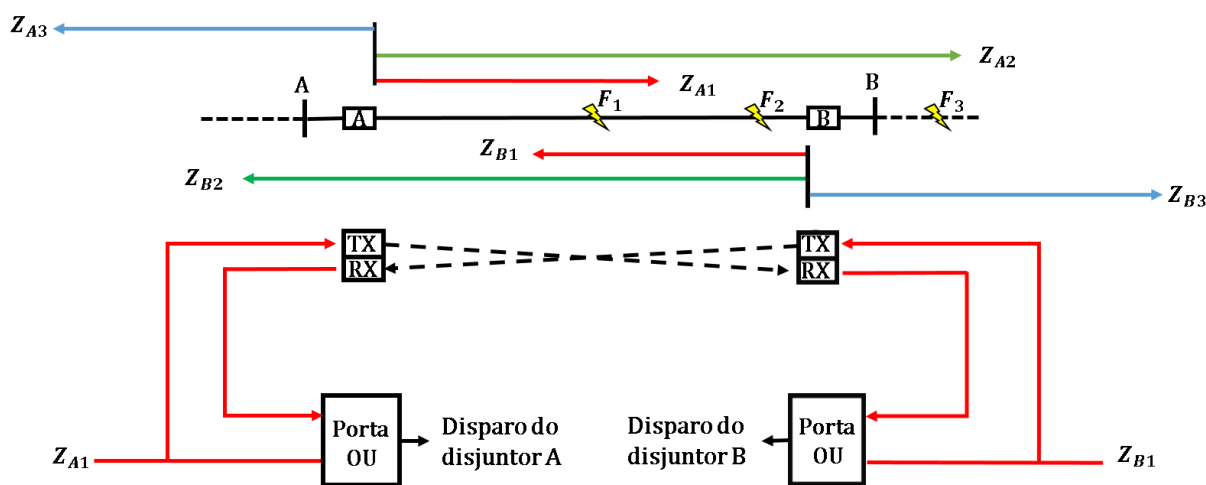
Fonte: ORDAGCI (2010).



### 3.3.1. Transferência Direta de Disparo por Subalcançe (DUTT)

O esquema DUTT requer apenas funções de subalcançe, uma em cada terminal da linha de transmissão e apresenta um canal de comunicação com uma única funcionalidade de transmissão (TX) e recepção (RX). A lógica simplificada para um esquema DUTT é mostrada na Figura 10 e seu funcionamento é descrito na Tabela 3, com base na localização de faltas em três pontos distintos.

Figura 10 - Transferência Direta de Disparo por Subalcançe – DUTT.



$Z_{A1}$  - função de disparo por subalcançe, deve ser ajustada para alcançar próximo ao terminal remoto e deve se sobrepôr em alcance com  $Z_{B1}$  do terminal remoto.

Fonte: Autoria própria.

Tabela 3 - Funcionamento do esquema de teleproteção - DUTT.

| Localização da falta | Terminal A   | Terminal B   |
|----------------------|--|--|
| F1                   | $Z_{A1}$ opera – envia sinal direto de disparo                               | $Z_{B1}$ opera – envia sinal direto de disparo                               |
|                      | $Z_{A1}$ opera e recebe o sinal direto de disparo do terminal remoto         | $Z_{B1}$ opera e recebe o sinal direto de disparo do terminal remoto         |
|                      | Envia <i>trip</i> para o disjuntor local                                     | Envia <i>trip</i> para o disjuntor local                                     |
| F2                   | $Z_{A1}$ não opera – não envia sinal direto de disparo                       | $Z_{B1}$ opera – envia sinal direto de disparo                               |
|                      | $Z_{A1}$ não opera e recebe o sinal direto de disparo do terminal remoto     | $Z_{B1}$ opera e não recebe o sinal direto de disparo do terminal remoto     |
|                      | Envia <i>trip</i> para o disjuntor local                                     | Envia <i>trip</i> para o disjuntor local                                     |
| F3                   | $Z_{A1}$ não opera – não envia sinal direto de disparo                       | $Z_{B1}$ não opera – não envia sinal direto de disparo                       |
|                      | $Z_{A1}$ não opera e não recebe o sinal direto de disparo do terminal remoto | $Z_{B1}$ não opera e não recebe o sinal direto de disparo do terminal remoto |
|                      | Não envia <i>trip</i> para o disjuntor local                                 | Não envia <i>trip</i> para o disjuntor local                                 |

Fonte: Autoria própria.

As características operacionais deste esquema são detalhadas a seguir (IEEE,2015):

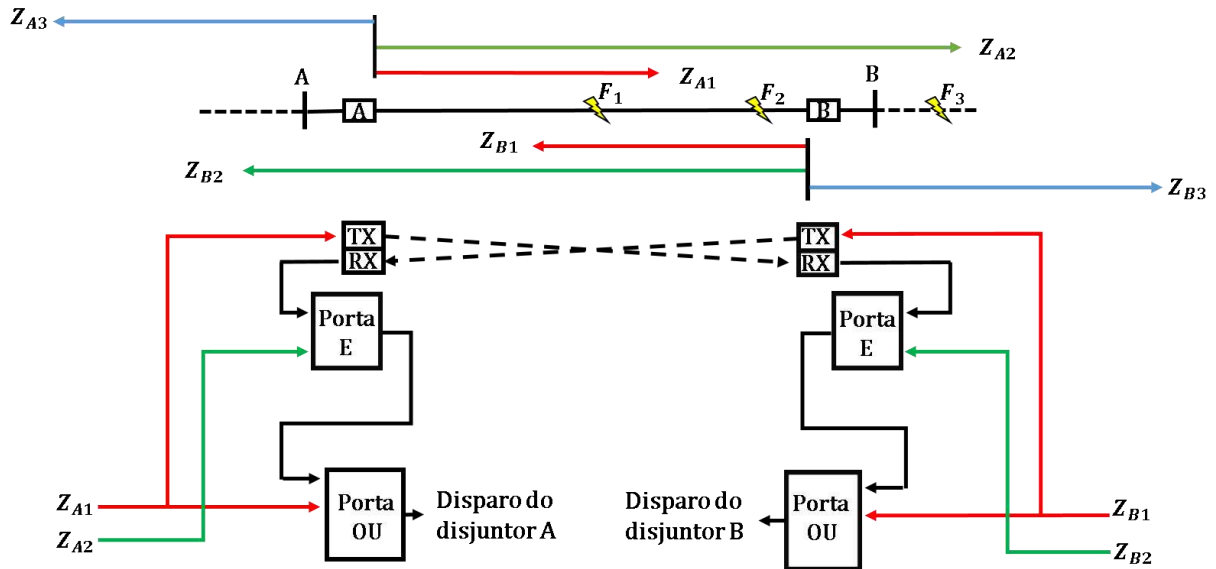
- Geralmente é aplicado com um canal que utiliza técnica de modulação FSK (*Frequency Shift Keying*). Com esse tipo de canal, a frequência de guarda é transmitida durante condições quiescentes, e o transmissor é chaveado à frequência TRIP sempre que uma das funções de subalcance opere.
- Elementos de distância de fase são usado quase exclusivamente para a detecção de falhas multifásicas, enquanto elementos de distância de terra ou de sobrecorrente de terra são usados para a detecção de faltas à terra.
- As funções subalcadas deve se sobrepor ao alcance; caso contrário, haveria uma zona morta na linha onde nenhuma falta seria detectada.
- Para elementos de terra, mudanças no sistema de potência podem resultar na redução das contribuições de corrente de falta da linha terminal, o que causa uma redução no alcance efetivo dos elementos de sobrecorrente de terra direcional. Consequentemente, pode não ser possível usar elementos de sobrecorrente de terra direcional que atendam ao alcance necessário.
- Para faltas internas dentro da zona de sobreposição, as funções de subalcance em cada extremidade da linha irão operar e enviar o *trip* ao disjuntor diretamente. Ao mesmo tempo, a função de subalcance ativará seu respectivo transmissor para enviar um sinal TRIP de transferência direta ao terminal remoto da linha. Recebendo o sinal de TRIP também iniciará o disparo do disjuntor.
- O esquema opera em alta velocidade para faltas próximas (*close-in*). No entanto, ele não opera para falhas além do alcance dos elementos de subalcance se o disjuntor remoto estiver aberto ou se o canal de comunicação remoto estiver inoperante. Por esta razão, os esquemas DUTT são muitas vezes usados apenas como um complemento para outros esquemas de disparo.
- O sinal recebido do DUTT é convertido em um TRIP sem qualquer supervisão local. Como tal, o seu canal requer mais segurança do que os esquemas cujos canais são supervisionados por um elemento de medição local.

### **3.3.2. Transferência Permissiva de Disparo por Subalcance (PUTT)**

O esquema de Transferência Permissiva de Disparo por Subalcance (PUTT) requer tanto funções de sobrealcance quanto funções de subalcance. Este esquema apresenta um canal de

comunicação com uma única funcionalidade de transmissão (TX) e recepção (RX). A lógica simplificada para o esquema PUTT é mostrada na Figura 11 e seu funcionamento é descrito na Tabela 4, com base na localização de faltas em três pontos distintos.

Figura 11 - Transferência Permissiva de Disparo por Subalcançe - PUTT.



$Z_{A1}$  - função de disparo por subalcançe, deve ser ajustada para alcançar próximo ao terminal remoto e deve sobrepor ao alcance da  $Z_{B1}$  do terminal remoto.

$Z_{A2}$  e  $Z_{B2}$  - função de disparo de sobrealcançe, deve ser definida para ir além do fim do terminal remoto.

Fonte: Autoria própria.

Tabela 4 - Funcionamento do esquema de teleproteção - PUTT.

| Localização da falta | Terminal A  | Terminal B  |
|----------------------|---|---|
| F1                   | $Z_{A1}$ opera – envia sinal permissivo de disparo                | $Z_{B1}$ opera – envia sinal permissivo de disparo                    |
|                      | $Z_{A2}$ opera e recebe o sinal permissivo do terminal remoto     | $Z_{B2}$ opera e recebe o sinal permissivo do terminal remoto         |
|                      | Envia <i>trip</i> para o disjuntor local                          | Envia <i>trip</i> para o disjuntor local                              |
| F2                   | $Z_{A1}$ não opera – não envia o sinal permissivo de disparo      | $Z_{B1}$ opera – envia sinal permissivo de disparo                    |
|                      | $Z_{A2}$ opera e recebe sinal permissivo do terminal remoto       | $Z_{B2}$ opera e não recebe o sinal permissivo do terminal remoto     |
|                      | Envia <i>trip</i> para o disjuntor local                          | Envia <i>trip</i> para o disjuntor local                              |
| F3                   | $Z_{A1}$ não opera – não envia sinal permissivo de disparo        | $Z_{B1}$ não opera – não envia sinal permissivo de disparo            |
|                      | $Z_{A2}$ opera e não recebe o sinal permissivo do terminal remoto | $Z_{B2}$ não opera e não recebe o sinal permissivo do terminal remoto |
|                      | Não envia <i>trip</i> para o disjuntor local                      | Não envia <i>trip</i> para o disjuntor local                          |

Fonte: Autoria própria.

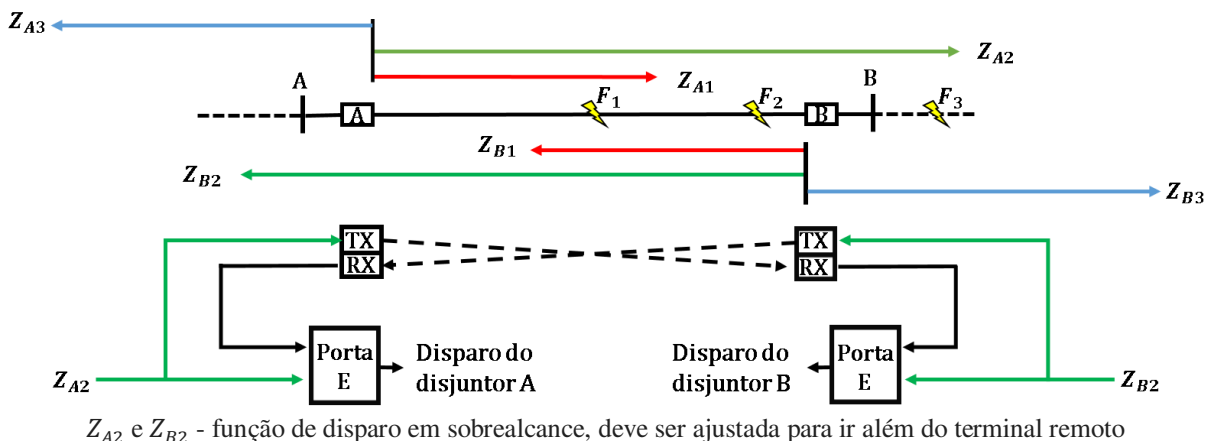
As características operacionais deste esquema são detalhadas a seguir (IEEE,2015):

- Considerando que as funções de subalcance em ambos os terminais são definidas para atingir 80% da linha e as funções de sobrealcance são definidas para alcançar bem além dos terminais remotos. As unidades de subalcance em ambos os terminais operariam se ocorrer uma falta em 60% da linha e os disjuntores em ambos os terminais seriam desarmados.
- A unidade de subalcance no barramento 1 não opera se houver uma falha na linha protegida, mas estiver fora do alcance dessa unidade. A unidade de sobrealcance no barramento 1 opera indicando que a falha está na linha protegida além do alcance da unidade de subalcance ou em uma linha que emana do terminal remoto. A unidade de subalcance fornecida no barramento 2 detecta a falha na linha e transmite esta informação para o sistema de proteção no barramento 1. O disparo do disjuntor é então permitido.
- Este esquema é semelhante ao esquema DUTT, exceto que o sinal enviado é um sinal permissivo e o trip é supervisionado em cada terminal pelas unidades de sobrealcance. Um esquema PUTT é ineficaz para falhas além do alcance da função subalcance perto do terminal aberto quando o disjuntor remoto está aberto.

### 3.3.3. Transferência Permissiva de Disparo por Sobrealcance (POTT)

O esquema do POTT requer funções de sobrealcance. Ademais, apresenta um canal de comunicação com uma única funcionalidade de transmissão (TX) e recepção (RX). A lógica simplificada para o esquema POTT é mostrada na Figura 12 e seu funcionamento é descrito na Tabela 5, com base na localização de faltas em três pontos distintos.

Figura 12 - Transferência Permissiva de Disparo por Sobrealcance - POTT.



Fonte: Autoria própria.

**Tabela 5 - Funcionamento do esquema de teleproteção - POTT.**

| Localização da falta | Terminal A  | Terminal B  |
|----------------------|---|---|
| F1                   | $Z_{A2}$ opera – envia sinal permissivo de disparo                | $Z_{B2}$ opera – envia sinal permissivo de disparo                |
|                      | $Z_{A2}$ opera e recebe o sinal permissivo do terminal remoto     | $Z_{B2}$ opera e recebe o sinal permissivo do terminal remoto     |
|                      | Envia <i>trip</i> para o disjuntor local                          | Envia <i>trip</i> para o disjuntor local                          |
| F2                   | $Z_{A2}$ opera – envia sinal permissivo de disparo                | $Z_{B2}$ opera – envia sinal permissivo de disparo                |
|                      | $Z_{A2}$ opera e recebe o sinal permissivo do terminal remoto     | $Z_{B2}$ opera e recebe o sinal permissivo do terminal remoto     |
|                      | Envia <i>trip</i> para o disjuntor local                          | Envia <i>trip</i> para o disjuntor local                          |
| F3                   | $Z_{A2}$ opera – envia sinal permissivo de disparo                | $Z_{B2}$ não opera – não envia sinal permissivo de disparo        |
|                      | $Z_{A2}$ opera e não recebe o sinal permissivo do terminal remoto | $Z_{B2}$ não opera e recebe o sinal permissivo do terminal remoto |
|                      | Não envia <i>trip</i> para o disjuntor local                      | Não envia <i>trip</i> para o disjuntor local                      |

Fonte: Autoria própria.

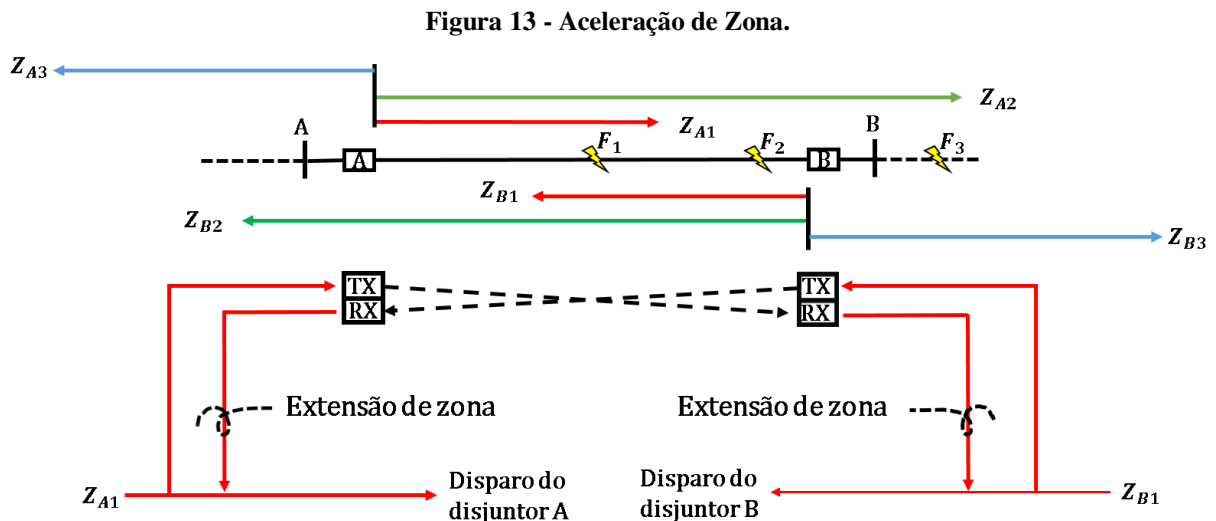
As características operacionais deste esquema são detalhadas a seguir (IEEE,2015):

- Funções de distância de fase são usadas quase exclusivamente para a detecção de faltas multifásicas, enquanto funções de distância de terra ou funções de sobrecorrente direcional de terra, incluindo elementos de seqüência-zero e negativa, são usadas para detecção de faltas à terra.
- O esquema POTT às vezes é aplicado com um canal FSK, no qual a frequência GUARD é enviada em *standby* e a frequência TRIP por uma saída das funções de sobrealcance.
- Para uma falha em qualquer lugar na linha protegida mostrada na Figura 11, ambas as funções de sobrealcance em ambos os terminais da linha operam e fornecem uma entrada para a porta AND. Ao mesmo tempo, as funções de sobrealcance ativam o transmissor para o sinal TRIP. O recebimento da frequência de TRIP em cada terminal e uma saída da função de sobrealcance fará com que a porta AND produza uma saída para iniciar o *trip*.
- Para falhas externas, a função de sobrealcance em apenas uma extremidade da linha opera e não há saída das portas AND; Assim, o trip não é iniciado em nenhum terminal.
- O esquema é muito seguro, pois não desarme por nenhuma falha externa se o canal estiver inoperante. Por outro lado, o esquema carece de confiabilidade porque não desarma a linha por uma falha interna se o canal estiver inoperante.

- O esquema pode não desarmar em alta velocidade para faltas próximas dos terminais conectados para fontes fortes, porque o tempo mais rápido de disparo que pode ser esperado depende da função mais lenta para uma falta interna.
- Pode utilizar uma lógica de ECHO que permita a transmissão do sinal de disparo quando o disjuntor local estivesse antecipadamente aberto.
- Os elementos de distância protegem a linha em caso de falha de comunicação entre os terminais. Estes elementos são ajustados para desarmar após um atraso de tempo, de modo a coordenar com os sistemas de proteção das linhas que emana do terminal remoto.

### 3.3.4. Aceleração de Zona

Este esquema requer o uso de funções de subalcance que têm a capacidade de estender seu alcance quando um sinal permissivo é recebido do terminal remoto da linha. As funções de subalcance são configuradas para sobrepor o alcance evitando um ponto morto na linha. A lógica simplificada para o esquema de aceleração de zona é mostrada na Figura 13 e seu funcionamento é descrito na Tabela 6, com base na localização de faltas em três pontos distintos.



$Z_{A1}$  - função de disparo por subalcance, deve ser ajustada para alcançar próximo do terminal remoto e deve se sobrepor em alcance com  $Z_{B1}$  no terminal remoto. Deve ser capaz de modificar o alcance.

Fonte: Autoria própria.

**Tabela 6 - Funcionamento do esquema de teleproteção de Aceleração de Zona.**

| Localização da falta | Terminal A   | Terminal B   |
|----------------------|--|--|
| F1                   | $Z_{A1}$ opera – envia sinal permissivo de aceleração da zona                          | $Z_{B1}$ opera – envia sinal permissivo de aceleração da zona                          |
|                      | Recebe o sinal permissivo de aceleração da zona e faz a extensão da zona de subalcance | Recebe o sinal permissivo de aceleração da zona e faz a extensão da zona de subalcance |
|                      | Envia <i>trip</i> para o disjuntor local   | Envia <i>trip</i> para o disjuntor local   |
| F2                   | $Z_{A1}$ não opera – não envia sinal permissivo de aceleração da zona                  | $Z_{B1}$ opera – envia sinal permissivo de aceleração da zona                          |
|                      | Recebe o sinal permissivo de aceleração da zona e faz a extensão da zona de subalcance | Não recebe o sinal permissivo de aceleração da zona                                    |
|                      | Envia <i>trip</i> para o disjuntor local   | Envia <i>trip</i> para o disjuntor local   |
| F3                   | $Z_{A1}$ não opera – não envia sinal permissivo de aceleração da zona                  | $Z_{B1}$ não opera – não envia sinal permissivo de aceleração da zona                  |
|                      | Não recebe o sinal permissivo de aceleração da zona                                    | Não recebe o sinal permissivo de aceleração da zona                                    |
|                      | Não envia <i>trip</i> para o disjuntor local   | Não envia <i>trip</i> para o disjuntor local   |

Fonte: Autoria própria.

As características operacionais deste esquema são detalhadas a seguir (IEEE,2015):

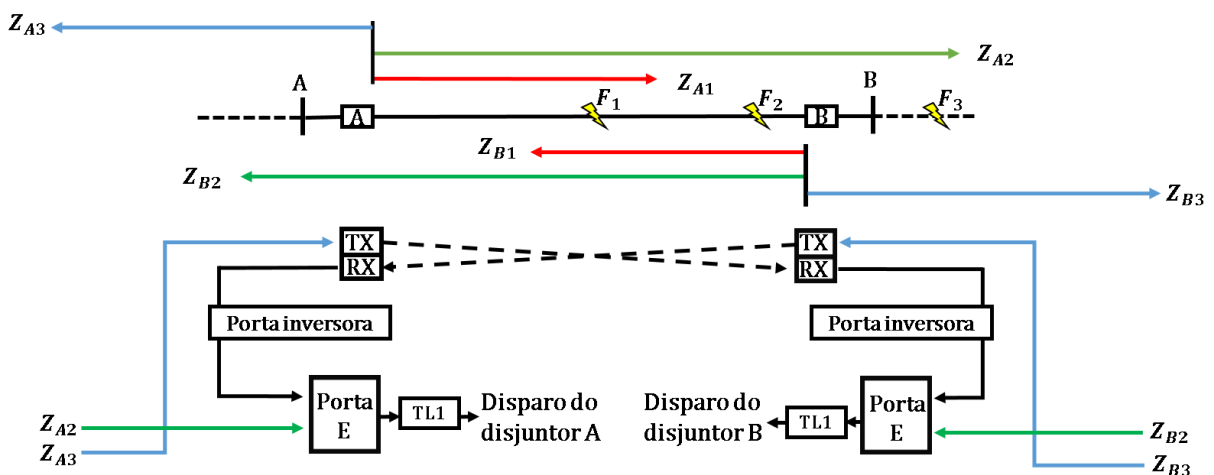
- O esquema de Aceleração de Zona geralmente requer o uso de funções de distância de terra para a detecção de faltas de terra e funções de distância de fase para detectar faltas multifásicas.
- O esquema é geralmente aplicado com um canal FSK. O canal é operado na frequência GUARD durante condições quiescentes e é chaveado para frequência TRIP por operação de qualquer uma das funções de subalcance.
- O disparo é iniciado e o canal é chaveado para a frequência TRIP quando ocorre uma falta dentro da sobreposição dos alcances da zona das funções de subalcance. O recebimento da frequência TRIP amplia (acelera) o alcance da função de subalcance para um valor maior que a impedância da linha. Esta extensão em alcance não tem mais efeito porque o *trip* já foi iniciado em ambos os terminais da linha. A função de subalcance em um terminal opera e dispara o disjuntor controlando a linha naquele terminal se a falha estiver perto do terminal e liga seu transmissor à frequência TRIP. A frequência TRIP recebida no outro terminal estende o alcance de sua função de subalcance que agora detecta a falha e inicia o trip.

- Nenhuma das funções de subalcançe operam para faltas externas; portanto, não ocorre *trip* em nenhum terminal.
- Este esquema é muito seguro porque não desarma a linha para faltas externas, independentemente do estado do canal. Por outro lado, não desarmará a linha para faltas no final da zona se o canal estiver inoperante. Um atraso de tempo deve ser contado para *trip* nesta condição.
- Trip de alta velocidade para faltas próximas é fornecido nos terminais conectados a fontes fortes. O disparo para faltas no final da zona depende do funcionamento da função de subalcançe remota; é então atrasado pelo tempo de operação do canal, tempo de propagação e tempo de operação da função de subalcançe estendida. Porque o sinal GUARD é transmitido continuamente, o canal pode ser monitorado continuamente.

### 3.3.5. Comparação Direcional por Bloqueio (DCB)

O esquema DCB requer funções de sobrealcançe e funções de bloqueio. Além disso, apresenta um canal de comunicação com uma única funcionalidade de transmissão (TX) e recepção (RX). A lógica simplificada para o esquema DCB é mostrada na Figura 14 e seu funcionamento é descrito na Tabela 7, com base na localização de faltas em três pontos distintos.

Figura 14 - Comparação Direcional por Bloqueio - DCB.



$Z_{A2}$  e  $Z_{B2}$  - função de disparo de sobrealcançe, deve ser definida para ir além do fim de linha remoto.  
 $Z_{A3}$  e  $Z_{B3}$  - função de bloqueio, deve ser definida para ir além da função de disparo de sobrealcançe no final remoto da linha.

TL1 - tempo de coordenação, necessário para permitir que o tempo de sinal de bloqueio seja recebido (definido igual ao tempo do canal mais o tempo de propagação mais uma margem).

Fonte: Autoria própria.



**Tabela 7 - Funcionamento do esquema de teleproteção - DCB.**

| Localização da falta | Terminal A  | Terminal B  |
|----------------------|---|---|
| F1                   | $Z_{A3}$ não opera – não envia sinal direcional de bloqueio                 | $Z_{B3}$ não opera – não envia sinal direcional de bloqueio                     |
|                      | $Z_{A2}$ opera e não recebe sinal direcional de bloqueio do terminal remoto | $Z_{B2}$ opera e não recebe sinal direcional de bloqueio do terminal remoto     |
|                      | Envia <i>trip</i> para o disjuntor local                                    | Envia <i>trip</i> para o disjuntor local  |
| F2                   | $Z_{A3}$ não opera – não envia sinal direcional de bloqueio                 | $Z_{B3}$ não opera – não envia sinal direcional de bloqueio                     |
|                      | $Z_{A2}$ opera e não recebe sinal direcional de bloqueio do terminal remoto | $Z_{B2}$ opera e não recebe sinal direcional de bloqueio do terminal remoto     |
|                      | Envia <i>trip</i> para o disjuntor local                                    | Envia <i>trip</i> para o disjuntor local  |
| F3                   | $Z_{A3}$ não opera – não envia sinal direcional de bloqueio                 | $Z_{B3}$ opera – envia sinal direcional de bloqueio                             |
|                      | $Z_{A2}$ opera e recebe sinal direcional de bloqueio do terminal remoto     | $Z_{B2}$ não opera e não recebe sinal direcional de bloqueio do terminal remoto |
|                      | Não envia <i>trip</i> para o disjuntor local                                | Não envia <i>trip</i> para o disjuntor local                                    |

Fonte: Autoria própria.

As características operacionais deste esquema são detalhadas a seguir (IEEE,2015):

- Funções de distância são usadas quase exclusivamente para detecção de faltas multifásicas. Funções de distância de terra ou funções de sobrecorrente direcional de terra são usadas para detectar faltas à terra.
- Um canal de comunicação OFF-ON é tipicamente usado com este tipo de esquema. A linha de transmissão é usada frequentemente como meio de comunicação. Tom de áudio sobre locação linhas telefônicas, microondas e fibra ótica também são usados às vezes. O transmissor está normalmente no estado OFF quando a linha de transmissão está funcionando normalmente, mas é chaveada para o estado ON pela operação de uma função de bloqueio. O recebimento de um sinal no terminal remoto aplica a entrada NOT ao comparador BLOCK para produzir uma saída.
- As funções de disparo estão definidas para alcançar além do terminal remoto da linha de transmissão com margem para que eles detectem falhas em qualquer lugar na linha de transmissão. As funções de bloqueio são usadas para detectar falhas que não estão na linha protegida, mas que as funções de disparo remoto são capazes de

detectar. Portanto, as funções de bloqueio são definidas para alcançar mais atrás do terminal do que o disparo da função do terminal remoto atinge.

- Uma função de bloqueio opera e liga seu transmissor para enviar um sinal de bloqueio para o terminal remoto, se houver uma falha no lado do barramento do relé. O recebimento do sinal de bloqueio do terminal remoto aplicado a porta AND produz uma saída baixa na porta AND; portanto, o disjuntor é impedido de disparar. Um tempo de coordenação (TL1) é necessário para permitir que um sinal de bloqueio seja recebido do terminal remoto. Ele é definido para compensar o tempo do canal, o tempo de propagação do sinal e qualquer diferença no tempo de operação que pode resultar se a função de bloqueio remoto for mais lenta que a função de *trip* local.
- Uma ou mais funções de disparo operam quando há uma falta na linha de transmissão. As saídas das funções de *trip*, que podem ser qualquer um dos elementos direcionados à frente, são aplicadas a porta AND. As funções de bloqueio não funcionam porque a falta está dentro da zona de proteção e não há transmissor chaveado. As portas AND em ambos os terminais agora produzem saídas que permitem que o TL1 em cada terminal atinja o tempo e inicie o disparo.
- Os problemas de coordenação entre a função de bloqueio em um terminal e a função de *trip* no terminal remoto é reduzido se ambas as funções operarem no mesmo princípio, garantindo que a função de bloqueio seja pelo menos tão rápida e sensível quanto, ou mais rápida e mais sensível que a função de *trip* que está mais distante da falta. Alguns esquemas DCB usam um elemento não direcional para iniciar o sinal de bloqueio da portadora, particularmente para faltas à terra e, em seguida, use um elemento direcional para a frente para parar (ou silenciar) o sinal do bloco da portadora. Este permite um disparo mais rápido, definindo o temporizador TL1 mais curto, porque os elementos não direcionais são geralmente mais rápidos do que elementos direcionais.
- Este esquema é muito confiável porque opera para faltas em qualquer lugar da linha protegida, mesmo se o canal de comunicação estiver fora de serviço, mas não tem segurança porque ultrapassa e dispara além do terminal remoto se o canal de comunicação não estiver funcionando.
- Este esquema não requer qualquer meio de chaveamento quando o disjuntor remoto está aberto para permitir o *trip* para faltas em qualquer lugar da linha. Fornece

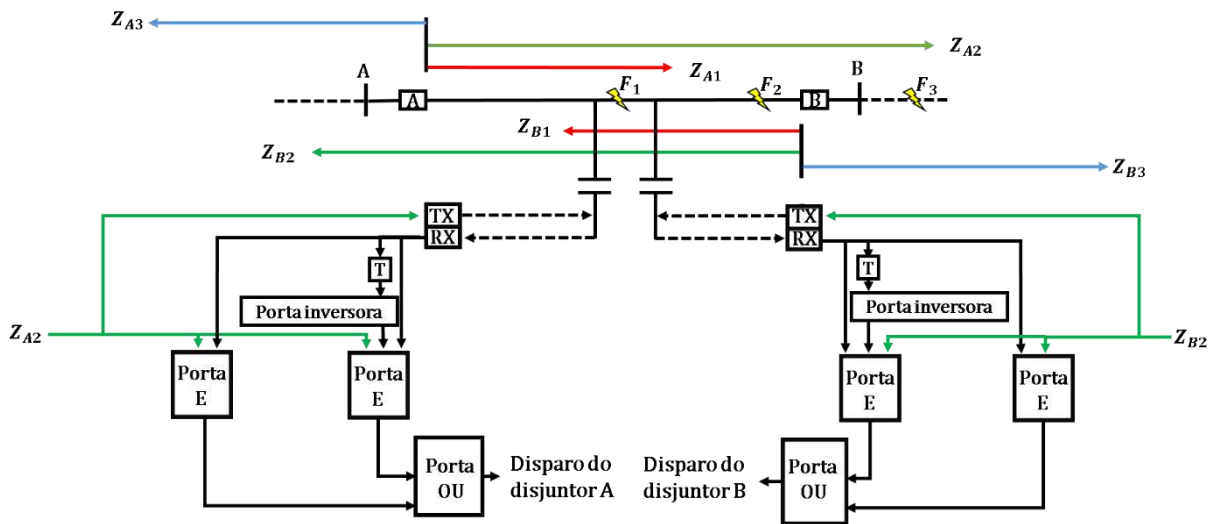
disparo de alta velocidade (depende do tempo de atraso coordenação) para a maioria das condições de fonte e linha. No entanto, não pode desarmar os terminais da linha de transmissão conectado a uma fonte fraca se os níveis de falta estiverem abaixo da sensibilidade dos relés de disparo.

- Um canal de comunicação é necessário para ser chaveado apenas durante faltas externas, dessa forma, não há como monitorar o canal continuamente. Portanto, um sistema de verificação de canal é usado se for desejado verificar o canal periodicamente. As funções de sobrealcance podem ser usadas para acionar cronômetros para que o *backup* de *trips* atrasados possam ser fornecidos para faltas no alcance das funções de sobrealcance.

### 3.3.6. Comparação Direcional por Desbloqueio (DCUB)

O esquema do DCUB requer funções de sobrealcance. Ele apresenta um canal de comunicação com uma única funcionalidade de transmissão (TX) e recepção (RX). A lógica simplificada para o esquema POTT é mostrada na Figura 15 e seu funcionamento é descrito na Tabela 8, com base na localização de faltas em três pontos distintos.

Figura 15 - Comparação Direcional por Desbloqueio - DCUB.



$Z_{A2}$  e  $Z_{B2}$  - função de disparo em sobrealcance, deve ser ajustada para ir além do terminal remoto.

Fonte: Autoria própria.

**Tabela 8 - Funcionamento do esquema de teleproteção DCUB.**

| Localização da falta | Terminal A   | Terminal B   |
|----------------------|--|--|
| F1                   | $Z_{A2}$ opera – envia sinal direcional de desbloqueio                           | $Z_{B2}$ opera – envia sinal direcional dedesbloqueio                            |
|                      | $Z_{A2}$ opera e recebe o sinal direcional de desbloqueio do terminal remoto     | $Z_{B2}$ opera e recebe o sinal direcional de desbloqueio do terminal remoto     |
|                      | Envia <i>trip</i> para o disjuntor local   | Envia <i>trip</i> para o disjuntor local   |
| F2                   | $Z_{A2}$ opera – envia sinal direcional de desbloqueio                           | $Z_{B2}$ opera – envia sinal direcional de desbloqueio                           |
|                      | $Z_{A2}$ opera e recebe o sinal direcional de desbloqueio do terminal remoto     | $Z_{B2}$ opera e recebe o sinal direcional de desbloqueio do terminal remoto     |
|                      | Envia <i>trip</i> para o disjuntor local   | Envia <i>trip</i> para o disjuntor local   |
| F3                   | $Z_{A2}$ opera – envia sinal direcional de desbloqueio                           | $Z_{B2}$ não opera – não envia sinal direcional de desbloqueio                   |
|                      | $Z_{A2}$ opera e não recebe o sinal direcional de desbloqueio do terminal remoto | $Z_{B2}$ não opera e recebe o sinal direcional de desbloqueio do terminal remoto |
|                      | Não envia <i>trip</i> para o disjuntor local                                     | Não envia <i>trip</i> para o disjuntor local                                     |

Fonte: Autoria própria.

Segundo (GUERRERO, 2012), neste esquema destacam-se importantes características operacionais que são detalhadas a seguir:

- As unidades de sobrealcance comumente empregam as funções de proteção de distância na detecção de todo tipo de falta. Porém, para obter maior sensibilidade na detecção de faltas fase-terra utilizam-se também as funções de proteção direcional de sobrecorrente.
- Emprega o mesmo canal de comunicação descrito no item 3.3.1.
- Possui uma lógica que permite acomodar a perda do canal de comunicação quando da ocorrência de uma falta na LT protegida. Esta lógica precisa transmitir um sinal de GUARD em condições normais de operação para monitorar continuamente o canal de comunicação.
- A transmissão do sinal de TRIP é feita unicamente quando a unidade de sobrealcance detecta a falta dentro do seu alcance. O sinal recebido no terminal remoto primeiro é supervisionado pela unidade de sobrealcance antes de atuar no circuito de comando do disjuntor. Isto garante a eliminação de faltas em todo o comprimento da LT.
- A lógica de desbloqueio habilita o disparo do disjuntor local por um período de 150 a 300 ms após detectar a perda do sinal de guarda junto com a partida da unidade de sobrealcance.

- A lógica de desbloqueio não é válida em situações de perda do sinal devido às faltas externas, pois trará como resultado um falso disparo do disjuntor. Este fato leva à aplicação da lógica de desbloqueio preferencialmente com meio de transmissão PLC (*Power Line Communication*).

### 3.4 Desempenho dos esquemas de teleproteção

A função do sistema de teleproteção é desconectar de forma seletiva uma parte defeituosa do sistema, transferindo sinais de comando dentro do menor tempo possível. Segundo a (IEC, 1999),” os principais critérios para medir o desempenho da Teleproteção são o comando do tempo de transmissão, confiabilidade e segurança. Estes critérios são definidos pelo IEC padrão 60834 da seguinte forma”(apud, WETTERWALD,2015):

- Tempo de transmissão (velocidade): o tempo entre o momento em que há mudanças no estado de entrada do transmissor e o momento da mudança correspondente na saída do receptor, incluindo o atraso de propagação. O tempo total de operação para um sistema de teleproteção inclui o tempo para iniciar o comando da transmissão final, o atraso de propagação na rede (incluindo peças de equipamento) e o tempo de seleção e decisão na extremidade receptora, incluindo qualquer atraso adicional devido a um ambiente ruidoso.
- Confiabilidade: a capacidade de emitir e receber comandos válidos na presença de interferência ou ruído, minimizando a probabilidade de falta de comando (PMC). Os níveis de confiabilidade dos destinos são geralmente definidos por uma *Bit Error Rate* (BER) específica.
- Segurança: A capacidade de impedir falsos *trips* devido a um ambiente ruidoso, minimizando a *Probability of Unwanted Commands* (PUC). A segurança dos destinos são também definidas para um nível específico de *Bit Error Rate* (BER).

A seguir, na Tabela 9, é apresentada uma análise comparativa das vantagens e desvantagens que caracterizam os esquemas de teleproteção com relação ao seu desempenho. Para tanto, utilizam-se os três parâmetros expostos pelo padrão IEC 60834-1 para análise do desempenho, que são confiabilidade, segurança e tempo máximo de operação (GUERRERO, 2012).

Tabela 9 - Análise comparativa dos esquemas de teleproteção.

| Esquema de Teleproteção   | Vantagens   | Desvantagens   |
|---|---|--|
| <p>Esquemas de Transferência Direta de Disparo (<i>Intertripping</i>)</p> | <p><b>Tempo de Operação:</b> O sinal de TRIP recebido atuará diretamente no circuito de comando do disjuntor.</p>   | <p><b>Confiabilidade:</b> O atraso ou perda do sinal de TRIP, devido a presença de ruído no canal durante faltas internas, ocasionará o atraso ou perda do comando de disparo do disjuntor.</p> <p><b>Segurança:</b> Um comando desnecessário, devido a presença de ruído no canal sob condições normais, trará a operação indevida do disjuntor.</p> <p><b>Operação:</b> O disparo acelerado do disjuntor local não terá sucesso para faltas além do alcance de zona 1 se o disjuntor remoto estiver aberto ou o canal de comunicação inoperante.</p> |
| <p>Esquema de Comparação Direcional por Bloqueio</p>                      | <p><b>Operação:</b> A necessidade de transmissão do sinal unicamente durante condições de falta externa tem levado ao aproveitamento das próprias linhas de transmissão como meio de comunicação.</p> | <p><b>Confiabilidade:</b> O atraso ou perda do sinal de bloqueio, devido a presença de ruído no canal durante faltas externas, não permitirá o bloqueio do disjuntor.</p> <p><b>Segurança:</b> Um comando desnecessário devido a presença de ruído no canal durante faltas internas resultará no atraso ou bloqueio do disparo do disjuntor local.</p> <p><b>Operação:</b> O bloqueio do disjuntor local não terá sucesso para faltas externas ainda dentro do alcance de zona 2 se o canal de comunicação estiver inoperante.</p>                     |

Tabela 9 - Análise comparativa dos esquemas de teleproteção.

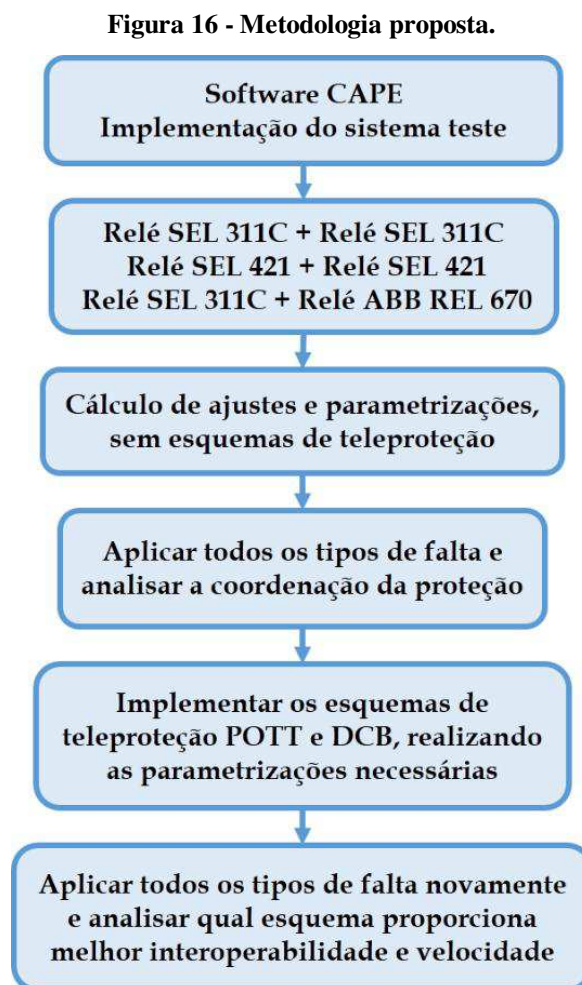
| Esquema de Teleproteção                         | Vantagens  | Desvantagens   |
|---|--|--|
| Esquemas de Transferência Permissiva de Disparo | <p><b>Segurança:</b> Um comando desnecessário, devido a presença de ruído no canal sob condições normais, não trará a operação desnecessária do disjuntor, pois existe a supervisão da unidade de medida local de zona 2.</p> <p><b>Operação:</b> Pode utilizar uma lógica de ECO que permita a transmissão do sinal de disparo quando o disjuntor local estiver antecipadamente aberto.</p> | <p><b>Confiabilidade:</b> O atraso ou perda do sinal TRIP, devido a presença de ruído no canal durante faltas internas, ocasionará o atraso ou perda do comando de disparo do disjuntor.</p> <p><b>Tempo de Operação:</b> O sinal de TRIP recebido primeiro é supervisionado pela unidade de medida local de zona 2 antes de atuar sobre o circuito de comando do disjuntor.</p> <p><b>Operação (esquema de subalcance):</b> O disparo acelerado do disjuntor local não terá sucesso para faltas além do alcance de zona 1 se o disjuntor remoto estiver aberto ou o canal de comunicação inoperante.</p> <p><b>Operação (esquema de sobrealcance):</b> No caso de faltas internas com o canal de comunicação inoperante se produzirá um falso disparo do disjuntor local.</p> |

Fonte: (GUERRERO, 2012)

Diante do exposto, o parâmetro de desempenho que pode ser avaliado no *software* comercial utilizado é o tempo da transmissão (velocidade). Portanto, observando a Tabela 9, percebe-se que não faria sentido analisar o esquema de teleproteção DUTT, visto que essa é sua vantagem, dessa forma, os esquemas de teleproteção utilizados na parametrização dos relés presentes neste trabalho serão o POTT e o DCB, visando utilizar um esquema permissivo e um de bloqueio.

## Capítulo 4 - Metodologia proposta

Apresenta-se a seguir no fluxograma da Figura 16 a metodologia aplicada neste trabalho e detalhada a seguir.

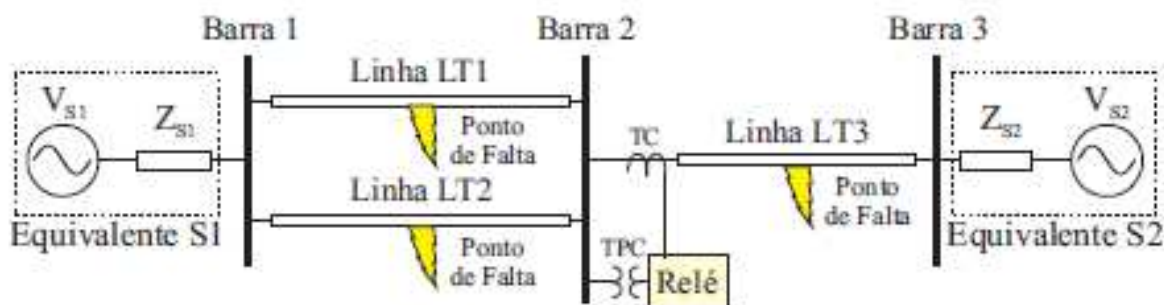


Fonte Autoria própria.

Selecionou-se como sistema-teste, o SEP de 230 kV ilustrado na Figura 17, o qual foi modelado com base no sistema sugerido em *IEEE Power System Relaying Committee* (2004) para o estudo de esquemas de proteção em LT. Basicamente, consiste de: i) duas LT paralelas (LT1 e LT2) de 150 km, que interligam as barras 1 e 2; ii) uma terceira LT (LT3) também, de 150 km, que interliga as barras 2 e 3; dois equivalentes de Thévenin (S1 e S2), os quais representam os SEP interligados às barras 1 e 3 (LOPES *et al*, 2014).



Figura 17 - Sistema-teste.



Fonte: LOPES *et al* (2014).

Os parâmetros elétricos utilizados para modelagem das LT e dos equivalentes de Thévenin estão apresentados nas Tabelas 10 e 11.

Tabela 10 - Parâmetros das LT.

| Sequência | Resistência ( $\Omega/\text{km}$ ) | Reatância ( $\Omega/\text{km}$ ) | Susceptância ( $\mu\text{S}/\text{km}$ ) |
|-----------|------------------------------------|----------------------------------|--|
| Zero      | 0,246349                           | 1,33113                          | 1,80723                                  |
| Positiva  | 0,0937011                          | 0,677849                         | 2,42979                                  |

Fonte: LOPES *et al* (2014).

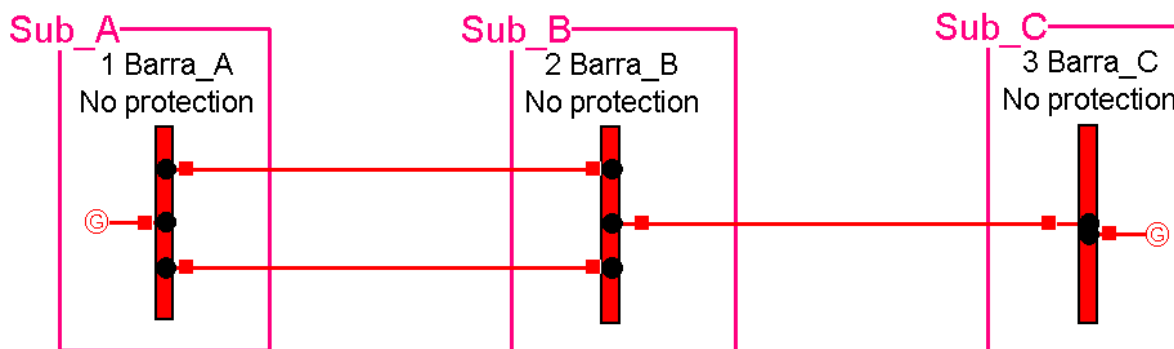
Tabela 11 - Parâmetros dos equivalentes de Thévenin.

| Dados                      |                 | Equivalente |           |
|----------------------------|-----------------|-------------|-----------|
| Tensão (p.u.)              |                 | S1(1,00)    | S2(0,95)  |
| Impedância<br>( $\Omega$ ) | Seq. (zero)     | 6,1+j16,7   | 4,1+j14,7 |
|                            | Seq. (positiva) | 2,7+j8,4    | 1,7+j6,4  |

Fonte: LOPES *et al* (2014).

O sistema-teste foi modelado no software *Computer Aided Protection Engineering* (CAPE), especificamente no módulo *One-Line Diagram* conforme mostrado na Figura 18. Como sinais de entrada de tensão e corrente foram utilizados os sinais secundários provenientes de um TC e de TP, com relações de transformação 400 e 2000, respectivamente.

Figura 18 - Sistema-teste modelado no módulo *One-Line Diagram*.



Fonte: Autoria própria.

A escolha dos relés de distância utilizados na dissertação tomou como base os equipamentos disponíveis no Laboratório de Sistemas de Potência (LSP) do Departamento de Engenharia Elétrica da (DEE) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Os ajustes dos relés encontram-se no Apêndice, eles foram baseados no roteiro de ajustes dos relés SEL 311C, SEL 421 (SELINC, 2017) e no manual de aplicações do relé REL 670 (ABB, 2018). Já os ajustes dos tempos de atraso e de *pickup* dos esquemas POTT e DCB, são mostrados na Tabela 12.

Tabela 12 - Ajustes dos tempos de atraso e de *pickup* dos esquemas POTT e DCB.

| Teleproteção | Tempo de atraso do canal de transmissão (ciclos) | Tempo de atraso do canal para eco (ciclos) | Tempo de atuação para coordenação (ciclos) |
|--------------|--|--|--|
| POTT         | 0,5  | 2  | -  |
| DCB          | 0,5  | -  | 1  |

Fonte: Autoria própria.

No *software* as faltas podem ser aplicadas no módulo *Short Circuit* (possibilita simular faltas (curtos-circuitos) e analisar a resposta dos dispositivos de proteção), *System Simulator* (possibilita simulação de defeitos na rede elétrica e avaliação da coordenação das proteções, indicando as suas funções e o tempo de operação) e também no módulo *Coordination Graphics* (utilizado para avaliar por meio de um diagrama R-X a coordenação entre dispositivos de proteção), porém nesse trabalho, as faltas foram aplicadas apenas nos dois primeiros módulos citados.

Por fim, a análise da coordenação da proteção foi avaliada por meio das seguintes informações:

### **Módulo *Coordination Graphics*:**

- i) É possível visualizar a localização da impedância aparente da falta identificada pelo relé, representada por “x A (1 2 3)” nas características mho ou quadrilateral dispostas no diagrama R-X.
- ii) Paralelamente, o valor da impedância aparente da falta é indicado em um relatório, juntamente com o tempo de operação das zonas de proteção do relé.
- iii) A diagonal preta, representa o comprimento total da linha protegida (LT3). Já as curvas vermelha, verde e azul, correspondem respectivamente, aos seguintes alcances e temporizações: 1ª zona (80% da LT) e 0 ms, 2ª zona (120% da LT) e 400 ms, 3ª zona (180% da LT) e 1000 ms.

### **Módulo *System Simulator*:**

- i) A localização da falta no diagrama unifilar do sistema- teste é identificada por meio de um raio na cor preta.
- ii) Os disjuntores são representados por quadrados de quatro cores distintas: vermelho, indicando o não recebimento do sinal de *trip*, portanto está fechado; amarelo, caso tenha recebido o *trip* do relé, porém a falta foi aplicada na linha adjacente e o tempo previsto para operação do disjuntor é maior que o do terminal remoto; verde, se recebeu o sinal de *trip* e a falta foi aplicada na linha protegida, porém o tempo previsto para operação do disjuntor é maior que o do terminal remoto; branco, quando o sinal de *trip* é recebido e o tempo de atuação do disjuntor é menor que o do terminal remoto.
- iii) O funcionamento dos relés e disjuntores é representado respectivamente, pela indicação das zonas da função de distância que atuaram e o tempo total de abertura do disjuntor, tanto no diagrama unifilar quanto no relatório da falta.

## Capítulo 5 – Exposição e análise dos resultados

O objetivo deste capítulo é apresentar e analisar os resultados obtidos dos casos abordados na Tabela 13. Mediante testes dentro e fora da LT principal se analisa o desempenho dos esquemas de teleproteção programados, assim como, realiza-se uma comparação entre os resultados obtidos empregando relés idênticos ou não, nos terminais da linha de transmissão.

Tabela 13 - Casos de estudo.

| Casos   | Tipo de falta | Linha | Local da falta             | Impedância de falta / Impedância de terra     |
|---------|---------------|-------|----------------------------|---|
| I. a)   | AT            | LT3   | 25 km (16,67%) da barra 2  | $Z_f = 5,00 + j 0,00 \Omega / Z_g = 0 \Omega$ |
| I. b)   | BT            | LT1   | 100 km (66,67%) da barra 1 | $Z_f = 4,33 + j 0,00 \Omega / Z_g = 0 \Omega$ |
| II. a)  | AB            | LT3   | 125 km (83,33%) da barra 3 | $Z_f = 8,66 + j 0,00 \Omega / Z_g = 0 \Omega$ |
| II. b)  | BC            | LT1   | 75 km (50%) da barra 1     | $Z_f = 0,71 + j 0,00 \Omega / Z_g = 0 \Omega$ |
| III. a) | ABT           | LT3   | 125 km (83,33%) da barra 2 | $Z_f = 2,50 + j 0,00 \Omega / Z_g = 0 \Omega$ |
| III. b) | ACT           | LT1   | 10 km (6,67%) da barra 2   | $Z_f = 3,54 + j 0,00 \Omega / Z_g = 0 \Omega$ |
| IV. a)  | ABC           | LT3   | 50 km (33,33%) da barra 3  | $Z_f = 1 + j 0,00 \Omega / Z_g = 0 \Omega$    |
| IV. b)  | ABC           | LT1   | 150 km (100%) da barra 1   | $Z_f = 8,66 + j 0,00 \Omega / Z_g = 0 \Omega$ |

Fonte: Autoria própria.

Para que a exposição e análise dos resultados não se torne demasiadamente longa, apenas o caso (I a) será abordado em detalhes, os demais serão apresentados na Tabela 27. Logo após, será realizada uma análise geral do desempenho dos relés e esquemas de teleproteção utilizados.

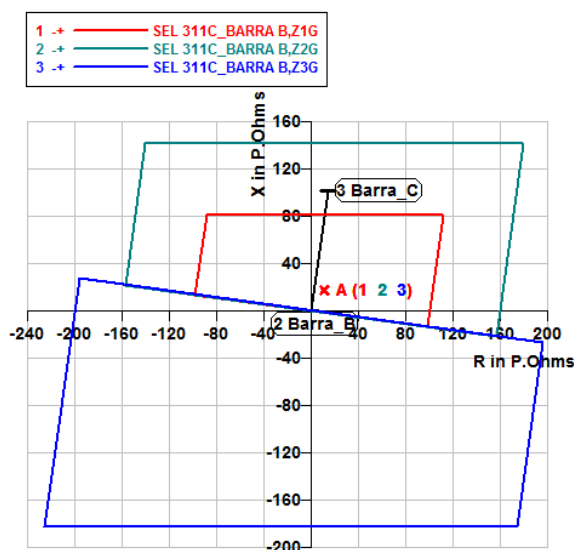
## 5.1 Caso Ia – Sem teleproteção

### 5.1.1 Módulo Coordination Graphics:

5.1.1.1 Relé SEL 311C localizado na barra B (Figura 19 e Tabela 14):

- i) A impedância aparente de falta “x A (1 2 3)”  $20,49/55,79^\circ \Omega$  é identificada pela função de distância do relé;
- ii) A 1ª zona de terra (quadrilátero vermelho) é sensibilizada pela falta e opera em 0,017 s;
- iii) Caso a atuação em 1ª zona falhe, a 2ª zona de terra (quadrilátero verde), também sensibilizada pela falta, opera em 0,417 s;
- iv) A 3ª zona (quadrilátero azul) não é sensibilizada, pois foi configurada no sentido reverso.

Figura 19 - Caso Ia – Sem teleproteção: Diagrama R-X da característica quadrilateral na perspectiva do relé SEL 311C instalado na barra B.



Fonte: Autoria própria.

Tabela 14 - Informações contidas no relatório da falta. Caso Ia – Sem teleproteção: Diagrama R-X da característica quadrilateral na perspectiva do relé SEL 311C instalado na barra B.

| Curva | Impedância aparente ( $\Omega$ ) | Tempo de operação (s) |
|-------|----------------------------------|-----------------------|
| 1     | $20,49/55,79^\circ$              | 0,024                 |
| 2     | $20,49/55,79^\circ$              | 0,424                 |
| 3     | $20,49/55,79^\circ$              | INFINITO              |

Fonte: Autoria própria.

5.1.1.2 Relé SEL 311C localizado na barra C (Figura 20 e Tabela 15):

- i) A impedância aparente de falta “x A (1 2 3)” de  $87,72/75,01^\circ \Omega$  é identificada pela função de distância do relé;
- ii) A falta não sensibiliza a 1ª zona de terra, visto que sua localização está fora do alcance de 80% da linha de transmissão.
- iii) A 2ª zona de terra (quadrilátero verde) é sensibilizada e sua operação é em 0,417 s;
- iv) A 3ª zona de terra (quadrilátero azul) não é sensibilizada, pois foi configurada no sentido reverso.

Figura 20 - Caso Ia – Sem teleproteção: Diagrama R-X da característica quadrilateral na perspectiva do relé SEL 311C instalado na barra C.

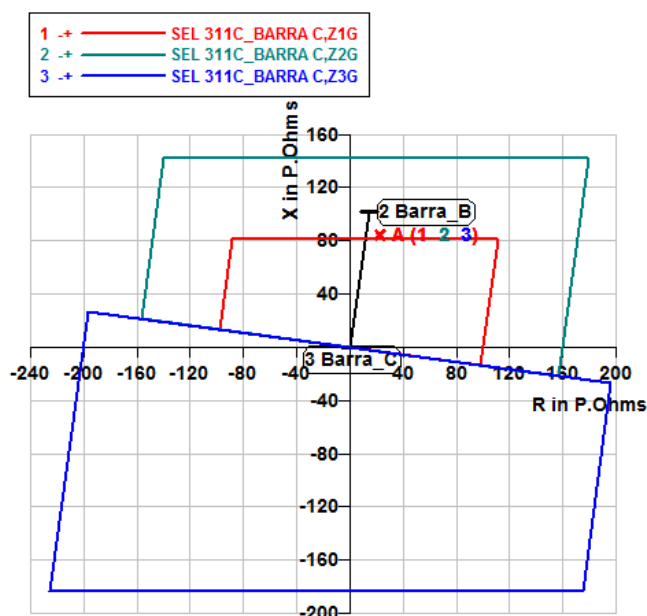


Tabela 15 - Informações contidas no relatório da falta. Caso Ia – Sem teleproteção: Diagrama R-X da característica quadrilateral na perspectiva do relé SEL 311C instalado na barra C.

| Curva | Impedância aparente ( $\Omega$ ) | Tempo de operação (s) |
|-------|----------------------------------|-----------------------|
| 1     | $87,72/75,01^\circ$              | INFINITO              |
| 2     | $87,72/75,01^\circ$              | 0,424                 |
| 3     | $87,72/75,01^\circ$              | INFINITO              |

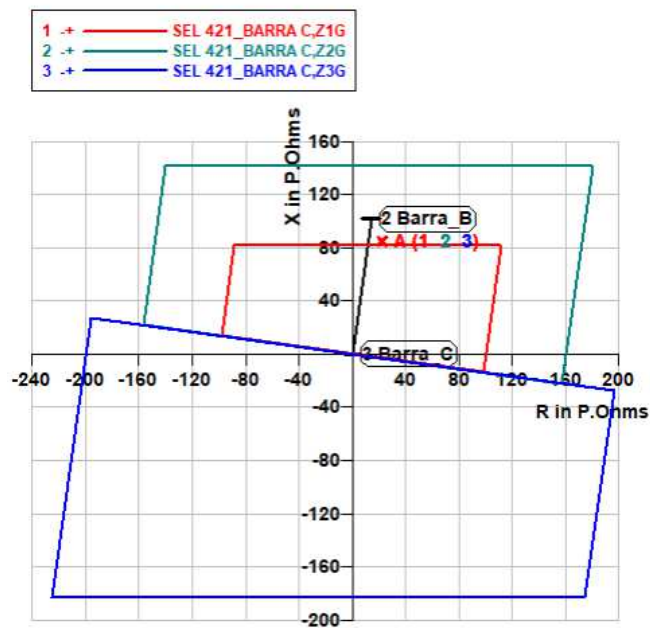
Fonte: Autoria própria.

5.1.1.3 Relé SEL 421 localizado na barra C (Figura 21 e Tabela 16):

- i) A impedância aparente de falta “x A (1 2 3)” de  $87,72/75,01^\circ \Omega$  é identificada pela função de distância do relé;

- ii) A falta não sensibiliza a 1ª zona de terra, visto que sua localização está fora do alcance de 80% da linha de transmissão.
- iii) A 2ª zona de terra (quadrilátero verde) é sensibilizada e sua operação é em 0,417 s;
- iv) A 3ª zona de terra (quadrilátero azul) não é sensibilizada, pois foi configurada no sentido reverso.

**Figura 21 - Caso Ia – Sem teleproteção: Diagrama R-X da característica quadrilateral na perspectiva do relé SEL 421C instalado na barra C.**



Fonte: Autoria própria.

**Tabela 16 - Informações contidas no relatório da falta. Caso Ia – Sem teleproteção: Diagrama R-X da característica quadrilateral na perspectiva do relé SEL 421C instalado na barra C.**

| Curva | Impedância aparente ( $\Omega$ ) | Tempo de operação (s) |
|-------|----------------------------------|-----------------------|
| 1     | $87,72/75,01^\circ$              | INFINITO              |
| 2     | $87,72/75,01^\circ$              | 0,424                 |
| 3     | $87,72/75,01^\circ$              | INFINITO              |

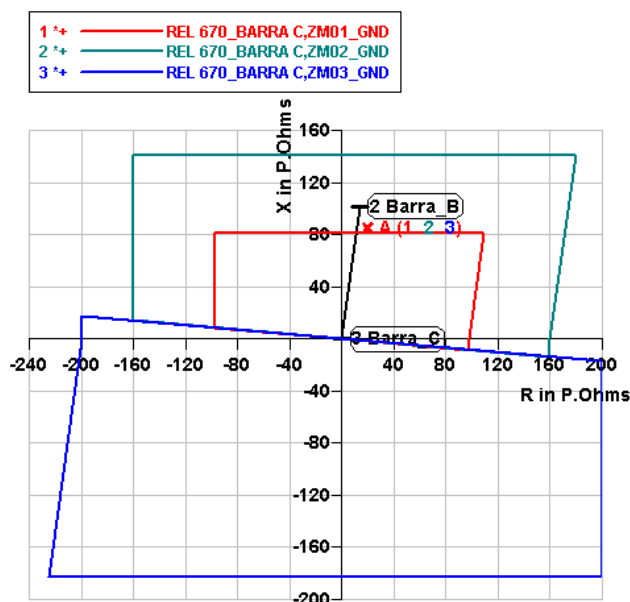
Fonte: Autoria própria.

#### 5.1.1.4 Relé REL 670 localizado na barra C (Figura 22 e Tabela 17):

- i) A impedância aparente de falta “x A (1 2 3)” de  $87,26/76,75^\circ \Omega$  é identificada pela função de distância do relé;
- ii) A falta não sensibiliza a 1ª zona de terra, visto que sua localização está fora do alcance de 80% da linha de transmissão.

- iii) A 2ª zona de terra (quadrilátero verde) é sensibilizada e sua operação é em 0,417 s;
- iv) A 3ª zona de terra (quadrilátero azul) não é sensibilizada, pois foi configurada no sentido reverso.

Figura 22 - Caso Ia – Sem teleproteção: Diagrama R-X da característica quadrilateral na perspectiva do relé REL 670 instalado na barra C.



Fonte: Autoria própria.

Tabela 17 - Informações contidas no relatório da falta. Caso Ia – Sem teleproteção: Diagrama R-X da característica quadrilateral na perspectiva do relé REL 670 instalado na barra C.

| Curva | Impedância aparente ( $\Omega$ ) | Tempo de operação (s) |
|-------|----------------------------------|-----------------------|
| 1     | 87,26/76,75°                     | INFINITO              |
| 2     | 87,26/76,75°                     | 0,417                 |
| 3     | 87,26/76,75°                     | INFINITO              |

Fonte: Autoria própria.

Mediante os diagramas R-X ilustrados nas Figuras 19, 20, 21 e 22, é possível visualizar claramente que as três zonas de proteção (quadriláteros) utilizadas pela função de distância de terra dos relés SEL 311C, SEL 421 e REL 670, estão funcionando corretamente, tanto em relação ao alcance quanto a direcionalidade (para frente ou reversa).

Nas Tabelas 14, 15, 16 e 17, pode-se observar que os relés identificam a impedância aparente de falta corretamente, visto que nas três zonas, o valor apresentado é o mesmo, mas apenas as zonas que alcançam o ponto da falta, foram sensibilizadas. Percebe-se ainda, que a



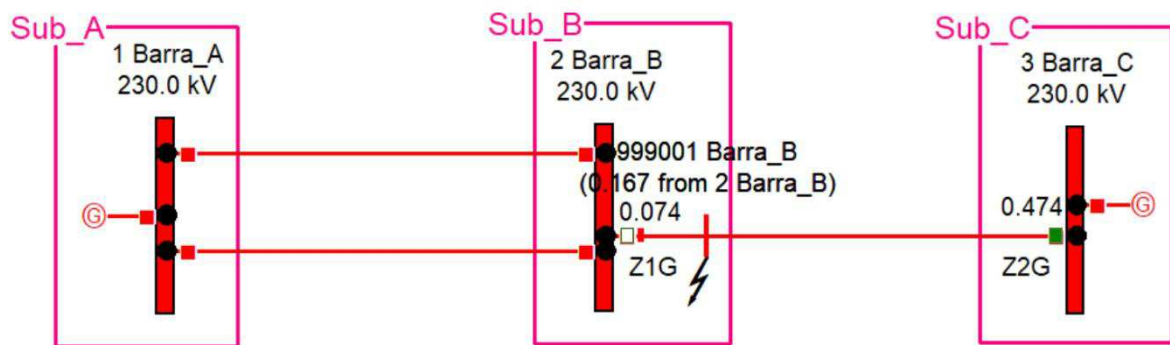
impedância aparente indicada pelo relé REL 670 não é a mesma indicada pelos relés SEL 311C e SEL 421, visto que as configurações do relé REL 670 são bem diferentes dos relés da SEL.

### 5.1.2 Módulo *System Simulator*:

#### 5.1.2.1 Relés SEL 311C localizados nas barras B e C (Figura 23 e Tabela 18):

- i) O elemento de distância de terra de 1ª zona (Z1G) do relé da barra B, ativa a temporização da Proteção de Zona Local (LZOP) que opera em 0,024 s, enviando em seguida o sinal de *trip* para o disjuntor da barra correspondente, o que resulta na abertura em 0,074 s;
- ii) O elemento de distância de terra de 2ª zona (Z2G) do relé da barra C, ativa a temporização da Proteção de Zona Local (LZOP) que opera em 0,424 s, enviando em seguida o sinal de *trip* para o disjuntor da barra correspondente, o que resulta na abertura em 0,474 s;
- iii) A extinção completa da falta não ocorre, visto que a falta não é eliminada em ambos os terminais instantaneamente.

**Figura 23 - Caso Ia –Perspectiva dos relés SEL 311C instalados nas barras B e C- sem teleproteção: Diagrama unifilar.**



Fonte: Autoria própria.

**Tabela 18 - Informações contidas no relatório da falta. Caso Ia –Perspectiva dos relés SEL 311C instalados nas barras B e C- sem teleproteção.**

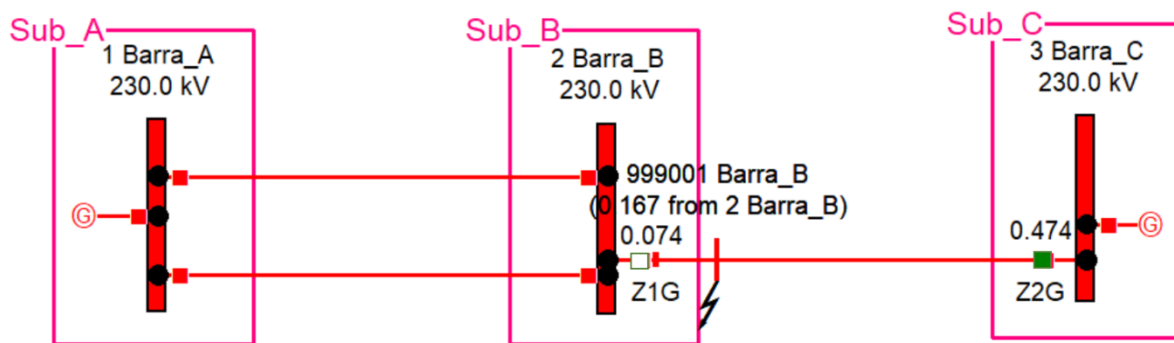
| Subestação | Lzop    | Elemento | Tempo da Lzop (s) | Tempo do disjuntor (s) | Tempo total (s) |
|------------|---------|----------|-------------------|------------------------|-----------------|
| Sub_B      | Barra B | Z1G      | 0,024             | 0,050                  | 0,074           |
| Sub_C      | Barra C | Z2G      | 0,424             | 0,050                  | 0,474           |

Fonte: Autoria própria.

5.1.2.2 Relé SEL 311C localizado na barra B e SEL 421 na barra C (Figura 24 e Tabela 19):

- i) O elemento de distância de terra de 1ª zona (Z1G) do relé da barra B, ativa a temporização da Proteção de Zona Local (LZOP) que opera em 0,024 s, enviando em seguida o sinal de *trip* para o disjuntor da barra correspondente, o que resulta na abertura em 0,074 s;
- ii) O elemento de distância de terra de 2ª zona (Z2G) do relé da barra C, ativa a temporização da Proteção de Zona Local (LZOP) que opera em 0,424 s, enviando em seguida o sinal de *trip* para o disjuntor da barra correspondente, o que resulta na abertura em 0,474 s;
- iii) A extinção completa da falta não ocorre, visto que a falta não é eliminada em ambos os terminais instantaneamente.

Figura 24 - Caso Ia –Perspectiva do relé SEL 311C instalado na barra B e SEL 421 instalado na barra C- sem teleproteção: Diagrama unifilar.



Fonte: Autoria própria.

Tabela 19 - Informações contidas no relatório da falta. Caso Ia –Perspectiva do relé SEL 311C instalado na barra B e SEL 421 instalado na barra C- sem teleproteção.

| Subestação | Lzop    | Elemento | Tempo da Lzop (s) | Tempo do disjuntor (s) | Tempo total (s) |
|------------|---------|----------|-------------------|------------------------|-----------------|
| Sub_B      | Barra B | Z1G      | 0,024             | 0,050                  | 0,074           |
| Sub_C      | Barra C | Z2G      | 0,424             | 0,050                  | 0,474           |

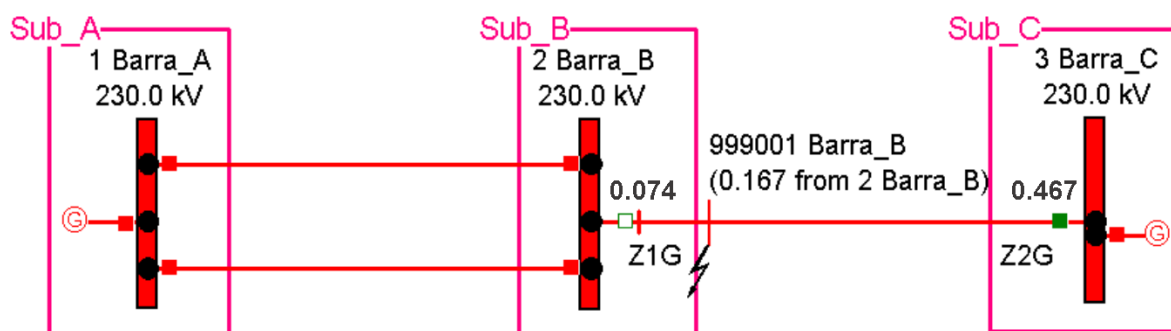
Fonte: Autoria própria.

5.1.2.3 Relé SEL 311C localizado na barra B e REL 670 na barra C (Figura 25 e Tabela 20):

- i) O elemento de distância de terra de 1ª zona (Z1G) do relé da barra B, ativa a temporização da Proteção de Zona Local (LZOP) que opera em 0,023 s, enviando em

- seguida o sinal de *trip* para o disjuntor da barra correspondente, o que resulta na abertura em 0,073 s;
- ii) O elemento de distância de terra de 2ª zona (Z2G) do relé da barra C, ativa a temporização da Proteção de Zona Local (LZOP) que opera em 0,417 s, enviando em seguida o sinal de *trip* para o disjuntor da barra correspondente, o que resulta na abertura em 0,467 s;
- iii) A extinção completa da falta não ocorre, visto que a falta não é eliminada em ambos os terminais instantaneamente.

**Figura 25 - Caso Ia –Perspectiva do relé SEL 311C instalado na barra B e REL 670 instalado na barra C- sem teleproteção: Diagrama unifilar.**



Fonte: Autoria própria.

**Tabela 20 - Informações contidas no relatório da falta. Caso Ia –Perspectiva do relé SEL 311C instalado na barra B e REL 670 instalado na barra C- sem teleproteção.**

| Subestação | Lzop    | Elemento | Tempo da Lzop (s) | Tempo do disjuntor (s) | Tempo total (s) |
|------------|---------|----------|-------------------|------------------------|-----------------|
| Sub_B      | Barra B | Z1G      | 0,024             | 0,050                  | 0,074           |
| Sub_C      | Barra C | Z2G      | 0,417             | 0,050                  | 0,467           |

Fonte: Autoria própria.

Observa-se nas Figuras 23, 24 e 25, que a falta localiza-se nos 20% da linha de transmissão protegidos pela 2ª zona do relé localizado na barra C, que possui um atraso na atuação da ordem de 400ms. Logo, percebe-se a necessidade de um esquema de teleproteção, visando acelerar o processo de tomada de decisão do relé na eliminação de faltas. Além disso, nas Tabelas 18, 19 e 20, são fornecidos os valores detalhados dos tempos de atuação das proteções de zona local (0 ms para 1ª zona, 400 ms para 2ª zona e 1000 ms para 3ª zona), dos disjuntores (50 ms) e o tempo total (proteção local + disjuntores + canal de transmissão), que é apresentado no diagrama unifilar, permitindo que haja um melhor entendimento do

funcionamento da proteção como um todo. Percebe-se ainda, que o relé REL 670 apresenta-se um pouco mais rápido que os demais, mostrando-se mais eficiente para o caso analisado.

## 5.2 Caso Ia - Com teleproteção POTT

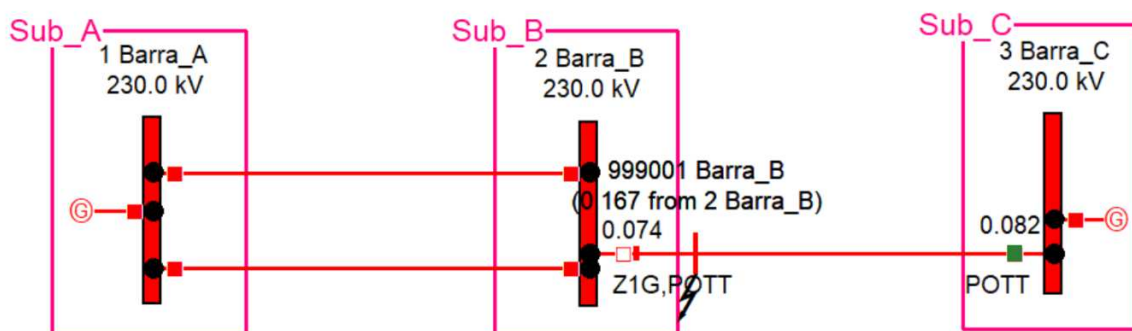
Com o esquema de teleproteção, a sensibilização das zonas não se modifica, de modo que a localização da falta no módulo *Coordination Graphics* é exatamente igual ao sistema sem teleproteção. Os esquemas de teleproteção contudo, fazem com que os relés localizados nos terminais da LT protegida acelerem a eliminação de faltas. Neste caso, a visualização só é possível no módulo *System Simulator*.

### 5.2.1 Módulo *System Simulator*:

5.2.1.1 Relés SEL 311C localizados nas barras B e C (Figura 26 e Tabela 21):

- i) O elemento de distância de terra de 1ª zona (Z1G) do relé da barra B, ativa a temporização da Proteção de Zona Local (LZOP) que opera em 0,024 s, enviando o sinal de *trip* para o disjuntor da mesma barra, o que provoca sua abertura em 0,074 s;
- ii) O elemento de 2ª zona de terra (Z2G) da barra B é sensibilizado, enviando um sinal de disparo permissivo (POTT) para o relé da barra C, o sinal recebido no terminal remoto, primeiro é supervisionado pela unidade de medida local (Z2G) antes de atuar no circuito de comando do disjuntor, que opera em 0,082 s.
- iii) O sinal de disparo permissivo (POTT) é enviado para barra B, visto que o elemento de 2ª zona de terra (Z2G) da barra C também é sensibilizado. Porém, o circuito de comando do disjuntor já havia atuado.

Figura 26 - Caso Ia – Perspectiva dos relés SEL 311C instalados nas barras B e C - com teleproteção POTT: Diagrama unifilar.



Fonte: Autoria própria.

**Tabela 21 - Informações contidas no relatório da falta. Perspectiva dos relés SEL 311C instalados nas barras B e C - com teleproteção POTT.**

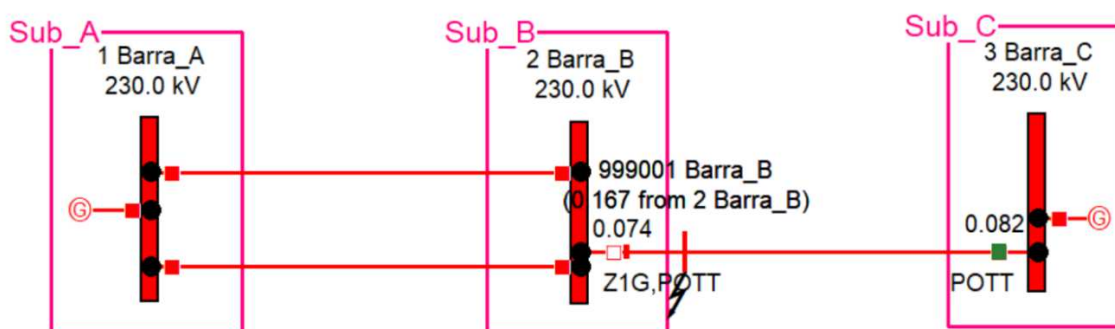
| Subestação | Lzop    | Elemento | Tempo da Lzop (s) | Tempo do disjuntor (s) | Tempo total (s) |
|------------|---------|----------|-------------------|------------------------|-----------------|
| Sub_B      | Barra B | Z1G/POTT | 0,024             | 0,050                  | 0,074           |
| Sub_C      | Barra C | POTT     | 0,032             | 0,050                  | 0,082           |

Fonte: Autoria própria.

5.2.1.2 Relé SEL 311C localizado na barra B e SEL 421 na barra C (Figura 27 e Tabela 22):

- i) O elemento de distância de terra de 1ª zona (Z1G) do relé da barra B, ativa a temporização da Proteção de Zona Local (LZOP) que opera em 0,024 s, enviando o sinal de *trip* para o disjuntor da mesma barra, o que provoca sua abertura em 0,074 s;
- ii) O elemento de 2ª zona de terra (Z2G) da barra B é sensibilizado, enviando um sinal de disparo permissivo (POTT) para o relé da barra C, o sinal recebido no terminal remoto, primeiro é supervisionado pela unidade de medida local (Z2G) antes de atuar no circuito de comando do disjuntor, que opera em 0,082 s.
- iii) O sinal de disparo permissivo (POTT) é enviado para barra B, visto que o elemento de 2ª zona de terra (Z2G) da barra C também é sensibilizado. Porém, o circuito de comando do disjuntor já havia atuado.

**Figura 27 - Caso Ia – Perspectiva do relé SEL 311C instalado na barra B e SEL 421 na barra C - com teleproteção POTT: Diagrama unifilar.**



Fonte: Autoria própria.

**Tabela 22 - Informações contidas no relatório da falta. Perspectiva do relé SEL 311C instalado na barra B e SEL 421 na barra C - com teleproteção POTT.**

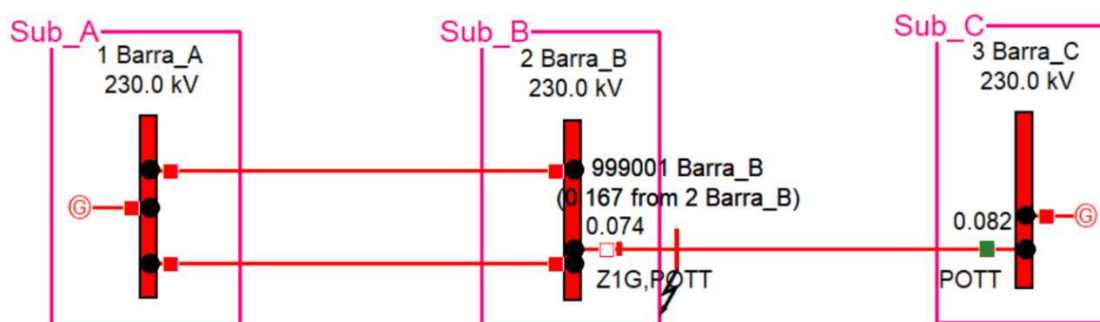
| Subestação | Lzop    | Elemento | Tempo da Lzop (s) | Tempo do disjuntor (s) | Tempo total (s) |
|------------|---------|----------|-------------------|------------------------|-----------------|
| Sub_B      | Barra B | Z1G/POTT | 0,024             | 0,050                  | 0,074           |
| Sub_C      | Barra C | POTT     | 0,032             | 0,050                  | 0,082           |

Fonte: Autoria própria.

5.2.1.3 Relé SEL 311C localizado na barra B e REL 670 na barra C (Figura 28 e Tabela 23):

- i) O elemento de distância de terra de 1ª zona (Z1G) do relé da barra B, ativa a temporização da Proteção de Zona Local (LZOP) que opera em 0,023 s, enviando o sinal de *trip* para o disjuntor da mesma barra, o que provoca sua abertura em 0,073 s;
- ii) O elemento de 2ª zona de terra (Z2G) da barra B é sensibilizado, enviando um sinal de disparo permissivo (POTT) para o relé da barra C, o sinal recebido no terminal remoto, primeiro é supervisionado pela unidade de medida local (Z2G) antes de atuar no circuito de comando do disjuntor, que opera em 0,082 s.
- iii) O sinal de disparo permissivo (POTT) é enviado para barra B, visto que o elemento de 2ª zona de terra (Z2G) da barra C também é sensibilizado. Porém, o circuito de comando do disjuntor já havia atuado.

**Figura 28 - Caso Ia – Perspectiva do relé SEL 311C instalado na barra B e REL 670 na barra C - com teleproteção POTT: Diagrama unifilar.**



Fonte: Autoria própria.

**Tabela 23 - Informações contidas no relatório da falta. Caso Ia – Perspectiva do relé SEL 311C instalado na barra B e REL 670 na barra C - com teleproteção POTT.**

| Subestação | Lzop    | Elemento | Tempo da Lzop (s) | Tempo do disjuntor (s) | Tempo total (s) |
|------------|---------|----------|-------------------|------------------------|-----------------|
| Sub_B      | Barra B | Z1G/POTT | 0,024             | 0,050                  | 0,074           |
| Sub_C      | Barra C | POTT     | 0,032             | 0,050                  | 0,082           |

Fonte: Autoria própria.

Conforme mostrado nas Figuras 26, 27 e 28, a inserção do esquema de teleproteção POTT acelerou o processo de tomada de decisão dos relés na eliminação da falta. Essa informação pode ser comprovada comparando-se os valores obtidos nas Tabelas 21, 22 e 23, com o esquema de teleproteção POTT, com os valores obtidos nas Tabelas 18, 19 e 20, sem teleproteção, onde percebe-se uma redução de 82,70% no tempo total de atuação para os relés SEL 311C e 421, e de 82,44% para o relé REL 670.

## 5.3 Caso Ia - Com teleproteção DCB

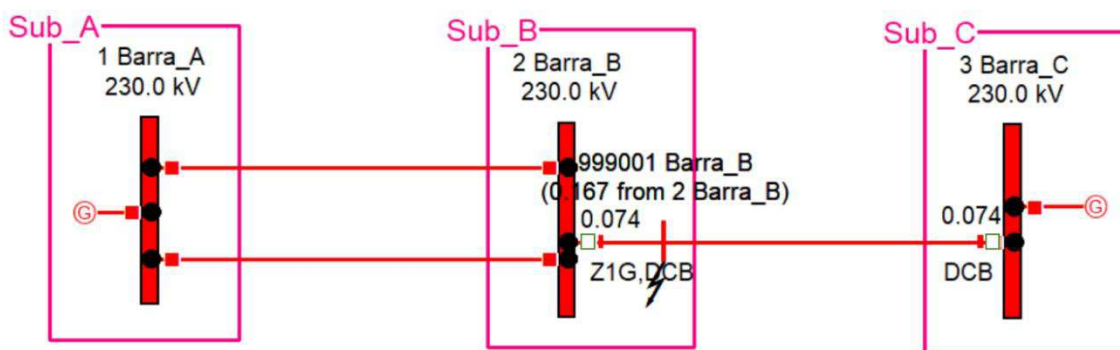
Com o esquema de teleproteção, a sensibilização das zonas não se modifica, de modo que a localização da falta no módulo *Coordination Graphics* é exatamente igual ao sistema sem teleproteção. Os esquemas de teleproteção contudo, fazem com que os relés localizados nos terminais da LT protegida acelerem a eliminação de faltas. Neste caso, a visualização só é possível no módulo *System Simulator*.

### 5.3.1 Módulo *System Simulator*:

#### 5.3.1.1 Relés SEL 311C localizados nas barras B e C (Figura 29 e Tabela 24):

- i) O elemento de distância de terra de 1ª zona (Z1G) do relé da barra B, ativa a temporização da Proteção de Zona Local (LZOP) que opera em 0,024 s, enviando o sinal de *trip* para o disjuntor da mesma barra, o que provoca sua abertura em 0,074 s;
- ii) O elemento de 2ª zona de terra (Z2G) da barra C é sensibilizado e acelerado, visto que o tempo de coordenação é menor que o tempo de ajuste da 2ª zona. Como a falta ocorreu dentro da linha protegida (LT3), o relé não recebe um sinal de bloqueio proveniente da unidade de sobrealcance de 3ª zona do relé da barra B. Dessa forma, a abertura do disjuntor ocorre em 0,074 s.
- iii) O elemento de 2ª zona de terra (Z2G) da barra B é sensibilizado e acelerado, visto que o tempo de coordenação é menor que o tempo de ajuste da 2ª zona. Como a falta ocorreu dentro da linha protegida (LT3), o relé não recebe um sinal de bloqueio proveniente da unidade de sobrealcance de 3ª zona do relé da barra B. O comando para abertura do relé já havia sido enviado pela 1ª zona de terra do mesmo relé.

Figura 29 - Caso Ia – Perspectiva dos relés SEL 311C instalados nas barras B e C - com teleproteção DCB: Diagrama unifilar.



Fonte: Autoria própria.

**Tabela 24 - Informações contidas no relatório da falta. Caso Ia – Perspectiva dos relés SEL 311C instalados nas barras B e C - com teleproteção DCB.**

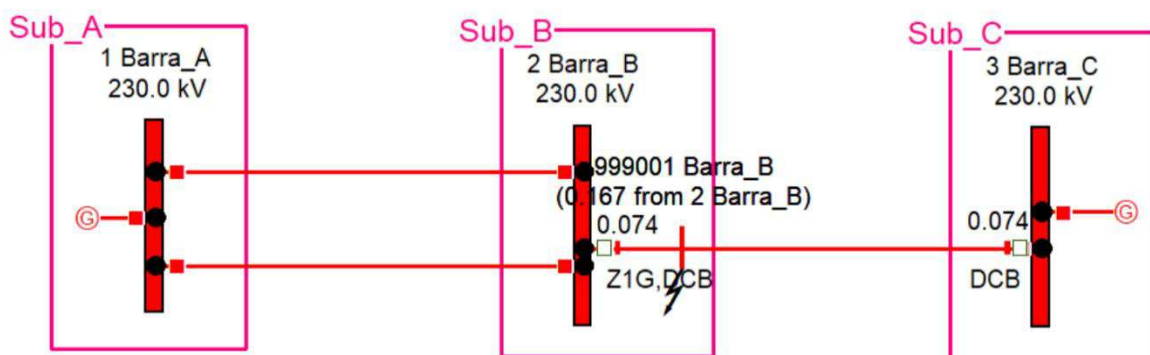
| Subestação | Lzop    | Elemento | Tempo da Lzop (s) | Tempo do disjuntor (s) | Tempo total (s) |
|------------|---------|----------|-------------------|------------------------|-----------------|
| Sub_B      | Barra B | Z1G/DCB  | 0,024             | 0,050                  | 0,074           |
| Sub_C      | Barra C | DCB      | 0,024             | 0,050                  | 0,074           |

Fonte: Autoria própria.

5.3.1.2 Relé SEL 311C localizado na barra B e SEL 421 na barra C (Figura 30 e Tabela 25):

- i) O elemento de distância de terra de 1ª zona (Z1G) do relé da barra B, ativa a temporização da Proteção de Zona Local (LZOP) que opera em 0,024 s, enviando o sinal de *trip* para o disjuntor da mesma barra, o que provoca sua abertura em 0,074 s;
- ii) O elemento de 2ª zona de terra (Z2G) da barra C é sensibilizado e acelerado, visto que o tempo de coordenação é menor que o tempo de ajuste da 2ª zona. Como a falta ocorreu dentro da linha protegida (LT3), o relé não recebe um sinal de bloqueio proveniente da unidade de sobrealcance de 3ª zona do relé da barra B. Dessa forma, a abertura do disjuntor ocorre em 0,074 s.
- iii) O elemento de 2ª zona de terra (Z2G) da barra B é sensibilizado e acelerado, visto que o tempo de coordenação é menor que o tempo de ajuste da 2ª zona. Como a falta ocorreu dentro da linha protegida (LT3), o relé não recebe um sinal de bloqueio proveniente da unidade de sobrealcance de 3ª zona do relé da barra B. O comando para abertura do relé já havia sido enviado pela 1ª zona de terra do mesmo relé.

**Figura 30 - Caso Ia – Perspectiva dos relés SEL 311C instalado na barra B e SEL 421 na barra C - com teleproteção DCB: Diagrama unifilar.**



Fonte: Autoria própria.



Tabela 25 - Informações contidas no relatório da falta. Caso Ia – Perspectiva dos relés SEL 311C instalado na barra B e SEL 421 na barra C - com teleproteção DCB.

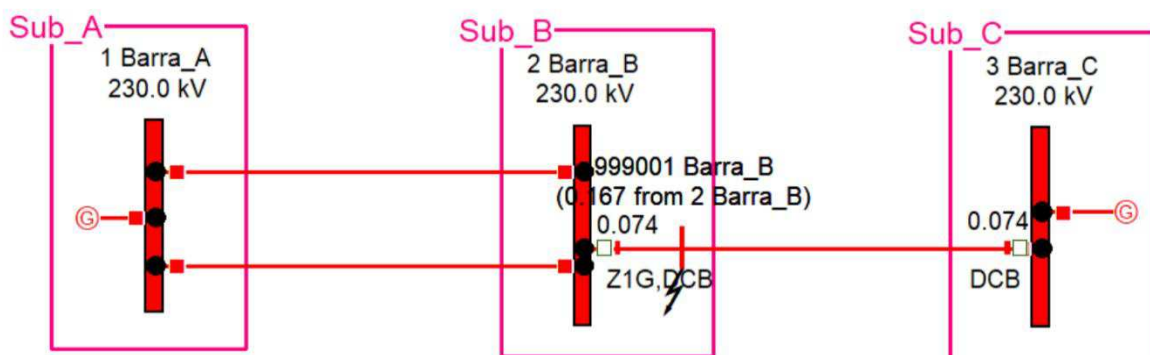
| Subestação | Lzop    | Elemento | Tempo da Lzop (s) | Tempo do disjuntor (s) | Tempo total (s) |
|------------|---------|----------|-------------------|------------------------|-----------------|
| Sub_B      | Barra B | Z1G/DCB  | 0,024             | 0,050                  | 0,074           |
| Sub_C      | Barra C | DCB      | 0,024             | 0,050                  | 0,074           |

Fonte: Autoria própria.

5.3.1.3 Relé SEL 311C localizado na barra B e REL 670 na barra C (Figura 31 e Tabela 26):

- i) O elemento de distância de terra de 1ª zona (Z1G) do relé da barra B, ativa a temporização da Proteção de Zona Local (LZOP) que opera em 0,024 s, enviando o sinal de *trip* para o disjuntor da mesma barra, o que provoca sua abertura em 0,074 s;
- ii) O elemento de 2ª zona de terra (Z2G) da barra C é sensibilizado e acelerado, visto que o tempo de coordenação é menor que o tempo de ajuste da 2ª zona. Como a falta ocorreu dentro da linha protegida (LT3), o relé não recebe um sinal de bloqueio proveniente da unidade de sobrealcance de 3ª zona do relé da barra B. Dessa forma, a abertura do disjuntor ocorre em 0,074 s.
- iii) O elemento de 2ª zona de terra (Z2G) da barra B é sensibilizado e acelerado, visto que o tempo de coordenação é menor que o tempo de ajuste da 2ª zona. Como a falta ocorreu dentro da linha protegida (LT3), o relé não recebe um sinal de bloqueio proveniente da unidade de sobrealcance de 3ª zona do relé da barra B. O comando para abertura do relé já havia sido enviado pela 1ª zona de terra do mesmo relé.

Figura 31 - Caso Ia – Perspectiva dos relés SEL 311C instalado na barra B e REL 670 na barra C - com teleproteção DCB: Diagrama unifilar.



Fonte: Autoria própria.

**Tabela 26 - Informações contidas no relatório da falta. Caso Ia – Perspectiva dos relés SEL 311C instalado na barra B e REL 670 na barra C - com teleproteção DCB.**

| <b>Subestação</b> | <b>Lzop</b> | <b>Elemento</b> | <b>Tempo da Lzop (s)</b> | <b>Tempo do disjuntor (s)</b> | <b>Tempo total (s)</b> |
|-------------------|-------------|-----------------|--------------------------|-------------------------------|------------------------|
| <b>Sub_B</b>      | Barra B     | Z1G/DCB         | 0,024                    | 0,050                         | 0,074                  |
| <b>Sub_C</b>      | Barra C     | DCB             | 0,024                    | 0,050                         | 0,074                  |

Fonte: Autoria própria.

Mediante os resultados obtidos, observa-se claramente que com a inserção do esquema de teleproteção DCB, o tempo de atuação da proteção da zona local foi reduzido consideravelmente, tornando a operação dos disjuntores simultânea.

Comparando-se as Tabelas 18, 19 e 20, referentes as informações do relatório de falta para o sistema com teleproteção DCB, com as Tabelas 15, 16 e 17, referentes ao sistema com teleproteção POTT, é possível observar uma redução no tempo de operação da proteção de zona local de cerca de 9,75%. Já, quando o sistema com teleproteção DCB é comparado com o sistema sem teleproteção, foram obtidas reduções no tempo de operação da proteção de zona local de 84,39% e 84,15%, alusivos aos relés SEL 311C e SEL 421, e REL 670, respectivamente.

## 5.4 Análise geral dos casos – sem teleproteção, com teleproteção POTT ou DCB

Tabela 27 - Análises das faltas localizadas nas linhas LT1 e LT3 do sistema-teste, com relés SEL 311C, SEL421 e REL 670, sem e com teleproteção POTT ou DCB.

| Casos | Relés                                 | Sem Teleproteção (ST) |      |                |      | POTT           |              |                |      | DCB            |             |                |      |
|-------|---------------------------------------|-----------------------|------|----------------|------|----------------|--------------|----------------|------|----------------|-------------|----------------|------|
|       |                                       | Sub_B                 |      | Sub_C          |      | Sub_B          |              | Sub_C          |      | Sub_B          |             | Sub_C          |      |
|       |                                       | Tempo LZOP (s)        | Zona | Tempo LZOP (s) | Zona | Tempo LZOP (s) | Zona         | Tempo LZOP (s) | Zona | Tempo LZOP (s) | Zona        | Tempo LZOP (s) | Zona |
| I a)  | SEL311C (Barra B) / SEL311C (Barra C) | 0,024                 | Z1G  | 0,424          | Z2G  | 0,024          | Z1G/<br>POTT | 0,032          | POTT | 0,024          | Z1G/<br>DCB | 0,024          | DCB  |
|       | SEL311C (Barra B) / SEL421 (Barra C)  | 0,024                 | Z1G  | 0,424          | Z2G  | 0,024          | Z1G/<br>POTT | 0,032          | POTT | 0,024          | Z1G/<br>DCB | 0,024          | DCB  |
|       | SEL311C (Barra B) / REL670 (Barra C)  | 0,024                 | Z1G  | 0,417          | Z2G  | 0,024          | Z1G/<br>POTT | 0,032          | POTT | 0,024          | Z1G/<br>DCB | 0,024          | DCB  |

**Tabela 27 - Análises das faltas localizadas nas linhas LT1 e LT3 do sistema-teste, com relés SEL 311C, SEL421 e REL 670, sem e com teleproteção POTT ou DCB (continuação).**

| Casos        | Relés                                 | Sem Teleproteção (ST) |      |                |      | POTT           |              |                |      | DCB            |             |                |      |
|--------------|---------------------------------------|-----------------------|------|----------------|------|----------------|--------------|----------------|------|----------------|-------------|----------------|------|
|              |                                       | Sub_B                 |      | Sub_C          |      | Sub_B          |              | Sub_C          |      | Sub_B          |             | Sub_C          |      |
|              |                                       | Tempo LZOP (s)        | Zona | Tempo LZOP (s) | Zona | Tempo LZOP (s) | Zona         | Tempo LZOP (s) | Zona | Tempo LZOP (s) | Zona        | Tempo LZOP (s) | Zona |
| <b>I b)</b>  | SEL311C (Barra B) / SEL311C (Barra C) | 1,024                 | Z3G  | N-OP           | N-OP | 1,024          | Z3G          | N-OP           | N-OP | 1,024          | Z3G         | N-OP           | N-OP |
|              | SEL311C (Barra B) / SEL421 (Barra C)  | 1,024                 | Z3G  | N-OP           | N-OP | 1,024          | Z3G          | N-OP           | N-OP | 1,024          | Z3G         | N-OP           | N-OP |
|              | SEL311C (Barra B) / REL670 (Barra C)  | 1,024                 | Z3G  | N-OP           | N-OP | 1,024          | Z3G          | N-OP           | N-OP | 1,024          | Z3G         | N-OP           | N-OP |
| <b>II a)</b> | SEL311C (Barra B) / SEL311C (Barra C) | 0,021                 | Z1P  | 0,421          | Z2P  | 0,021          | Z1P/<br>POTT | 0,029          | POTT | 0,021          | Z1P/<br>DCB | 0,024          | DCB  |
|              | SEL311C (Barra B) / SEL421 (Barra C)  | 0,021                 | Z1P  | 0,420          | Z2P  | 0,021          | Z1P/<br>POTT | 0,029          | POTT | 0,021          | Z1P/<br>DCB | 0,024          | DCB  |
|              | SEL311C (Barra B) / REL670 (Barra C)  | 0,021                 | Z1P  | 0,417          | Z2P  | 0,021          | Z1P/<br>POTT | 0,028          | POTT | 0,021          | Z1P/<br>DCB | 0,024          | DCB  |

Tabela 27 - Análises das faltas localizadas nas linhas LT1 e LT3 do sistema-teste, com relés SEL 311C, SEL421 e REL 670, sem e com teleproteção POTT ou DCB (continuação).

| Casos  | Relés                                 | Sem Teleproteção (ST) |      |                |          | POTT           |      |                |            | DCB            |      |                |           |
|--------|---------------------------------------|-----------------------|------|----------------|----------|----------------|------|----------------|------------|----------------|------|----------------|-----------|
|        |                                       | Sub_B                 |      | Sub_C          |          | Sub_B          |      | Sub_C          |            | Sub_B          |      | Sub_C          |           |
|        |                                       | Tempo LZOP (s)        | Zona | Tempo LZOP (s) | Zona     | Tempo LZOP (s) | Zona | Tempo LZOP (s) | Zona       | Tempo LZOP (s) | Zona | Tempo LZOP (s) | Zona      |
| II b)  | SEL311C (Barra B) / SEL311C (Barra C) | 1,021                 | Z3P  | N-OP           | N-OP     | 1,021          | Z3P  | N-OP           | N-OP       | 1,021          | Z3P  | N-OP           | N-OP      |
|        | SEL 311C (Barra B) / SEL421 (Barra C) | 1,021                 | Z3P  | N-OP           | N-OP     | 1,021          | Z3P  | N-OP           | N-OP       | 1,021          | Z3P  | N-OP           | N-OP      |
|        | SEL 311C (Barra B) / REL670 (Barra C) | 1,021                 | Z3P  | N-OP           | N-OP     | 1,021          | Z3P  | N-OP           | N-OP       | 1,021          | Z3P  | N-OP           | N-OP      |
| III a) | SEL311C (Barra B) / SEL311C (Barra C) | 0,421                 | Z2P  | 0,021          | Z1P      | 0,029          | POTT | 0,021          | Z1P/ POTT  | 0,024          | DCB  | 0,021          | Z1P/ DCB  |
|        | SEL311C (Barra B) / SEL421 (Barra C)  | 0,421                 | Z2P  | 0,020          | Z1P      | 0,028          | POTT | 0,020          | Z1P/ POTT  | 0,024          | DCB  | 0,020          | Z1P/ DCB  |
|        | SEL311C (Barra B) / REL670 (Barra C)  | 0,421                 | Z2P  | 0,017          | Z1P/ Z1G | 0,025          | POTT | 0,017          | Z1PG/ POTT | 0,024          | DCB  | 0,017          | Z1PG/ DCB |

Tabela 27 - Análises das faltas localizadas nas linhas LT1 e LT3 do sistema-teste, com relés SEL 311C, SEL421 e REL 670, sem e com teleproteção POTT ou DCB (continuação).

| Casos  | Relés                                 | Sem Teleproteção (ST) |      |                |             | POTT           |              |                |              | DCB            |             |                |             |
|--------|---------------------------------------|-----------------------|------|----------------|-------------|----------------|--------------|----------------|--------------|----------------|-------------|----------------|-------------|
|        |                                       | Sub_B                 |      | Sub_C          |             | Sub_B          |              | Sub_C          |              | Sub_B          |             | Sub_C          |             |
|        |                                       | Tempo LZOP (s)        | Zona | Tempo LZOP (s) | Zona        | Tempo LZOP (s) | Zona         | Tempo LZOP (s) | Zona         | Tempo LZOP (s) | Zona        | Tempo LZOP (s) | Zona        |
| III b) | SEL311C (Barra B) / SEL311C (Barra C) | 1,021                 | Z3P  | 0,421          | Z2P         | 1,021          | Z3P          | 0,421          | Z2P          | 1,021          | Z3P         | 0,421          | Z2P         |
|        | SEL311C (Barra B) / SEL421 (Barra C)  | 1,021                 | Z3P  | 0,420          | Z2P         | 1,021          | Z3P          | 0,420          | Z2P          | 1,021          | Z3P         | 0,420          | Z2P         |
|        | SEL311C (Barra B) / REL670 (Barra C)  | 1,021                 | Z3P  | 0,417          | Z2P/<br>Z2G | 1,021          | Z3P          | 0,417          | Z2P/<br>Z2G  | 1,021          | Z3P         | 0,417          | Z2P/<br>Z2G |
| IV a)  | SEL311C (Barra B) / SEL311C (Barra C) | 0,021                 | Z1P  | 0,021          | Z1P         | 0,021          | Z1P/<br>POTT | 0,021          | Z1P/<br>POTT | 0,021          | Z1P/<br>DCB | 0,021          | Z1P/<br>DCB |
|        | SEL311C (Barra B) / SEL421 (Barra C)  | 0,021                 | Z1P  | 0,020          | Z1P         | 0,021          | Z1P/<br>POTT | 0,020          | Z1P/<br>POTT | 0,021          | Z1P/<br>DCB | 0,020          | Z1P/<br>DCB |
|        | SEL311C (Barra B) / REL670 (Barra C)  | 0,021                 | Z1P  | 0,017          | Z1P         | 0,021          | Z1P/<br>POTT | 0,017          | Z1P/<br>POTT | 0,021          | Z1P/<br>DCB | 0,017          | Z1P/<br>DCB |

Tabela 27 - Análises das faltas localizadas nas linhas LT1 e LT3 do sistema-teste, com relés SEL 311C, SEL421 e REL 670, sem e com teleproteção POTT ou DCB (continuação).

| Casos | Relés                                 | Sem Teleproteção (ST) |      |                |      | POTT           |      |                |      | DCB            |      |                |      |
|-------|---------------------------------------|-----------------------|------|----------------|------|----------------|------|----------------|------|----------------|------|----------------|------|
|       |                                       | Sub_B                 |      | Sub_C          |      | Sub_B          |      | Sub_C          |      | Sub_B          |      | Sub_C          |      |
|       |                                       | Tempo LZOP (s)        | Zona | Tempo LZOP (s) | Zona | Tempo LZOP (s) | Zona | Tempo LZOP (s) | Zona | Tempo LZOP (s) | Zona | Tempo LZOP (s) | Zona |
| IV b) | SEL311C (Barra B) / SEL311C (Barra C) | 1,021                 | Z3P  | 0,421          | Z2P  | 1,021          | Z3P  | 0,421          | Z2P  | 1,021          | Z3P  | 0,421          | Z2P  |
|       | SEL311C (Barra B) / SEL421 (Barra C)  | 1,021                 | Z3P  | 0,420          | Z2P  | 1,021          | Z3P  | 0,420          | Z2P  | 1,021          | Z3P  | 0,420          | Z2P  |
|       | SEL311C (Barra B) / REL670 (Barra C)  | 1,021                 | Z3P  | 0,417          | Z2P  | 1,021          | Z3P  | 0,417          | Z2P  | 1,021          | Z3P  | 0,417          | Z2P  |

### 5.4.1 Faltas localizadas na LT adjacente (LT1)

O sistema com e sem teleproteção se comportaram da mesma forma, visto que os esquemas de teleproteção visam proteger a LT na qual estão localizados e apenas ela.

#### 5.4.1.1 Caso I b)

Se a proteção da LT adjacente não atuar, o elemento de distância de 3ª zona de terra (Z3G) do relé localizado na barra B (SEL 311C), ativa a temporização da LZOP em 1,024 s, enviando o sinal de *trip* para o disjuntor localizado na mesma barra, resultando na abertura total de seus contatos em 1,074 s. No entanto, os relés localizados na barra C (SEL 421 ou REL 670) não operam, uma vez que a falta localiza-se fora do alcance da sua zona de atuação.

#### 5.4.1.2 Caso II b)

Se a proteção da LT adjacente não atuar, o elemento de distância de 3ª zona de fase (Z3P) do relé localizado na barra B (SEL 311C), ativa a temporização da LZOP em 1,021 s, enviando o sinal de *trip* para o disjuntor localizado na mesma barra, resultando na abertura total de seus contatos em 1,071 s. Por sua vez, os relés localizados na barra C (SEL 311C, SEL 421 ou REL 670) não operam, já que a falta foi aplicada fora da sua zona de alcance.

#### 5.4.1.3 Caso III b)

Caso a proteção da LT adjacente não atue, o elemento de distância de 2ª zona de fase (Z2P) do relé localizado na barra C, ativa a temporização da LZOP em 0,421 (SEL 311C), 0,420 (SEL 421) ou 0,417 s (REL 670), enviando o sinal de *trip* para o disjuntor localizado na mesma barra, resultando na abertura total de seus contatos em 0,471 s (SEL 311C), 0,470 s (SEL 421) ou 0,467 s (REL 670). Simultaneamente, o elemento de distância de 3ª zona de fase (Z3P) do relé localizado na barra B (SEL 311C), ativa a temporização da LZOP em 1,021 s, enviando o sinal de *trip* para o disjuntor localizado na mesma barra, resultando na abertura total de seus contatos em 1,071 s.

#### 5.4.1.4 Caso IV b)

Comportamento semelhante ao do Caso IIIb.



## **5.4.2 Faltas localizadas na LT protegida (LT3): Fora da área de intercessão das primeiras zonas dos relés localizados nas barras B e C.**

### 5.4.2.1 Caso I a)

No sistema sem teleproteção, o relé localizado na barra B (SEL 311C) identifica a falta por meio da sensibilização do elemento de 1ª zona de terra (Z1G), ativando a temporização da LZOP em 0,024 s que, por sua vez, envia o sinal de *trip* para o disjuntor, promovendo a abertura total em 0,074 s. Enquanto isso, o relé localizado na barra C detecta a falta por meio do elemento de distância de 2ª zona de terra (Z2G), ativando a temporização da LZOP em 0,424 (SEL 311C ou SEL 421) ou 0,417 s (REL 670) que, logo em seguida, envia o sinal de *trip* para o disjuntor localizado na mesma barra, resultando na abertura total de seus contatos em 0,474 (SEL 311C e SEL 421) ou 0,467 s (REL 670).

Com a inserção do esquema de teleproteção POTT a eliminação total da falta foi promovida com retardo de 0,008 s em relação ao relé SEL 311C localizado na barra B, já com o esquema de teleproteção DCB, o tempo de eliminação foi o mesmo para os relés de ambas as barras.

### 5.4.2.2 Caso II a)

No sistema sem teleproteção, o relé localizado na barra B (SEL 311C) identifica a falta por meio da sensibilização do elemento de 1ª zona de fase (Z1P), ativando a temporização da LZOP em 0,021 s que, por sua vez, envia o sinal de *trip* para o disjuntor, promovendo a abertura total em 0,071 s. Enquanto isso, o relé localizado na barra C detecta a falta por meio do elemento de distância de 2ª zona de fase (Z2P), ativando a temporização da LZOP em 0,421 (SEL 311C), 0,420 (SEL 421) ou 0,417 s (REL 670) que, logo em seguida, envia o sinal de *trip* para o disjuntor localizado na mesma barra, resultando na abertura total de seus contatos em 0,471 (SEL 311C), 0,470 (SEL 421) ou 0,467 s (REL 670).

Com a inserção do esquema de teleproteção POTT a eliminação total da falta foi promovida com retardo de 0,008 s (SEL 311C ou SEL 421) e 0,007 s (REL 670), todos em relação ao 311C na barra B. Já com o esquema de teleproteção DCB, os retardos foram de 0,003 s (SEL 311C, SEL 421 e REL 670), todos em relação ao 311C na barra B.

#### 5.4.2.3 Caso III a)

No sistema sem teleproteção, o relé localizado na barra B (SEL 311C) identifica a falta por meio da sensibilização do elemento de 2ª zona de fase (Z2P), ativando a temporização da LZOP em 0,421 s que, por sua vez, envia o sinal de *trip* para o disjuntor, promovendo a abertura total em 0,471 s. Enquanto isso, o relé localizado na barra C detecta a falta por meio do elemento de distância de 1ª zona de fase (Z1P), ativando a temporização da LZOP em 0,021 (SEL 311C), 0,020 (SEL 421) ou 0,017 s (REL 670) que, logo em seguida, envia o sinal de *trip* para o disjuntor localizado na mesma barra, resultando na abertura total de seus contatos em 0,071 (SEL 311C), 0,070 (SEL 421) ou 0,067 s (REL 670).

Com a inserção do esquema de teleproteção POTT a eliminação total da falta foi promovida com retardo de 0,008 s (SEL 311C, SEL 421 ou REL 670), todos em relação ao 311C na barra B. Já com o esquema de teleproteção DCB, os retardos foram de 0,003 s (SEL 311C), 0,004 s (SEL 421) e 0,007 s (REL 670), todos em relação ao 311C na barra B.

### **5.4.3 Faltas localizadas na LT protegida (LT3): Dentro da área de intercessão das primeiras zonas das barras B e C.**

#### 5.4.3.1 Caso VI a)

O sistema com e sem teleproteção comporta-se da mesma forma, visto que a falta foi identificada em primeira zona pelos relés localizados em ambos os terminais da LT, com eliminação total da falta promovida com retardos de 0,001 s (SEL 421), 0,004 s (REL 670) e 0,000 s (SEL 311C), todos em relação ao 311C na barra B.

## **5.5 Considerações Gerais**

Dos resultados dispostos nas Tabela 20, pode-se afirmar:

- i) Em todos os casos foi percebida a interoperabilidade dos relés de teleproteção;
- ii) Os tempos de operação obtidos com a utilização dos relés SEL 421 e REL 670, foram muito próximos ou exatamente iguais aos apresentados com relés SEL 311C nos dois terminais da linha. Isto posto, é possível concluir que para os casos avaliados, o relé SEL 311C alocado na barra C, poderia ser substituído pelo SEL 421 ou REL 670 sem maiores prejuízos ao sistema de proteção. Porém, é necessário identificar as características de cada relé, visto que a escolha por um ou outro equipamento parte de

um pré-requisito do sistema elétrico no qual o mesmo será utilizado. Dentre essas características, as funções de proteção são decisivas nessa escolha, visto que a diversidade de funções possibilita maior flexibilidade na utilização do equipamento, porém a relação custo-benefício também deve ser avaliada, visto que quanto maior o número de funções e tecnologia empregadas, maior o valor agregado.

- iii) O uso dos esquemas de teleproteção POTT e DCB possibilitaram a extinção total das faltas, com pequeno retardo ou o tempo de eliminação igual para os relés de ambas as barras, proporcionando maior eficiência ao sistema de proteção e evitando possíveis problemas de estabilidade;
- iv) Em 75% dos casos de faltas localizadas na linha protegida, o esquema DCB foi mais rápido que o POTT, promovendo a eliminação total da falta com pequeno retardo ou com tempo de eliminação igual para os relés de ambas as barras.
- v) Os 25% restantes referem-se ao caso IVa, em que a falta se localizou dentro da 1ª zona de ambos relés, promovendo a eliminação da falta em ambos os terminais da LT, com mesma temporização em sistemas com ou sem teleproteção. Portanto, o esquema DCB mostrou-se mais eficiente que o POTT.

As funções de proteção presentes nos relés SEL 311C, SEL 421 e REL ABB, são apresentadas na Tabela 28:

Tabela 28 - Funções de proteção dos relés SEL 311C, SEL 421 e REL 670.

| Função de proteção   | SEL 311C   | SEL 421  | REL 670  |
|--|--|--|--|
| <b>21 - Distância de fase</b>  | Quatro zonas tipo Mho                                  | Cinco zonas tipo Mho e cinco zonas tipo quadrilateral; | Cinco zonas tipo Mho e cinco zonas tipo quadrilateral; |
| <b>21G - Distância de neutro</b>   | Quatro zonas tipo Mho e quatro zonas tipo uadrilateral | Cinco zonas tipo Mho e cinco zonas tipo quadrilateral; | Cinco zonas tipo Mho e cinco zonas tipo quadrilateral; |
| <b>67G - Sobrecorrente direcional de neutro (polarizado por corrente e tensão)</b> | ✓  | ✓  | ✓  |
| <b>67Q - direcional de sequência negativa</b>                                      | ✓  | ✓  | ✓  |

Tabela 28 - Funções de proteção dos relés SEL 311C, SEL 421 e REL 670 (continuação).

| Função de proteção  | SEL 311C   | SEL 421 | REL 670   |
|---|--|---------|---|
| <b>67P - elemento direcional de fase</b>  | ✓  | ✓       | ✓   |
| <b>50/51 - Sobrecorrente de fase instantânea e temporizada</b>  | ✓  | ✓       | ✓   |
| <b>50/51G - Sobrecorrente residual instantânea e temporizada</b>  | ✓  | ✓       | ✓   |
| <b>50/51Q (46) - Sobrecorrente instantânea e temporizada de sequência negativa</b>                                    | ✓  | ✓       | ✓   |
| <b>51V/C – sobrecorrente temporizada com restrição/controle de tensão</b>   | -  | ✓       | -   |
| <b>85 - Esquemas de controle ou teleproteção (PUTT, POTT, DCUB, DCB, DTT, etc ou lógica programável);</b>             | ✓  | ✓       | ✓   |
| <b>78/68 - Disparo e bloqueio por oscilação de potência</b>   | ✓  | ✓       | ✓   |
| <b>79 – Religamento automático monopolar (2 tentativas) ou tripolar (quatro tentativas) para até dois disjuntores</b> | Religamento automático monopolar* ou tripolar, até quatro tentativas | ✓       | Religamento automático monopolar bipolar e tripolar (5 tentativas). |
| <b>25 - Verificação de sincronismo para até dois disjuntores;</b>   | Para um disjuntor  | ✓       | ✓   |
| <b>27/59 - Subtensão e sobretensão fase-neutro e entre fases</b>  | ✓  | ✓       | ✓   |

Tabela 28 - Funções de proteção dos relés SEL 311C, SEL 421 e REL 670 (continuação).

| Função de proteção  | SEL 311 C         | SEL 421 | REL 670 |
|---|-------------------|---------|---------|
| <b>59G - Sobretensão residual</b>   | ✓                 | ✓       | ✓       |
| <b>59Q - Sobretensão de sequência negativa</b>  | ✓                 | ✓       | ✓       |
| <b>50/62BF - Falha de disjuntor para até dois disjuntores</b>                                   | Para um disjuntor | ✓       | ✓       |
| <b>60 - Perda de potencial</b>  | ✓                 | ✓       | ✓       |
| <b>81 - Sub/Sobrefrequência, taxa de variação de frequência <math>\Delta f/\Delta t</math>;</b> | ✓                 | ✓       | ✓       |
| <b>49 – sobrecarga por imagem térmica</b>   | -                 | ✓       | ✓       |
| <b>49T – Elemento térmico com medição de temperatura através de RTD's - SEL 2600A *</b>         | -                 | ✓       | -       |
| <b>87V – diferencial de tensão para banco de capacitores de AT (por lógica)</b>                 | -                 | ✓       | -       |
| <b>50STB – Proteção STUB</b>  | -                 | -       | ✓       |
| <b>52PD – Proteção contra discordância de pólo</b>  | -                 | -       | ✓       |

\*Opcional

Fonte: SELINC (2018) e ABB (2018).

## Capítulo 6 – Conclusões e propostas para trabalhos futuros

A proteção de linhas de transmissão exige um cuidado especial quando da escolha do esquema de proteção e dos ajustes dos relés. Visando melhorar a eficiência do sistema de proteção, esta proposta foi conduzida de tal modo a culminar com a análise da interoperabilidade de relés de distância quando são utilizados esquemas de teleproteção.

Foi possível simular vários cenários de faltas na linha protegida e em uma linha adjacente, permitindo dessa forma, analisar a interoperabilidade dos relés de distância SEL 311C, SEL 421 e REL 670, com a utilização dos esquemas de teleproteções POTT e DCB. Também foi possível identificar as peculiaridades dos ajustes de cada relé, permitido inclusive, que erros no código da função mho do relé REL 670 fossem reportados à *Electrocon International, Inc.*, desenvolvedora e comercializadora do *software* utilizado neste trabalho.

Mediante a análise geral dos estudos de casos, foi possível perceber que os tempos de operação obtidos com os relés de mesmo fabricante com modelos diferentes (SEL 311C na barra B e SEL 421 na barra C) e de fabricantes diferentes (SEL 311C na barra B e REL 670 na barra C), equipados ou não com esquemas de teleproteção, foram muito próximos ou exatamente iguais aos apresentados com relés SEL 311C nos dois terminais da linha. Isto posto, é possível concluir que para os casos avaliados, o relé SEL 311C alocado na barra C, poderia ser substituído pelo SEL 421 ou REL 670 sem maiores prejuízos ao sistema de proteção. Dessa forma, percebe-se que relés não idênticos, instalados nos terminais da linha de transmissão, garantiram a interoperabilidade, contrariando a exigência encontrada no manual da SFE.

Por outro lado, a escolha por um ou outro relé, parte de um pré-requisito do sistema elétrico no qual o mesmo será utilizado, necessitando de ajustes corretos da função de distância e dos esquemas de teleproteção utilizados. Dessa forma, uma análise das funcionalidades e tecnologias empregadas em cada um dos relés deve ser levada em consideração, para poder relacionar também o custo- benefício.

Por fim, foi possível identificar que em 75% dos casos de faltas localizadas na linha protegida, o esquema DCB promoveu a eliminação total da falta com tempo de eliminação igual para os relés de ambas as barras ou com menor retardo que o esquema POTT, mostrando que seu desempenho em relação ao tempo de operação foi melhor. Os 25% restantes referem-se ao caso IVa, em que a falta se localizou dentro da 1ª zona de ambos relés, promovendo a eliminação da falta em ambos os terminais da LT, com mesma temporização em sistemas com ou sem teleproteção. Portanto, o esquema DCB mostrou-se mais eficiente que o POTT.

Com o objetivo de prosseguir com novas análises, utilizando a metodologia implantada, bem como estudos mais profundos dos aspectos relevantes da teleproteção, são apresentadas em seguida algumas sugestões para trabalhos futuros:

- Avaliar o desempenho dos esquemas de teleproteção POTT e DCB para um sistema de potência composto de linhas paralelas.
- Programar outros esquemas de teleproteção baseados em sinalização e realizar uma análise comparativa dos resultados com os esquemas utilizados neste trabalho de dissertação.
- Avaliar a influência de fatores de erro de medição da impedância em diferentes esquemas de proteção (resistência de arco, efeito *infeed*, dentre outros).

# Referências Bibliográficas

ABB, Disponível em: <[http:// https://library.e.abb.com](http://https://library.e.abb.com)>. Acesso: abril/2018.

ACHANTA, SHANKAR, V.; BRADETICH, R. & FODERO, K. *Speed and Security Considerations for Protection Channels*. 69th Annual Conference for Protective Relay Engineers (CPRE), 2016.

AGGARWAL, R. & MOORE, P. *Digital communications for protection. II. Teleprotection systems*. Power Engineering Journal, Volume: 8, Issue: 2, Páginas: 97 – 102, Year: 1994.

ALBUQUERQUE, D. F. F. Introdução ao uso do *software* CAPE. Trabalho de Conclusão de Curso, Curso de Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande/PB, 2012.

ANDERSON, P. M. *Power System Protection*. (S. E. P. M. Anderson, Ed.) Piscataway, NJ, USA: IEEE Press Power Engineering Series, 1999.

ANEEL, Disponível em: < <http://www.aneel.gov.br>>. Acesso: julho/2017.

APOSTOLOV A.P. *Implementation of Accelerated Transmission Line Protection Schemes in Substations with IEC 61850*, Transmission and Distribution Conference and Exposition, IEEE/PES, Bogotá – Colombia, 2008.

AREVA T&D. *Network Protection and Automation Guide* (1 ed.). Paris, France: Cayfosa, 2002.

BARTOSIEWICZ, E.; JANUSZEWSKI, M. & RASOLOMAMPIONONA, D. *Results of modern pilot schemes tests for general electric line protection devices*. In: IEEE Conference. Grenoble, 2013.

BLACKBURN, J. L., DOMIN, T. J., *Protective Relaying: Principles and Applications*. 3 ed., CRC Press, 2006.

BURZESE, A. A., APPLEYARD, J. C., BANERJEE, H. N., BARNETT, C. W., BRANDT, J., BRIGHT, J. A., BURNETT, R. O., DEMPSEY, R. W., ESZTERGALYOS, J., FERNANDEZ, R. J., FOHEY, J., FROMEN, C. W., HAUPTMANN, E. A., LANG, U., MSTAPHI, K. K., NAIL, G. R., OHNESORGE, R. W., SAGE, E. T., SMITH, H. S., STEPHENS, J. E., TAYLOR, R. P., TYSKA, W. Z., POPE, J. W. , POLITIS, A., COLWELL, D. H.. *Pilot relaying performance analysis: IEEE committee report*. IEEE Transactions on Power Delivery. Volume: 5, Issue: 1, Páginas: 85 – 102, Year: 1990.

CAPE, Disponível em: <<http://www.electrocon.com/capeintro.html>> Acesso: Agosto/ 2017.

CHAURAN, V. *Study and Comparison of Various Communication Based Protective Relaying Schemes for Electrical Power Transmission System*. International Journal of Research in Engineering and Technology. Volume: 03, Issue: 02, Year: 2014.



FITZGERALD, A. S. *A Carrier-Current Pilot System of Transmission Line Protection*. In: Journal of the A.I.E.E., Volume: 46, Issue: 10, Page(s): 1015 – 1021, Year: 1927.

GEORGE, E. E.; BROWNLEE, W. R. *Pilot Wire Relay Protection*. Electrical Engineering, Volume: 54, Issue: 11 Pages: 1262 – 1269, Year: 1935.

GERS, J. M. & HOLMES, E. J. *Protection of electricity distribution networks*. IEEE Power and Energy Series, 2004.

GONÇALVES, D. N. *Desempenho do relé de distância em LT compensadas com TCSC*. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2007.

GUERRA, F. C. F. *Filosofia da Proteção*. Notas de Aula, UFCG, 2011.

GUERRERO, C. A. V.; SILVEIRA, P. M.; COELHO, A. L. M. & RAMALHO, G. R. *Uso do RTDS em testes de esquemas de teleproteção aplicando o padrão IEC 61850*. In: PAC World Latin America Conference, Florianópolis, 2012.

HESTER, E. A.; TRAVER, O. C.; CONWELL, R. N.; CRICHTON, L. N. *Transmission Line Relay Protection-II*. Transactions of the American Institute of Electrical Engineers, Volume: XLI, Pages: 670 – 702, Year: 1922.

IEC. International Electrotechnical Commission – IEC. *Teleprotection Equipment of Power Systems*. Performance and Testing, IEC Standard 60834-1 – 1999.

IEEE. Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos. *Guide for Protective Relay Applications to Transmission Lines*, 2015.

LENSNER, H. W. *Protective Relaying Systems Using Pilot-Wire Channels*. Transactions of the American Institute of Electrical Engineers. Part III: Power Apparatus and Systems, Volume: 79, Issue: 3, Pages: 1107 – 1117, Year: 1960.

LOPES, F.; SOUZA Jr.; F.; SANTOS, W.; NASCIMENTO, J.; COSTA, C.; COSTA, F.; NEVES, W.; SOUZA, B.; BRITO, N.; FERNANDES Jr., D.; Moraes, S. “Uma Metodologia Baseada nos Programas ATP e CAPE para Estudo e Validação de Funções de Proteção,” Congresso Brasileiro de Automática, Belo Horizonte-MG, 2014.

MASON, C. R. *The Art and Science of Protective Relaying*. John Wiley & Sons, New York, USA: [s.n.], 1956.

NEHER, J. H. *The Use of Communication Facilities in Transmission Line Relaying*. Electrical Engineering, Volume: 52, Issue: 1, Year: 1933.

ONS. Disponível em: <http://www.ons.org.br>. Acesso: junho/2017.

ORDAGCI, J.M. *Proteção de Linhas de Transmissão: Teleproteção*. CEPSE, Campinas, 2010. PEREIRA, A. C.; ORDAGCI FILHO, J. M.; CORREIA, J. R. G.; CÁCERES, D & PELLIZZONI, R. *Automação de subestações e usinas – estado da arte e tendências utilizando a norma IEC 61850*. In: VII SIMPASE, Salvador, 2007.

SÁ, J. A.; COSTA, F. B.; OLIVEIRA, N. L. S.; BRITO, N. S. D.; SOUZA, B. A.; GURJÃO, E. C. & CARMO, U. A. *Uso de um simulador em tempo real no ensino de proteção de sistemas elétricos*. In: Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, Fortaleza, 2010.

SANDERS, M. P.; APPLEYARD, J.; HUDDLESTON, J. D.; LANIGAN, T.; RAY, R. E.; SIMON, M.; ZIPP, J. A.; MCDONALD, M. J.; DERENCINOVIC, E.; JAMISON, D.; LOWE, W. G.; ROWE, S. D.; SOEHREN, J.; DRUM, P. R.; KHAN, S.; PICKETT, B. A.; SEEGER, T.; WARD, S. *Special Considerations in Applying Power Line Carrier for Protective Relaying*. 57th Annual Conference for Protective Relay Engineers, 2004.

SAYGIN, S.; VOLOH, I. & ZHANG, Z. *A primer on pilot protection with digital relays*. 68th annual conference for protective relay engineers. In: 68th Annual Conference for Protective Relay Engineers, USA, 2014.

SCHWEITZER III, E. O.; KUMM, J. J. *Statistical Comparison and Evaluation of Pilot Protection Schemes*. 12th Annual CEPSEI Exhibition Bangkok, Thailand, 1998.

SCHWEITZER III, E.O.; BEHRENDT, K; LEE, T.; TZIOUVARAS, D. A. *Digital Communications for Power System Protection: Security, Availability, and Speed*. Pages: 94 – 97, Year: 2001.

SELINC, Disponível em <http://www.selinc.com.br>. Acesso: Junho/2017.

SILVA, K. M. *Estimação de fasores baseada na transformada wavelet para uso na proteção de distância de LT*. Tese de Doutorado, UFCG, Campina Grande, 2009.

SHANNON, C. E. *A Mathematical Theory of Communication*. The Bell System Technical Journal, Vol. 27, pp. 379–423, 623–656, 1948.

TUCKER, W.; BURICH, A.; THOMPSON, M.; ANNE, R. & VASUDEVAN, S. *Coordinating dissimilar line relays in a communications-assisted scheme*. In: 67th Annual Conference for Protective Relay Engineers, USA, 2014.

WARD, S.; DAHLIN, T.; INCE, B. *Pilot Protection Communication Channel Requirements*. 57th Annual Conference for Protective Relay Engineers, 2004.

WETTERWALD, P; RAYMOND, J. *Deterministic Networking Utilities requirements draft-wetterwald-detnet-utilities-reqs-02*, 2015.

YUSOF, H. A.; MUSA, A.; RAMLI, A. Q.; RIDWAN, M. I. *Teleprotection Simulation Lab: Understanding the Performance of Telecommunication Aided Protection Systems under Impaired Telecommunication Network Conditions*. IEEE International Conference on Power and Energy (PECon), 2012.

ZIEGLER, G. *Numerical Distance Protection: Principles and Applications (2 ed.)*. Berlin, Germany: Siemens, AG, 2006.

# Apêndice - Ajustes dos relés

Acesso por intermédio do link: <https://github.com/RafaellaNMeira/Apendice-A---Ajustes-dos-reles>