
 <b>CPFL</b> <b>ENERGIA</b> <i>Interno</i>	Tipo de Documento:	Relatório Técnico
	Área de Aplicação:	Automação e Medição
	Título do Documento:	Características e Ajustes da Função de Proteção de Distância (ANSI 21)

## Sumário

1.	OBJETIVO.....	2
2.	ÂMBITO DE APLICAÇÃO .....	2
2.1.	Empresa .....	2
2.2.	Área .....	2
3.	DEFINIÇÕES.....	3
3.1.	SEL.....	3
3.2.	SIEMENS .....	3
3.3.	SCHNEIDER ELETRIC .....	3
3.4.	GE .....	3
3.5.	ABB .....	3
3.6.	NARI .....	3
4.	DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA .....	3
5.	OPERAÇÃO E FILOSOFIA .....	4
5.1.	Considerações Iniciais.....	4
5.2.	Características de Operação da Proteção de Distância.....	4
5.3.	Filosofia de Ajustes da Proteção de Distância .....	7
5.4.	Filosofia de Ajustes da Proteção de Distância para Linhas Radiais .....	8
5.5.	Considerações Finais .....	9
5.6.	Memória de Cálculo.....	10
5.6.1.	Modelagem do Sistema .....	10
5.6.2.	Valores de Contribuição Vistos pelo Relé do Bay da LT 34,5 kV Citrosuco .....	11
5.6.3.	Valores de Contribuição nos Primários dos Transformadores das SE's Duartina (138/34,5 kV) e Citrosuco (34,5/13,8 kV) .....	11
5.6.4.	Dados do Transformador da SE Duartina .....	12
5.6.5.	Dados do Transformador da SE Citrosuco .....	12
5.6.6.	Dimensionamento das RTC's.....	12
5.6.7.	Dimensionamento das RTP's.....	14
5.6.8.	Dados das Linhas de Transmissão .....	14
5.6.9.	Valores de Corrente .....	14
5.6.10.	Filosofia para Ajuste das Proteções da LT 34,5 kV Duartina – Citrosuco (Ajuste da Proteção de Distância de Fase) .....	15
5.6.10.1.	Primeira Zona .....	15

N.Documento:	Categoria:	Versão:	Aprovado por:	Data Publicação:	Página:
16927	Instrução	1.3	Eduardo Henrique Trepodoro	05/05/2021	1 de 19

 <b>Interno</b>	Tipo de Documento:	Relatório Técnico
	Área de Aplicação:	Automação e Medição
	Título do Documento:	Características e Ajustes da Função de Proteção de Distância (ANSI 21)

5.6.10.2.	Segunda Zona .....	15
5.6.10.3.	Terceira Zona .....	15
5.6.11.	Filosofia para Ajuste das Proteções da LT 34,5 kV Duartina – Citrosuco (Ajuste da Proteção de Distância de Terra) .....	16
5.6.11.1.	Primeira Zona .....	16
5.6.11.2.	Segunda Zona .....	16
5.6.11.3.	Terceira Zona .....	17
5.6.11.4.	Fatores de Compensação .....	17
5.6.12.	Filosofia para Ajuste das Proteções da LT 34,5 kV Duartina – Citrosuco (Ajuste da Proteção de Sobrecorrente Direcional de Fase) .....	17
5.6.12.1.	Função Temporizado (67T) .....	17
5.6.12.2.	Função Instantânea (67I).....	18
5.6.13.	Filosofia para Ajuste das Proteções da LT 34,5 kV Duartina – Citrosuco (Ajuste da Proteção de Sobrecorrente Direcional de Terra) .....	18
5.6.13.1.	Função Temporizado (67NT).....	18
5.6.13.2.	Função Instantânea (67NI) .....	18
6.	REGISTRO DE ALTERAÇÕES.....	18
6.1.	Colaboradores .....	18
6.2.	Alterações.....	19

## 1. OBJETIVO

O presente documento tem o objetivo de apresentar as características, zonas de atuação, exemplo de memória de cálculo e os respectivos ajustes para um relé de distância utilizado na proteção de linhas de transmissão da CPFL.

## 2. ÂMBITO DE APLICAÇÃO


### 2.1. Empresa

Distribuidoras do Grupo CPFL Energia: Paulista, Piratininga, Santa Cruz e RGE.

### 2.2. Área

Engenharia (RE) e Operações de Campo (OS)

N.Documento:	Categoria:	Versão:	Aprovado por:	Data Publicação:	Página:
16927	Instrução	1.3	Eduardo Henrique Trepodoro	05/05/2021	2 de 19

 <b>CPFL</b> <b>ENERGIA</b> <i>Interno</i>	Tipo de Documento:	Relatório Técnico
	Área de Aplicação:	Automação e Medição
	Título do Documento:	Características e Ajustes da Função de Proteção de Distância (ANSI 21)

### 3. DEFINIÇÕES

#### 3.1. SEL

SEL – Schweitzer Engineering Laboratories Comercial Ltda (Fabricante de relés de proteção para o Sistema Elétrico).

#### 3.2. SIEMENS

SIEMENS – Siemens Aktiengesellschaft AG (Fabricante de relés de proteção para o Sistema Elétrico).

#### 3.3. SCHNEIDER ELETRIC

SCHNEIDER ELETRIC – Antiga AREVA (Fabricante de relés de proteção para o Sistema Elétrico).

#### 3.4. GE

GE – General Eletric (Fabricante de relés de proteção para o Sistema Elétrico).

#### 3.5. ABB

ABB – Asea Brown Boveri (Fabricante de relés de proteção para o Sistema Elétrico).


#### 3.6. NARI

NARI – NR Eletric (Fabricante de relés de proteção para o Sistema Elétrico).

### 4. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

- a) Manual de Instrução do Relé de Distância SEL 311C;
- b) Manual de Instrução do Relé de Distância SEL 421;
- c) Manual de Instrução do Relé de Distância SIEMENS 7SA6;
- d) Manual de Instrução do Relé de Distância AREVA P443
- e) Manual de Instrução do Relé de Distância GE D60;
- f) Manual de Instrução do Relé de Distância ABB REL 670;
- g) Manual de Instrução do Relé de Distância NARI PCS 902.

N.Documento:	Categoria:	Versão:	Aprovado por:	Data Publicação:	Página:
16927	Instrução	1.3	Eduardo Henrique Trepodoro	05/05/2021	3 de 19

 <b>CPFL</b> <b>ENERGIA</b> <i>Interno</i>	Tipo de Documento:	Relatório Técnico
	Área de Aplicação:	Automação e Medição
	Título do Documento:	Características e Ajustes da Função de Proteção de Distância (ANSI 21)

## 5. OPERAÇÃO E FILOSOFIA

### 5.1. Considerações Iniciais

A proteção de distância é base para a proteção de linhas de transmissão. A mesma pode ser utilizada tanto como proteção principal quanto proteção de retaguarda para linhas de transmissão e outros elementos do sistema elétrico (barramentos, transformadores, alimentadores e até mesmo geradores).

O modo de operação da proteção de distância é baseado na medição e avaliação da impedância de curto-circuito, a qual é proporcional à distância até a falta, isto é, realizam a comparação entre uma corrente  $I$  e uma tensão  $V$  medidas na mesma extremidade do elemento protegido. O quociente entre a tensão e a corrente resulta numa impedância ( $Z$ ). A distância desde o ponto onde o equipamento está instalado até ao local onde ocorreu o defeito é proporcional a ( $Z$ ).

Um problema imediatamente reconhecido é a determinação correta, através da medição, da distância para faltas de diferentes tipos. A impedância vista pela função de distância individual irá depender das condições de conexão dos transformadores de instrumentos e das correntes e tensões apresentadas aos relés. A aplicação da proteção de distância em linhas de transmissão requer, como uma regra a ser aplicada, a consideração individual detalhada de cada caso. Uma análise cuidadosa é necessária para determinar precisamente as quantidades observadas pelas proteções em todas as condições possíveis. A proteção de distância é mais rápida, mais seletiva e menos susceptível a mudanças no sistema. O tempo de operação permanece aproximadamente constante e não é afetada por variações ou alterações da configuração do sistema. A proteção de distância ainda é a função mais utilizada em linhas de transmissão.

A insuficiência ou inexistência de transposição dos condutores da linha, a variação da impedância das linhas em paralelo, os erros dos transformadores de medida e de tensão e as variações da temperatura ambiente são causas perturbadoras na medição da proteção de distância.


### 5.2. Características de Operação da Proteção de Distância

A função de distância pode prover proteção efetiva para as linhas de transmissão. Suas características, principalmente a MHO e Quadrilateral, têm sido usualmente implementadas a partir de comparadores e várias combinações de tensões e correntes.

A característica MHO (figura 1a), por exemplo, é uma aplicação popular porque pode ser implementada a partir de um único comparador com alcance bem definido, é inerentemente direcional e pode ser feita para tolerar a resistência de falta. A característica quadrilateral (figura 1b), tradicionalmente requer quatro comparadores (um para cada lado da característica) e é feita para melhor acomodar a resistência de falta, sem sofrer erros sérios de sobrealcance devido ao carregamento.

Um enfoque para implementar uma proteção de distância (digital) com um computador (processador de sinais) é calcular a impedância aparente  $Z = V / I$ , e então verificar se essa impedância localiza-se no interior de alguma forma geométrica, como um círculo ou um quadrilátero.

N.Documento:	Categoria:	Versão:	Aprovado por:	Data Publicação:	Página:
16927	Instrução	1.3	Eduardo Henrique Trepodoro	05/05/2021	4 de 19

 <b>CPFL</b> <b>ENERGIA</b> <i>Interno</i>	Tipo de Documento: Relatório Técnico
	Área de Aplicação: Automação e Medição
	Título do Documento: Características e Ajustes da Função de Proteção de Distância (ANSI 21)

### Característica MHO

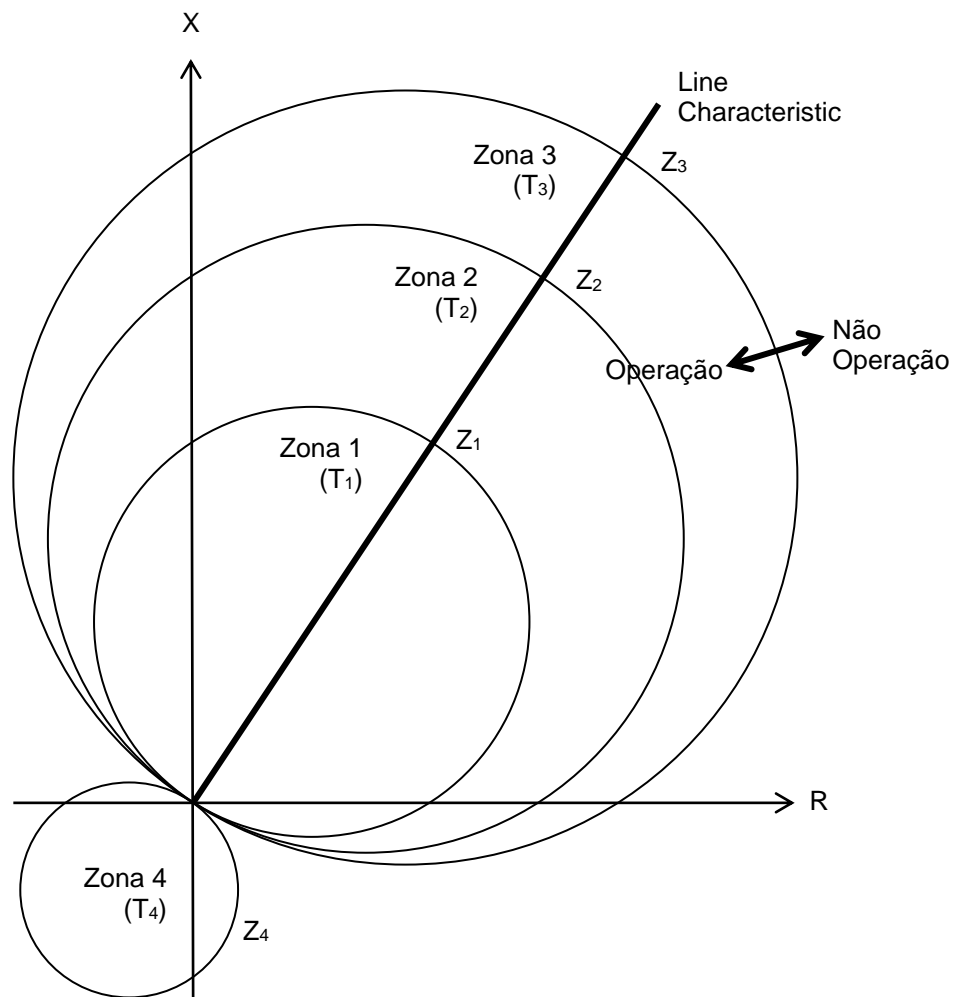


Figura 1a – Características de Operação (MHO)

N.Documento:	Categoria:	Versão:	Aprovado por:	Data Publicação:	Página:
16927	Instrução	1.3	Eduardo Henrique Trepodoro	05/05/2021	5 de 19

### Característica Quadrilateral

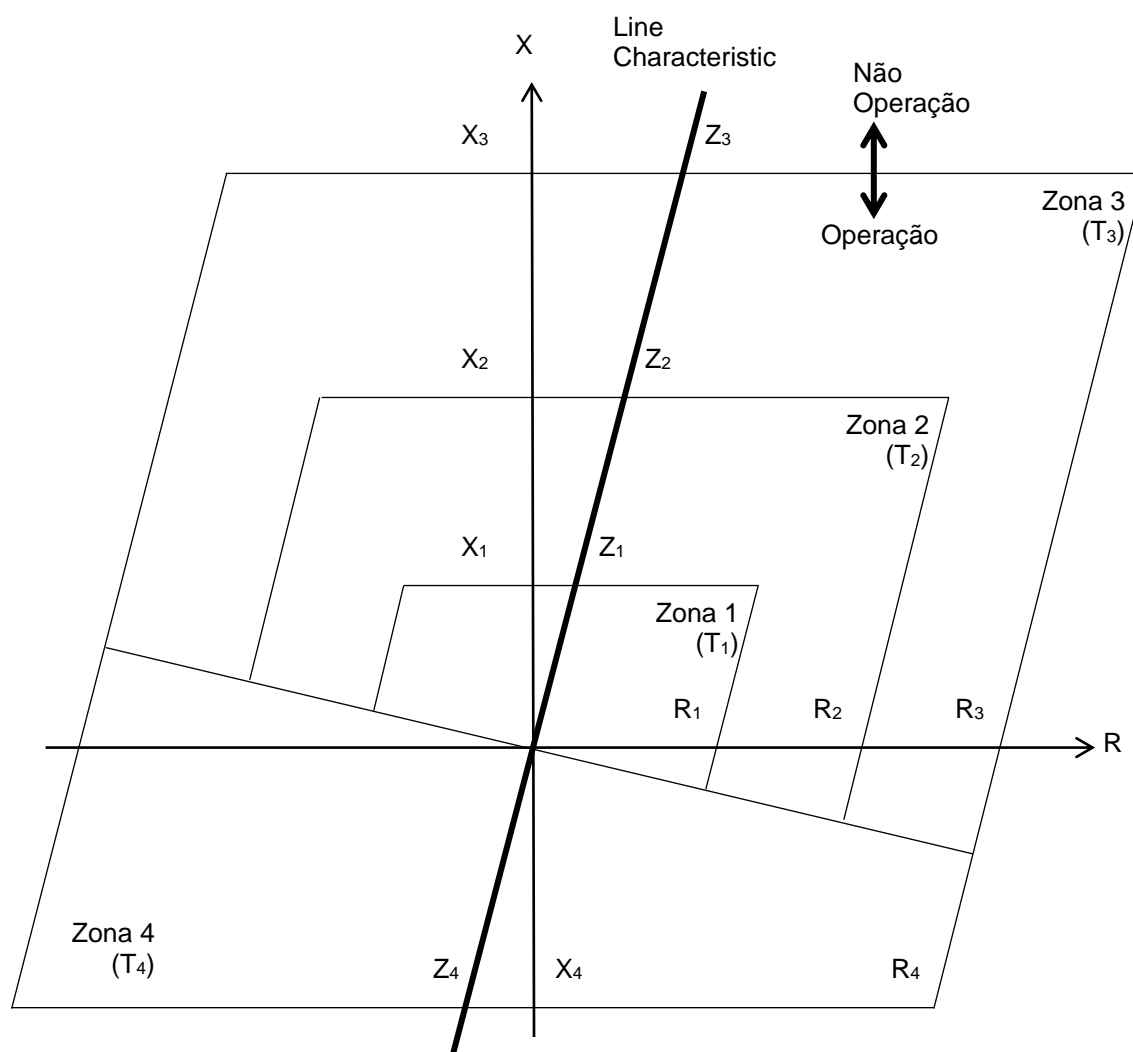



Figura 1b – Características de Operação (Quadrilateral)

 <b>Interno</b>	Tipo de Documento:	Relatório Técnico
	Área de Aplicação:	Automação e Medição
	Título do Documento:	Características e Ajustes da Função de Proteção de Distância (ANSI 21)

### 5.3. Filosofia de Ajustes da Proteção de Distância

A proteção típica por zona em relés de proteção com função de distância possui, normalmente, quatro zonas de proteção, sendo que a 1ª e 2ª zonas atuam somente para frente (direção “forward”) e a 3ª e 4ª zonas também atuam para trás (direção reversa).

Devido às incertezas na medida da impedância de falta, resultante dos erros de medida, erros de transformação (TC’s e TP’s) e a imprecisão do valor da impedância da linha de transmissão, a qual usualmente é obtida por intermédio de cálculos e não por medição, não é possível, na prática, ajustar uma zona da proteção para cobrir 100% da impedância da linha.

Por este motivo, a primeira zona é intrinsecamente instantânea (aproximadamente um ou dois ciclos), isto é, não possui temporização intencional ( $t_1 = 0$ ) e é, tipicamente, ajustada entre 80% a 90% do valor da impedância da linha protegida ( $Z_1$ ).

A segunda zona ( $Z_2$ ) é ajustada normalmente entre 120% a 150% do valor da impedância da linha protegida ( $Z_1$ ). Seu objetivo principal é proteger de forma primária, o trecho final da linha e o barramento a jusante, além de fornecer proteção de retaguarda ao início das linhas que saem deste barramento. Daí a necessidade de sua temporização ser ajustada em 500 ms ( $t_2 = 0,5$  seg), a fim de coordená-la com a primeira zona das proteções das linhas do barramento a jusante. Através da utilização de um canal de comunicação (fio piloto, sistema carrier, link de rádio ou fibra óptica) entre as duas extremidades da linha de transmissão, a segunda zona pode ser utilizada também em esquemas de teleproteção, tornando-se um sistema de comparação com seletividade absoluta. Isto facilita o trip rápido para faltas em 100% do comprimento da linha, com a vantagem de prover uma retaguarda adicional para outras partes do sistema.


A terceira zona ( $Z_3$ ) pode ser ajustada para frente (“forward”) ou na direção reversa (“reverse”), contudo, na direção “forward” geralmente é parametrizada em 100% do valor da impedância da linha protegida mais 30% a 50% da impedância da linha a jusante mais comprida que sai da barra oposta. Possui como principal objetivo fornecer proteção de retaguarda às primeiras e segundas zonas das proteções das linhas que saem do barramento a jusante, tendo a temporização ajustada para 1000 ms ( $t_3 = 1,0$  seg). Também pode ser ajustada para atuar na direção reversa à linha a ser protegida, sendo utilizada em esquemas de teleproteção.

A quarta zona ( $Z_4$ ), é semelhante à terceira zona. Desta forma, a quarta zona ( $Z_4$ ) pode ser ajustada para frente (“forward”) ou na direção reversa (“reverse”), contudo, na direção “forward” geralmente é parametrizada em 100% do valor da impedância da linha protegida mais 30% a 50% da impedância da linha a jusante mais comprida que sai da barra oposta. Possui como principal objetivo fornecer proteção de retaguarda às primeiras e segundas zonas das proteções das linhas que saem do barramento a jusante, tendo a temporização ajustada para 1000 ms ( $t_3 = 1,0$  seg). Também pode ser ajustada para atuar na direção reversa à linha a ser protegida, sendo utilizada em esquemas de teleproteção.

Sendo que a primeira zona de uma linha de transmissão não deve sobrepor à barra e os equipamentos situados no outro terminal da linha, as outras zonas, a princípio, trabalham em retaguarda da primeira, além de servir a propósitos de teleproteção.

Para exemplificar, considerando quatro trechos de impedância em cascata ( $Z_1$ ,  $Z_2$ ,  $Z_3$  e  $Z_4$ ) e definidos pelas barras A, B, C e D, as zonas de proteção atuam conforme mostrado na figura 2.

N.Documento:	Categoria:	Versão:	Aprovado por:	Data Publicação:	Página:
16927	Instrução	1.3	Eduardo Henrique Trepodoro	05/05/2021	7 de 19

 <b>Interno</b>	Tipo de Documento:	Relatório Técnico
	Área de Aplicação:	Automação e Medição
	Título do Documento:	Características e Ajustes da Função de Proteção de Distância (ANSI 21)

## Zonas de Proteção

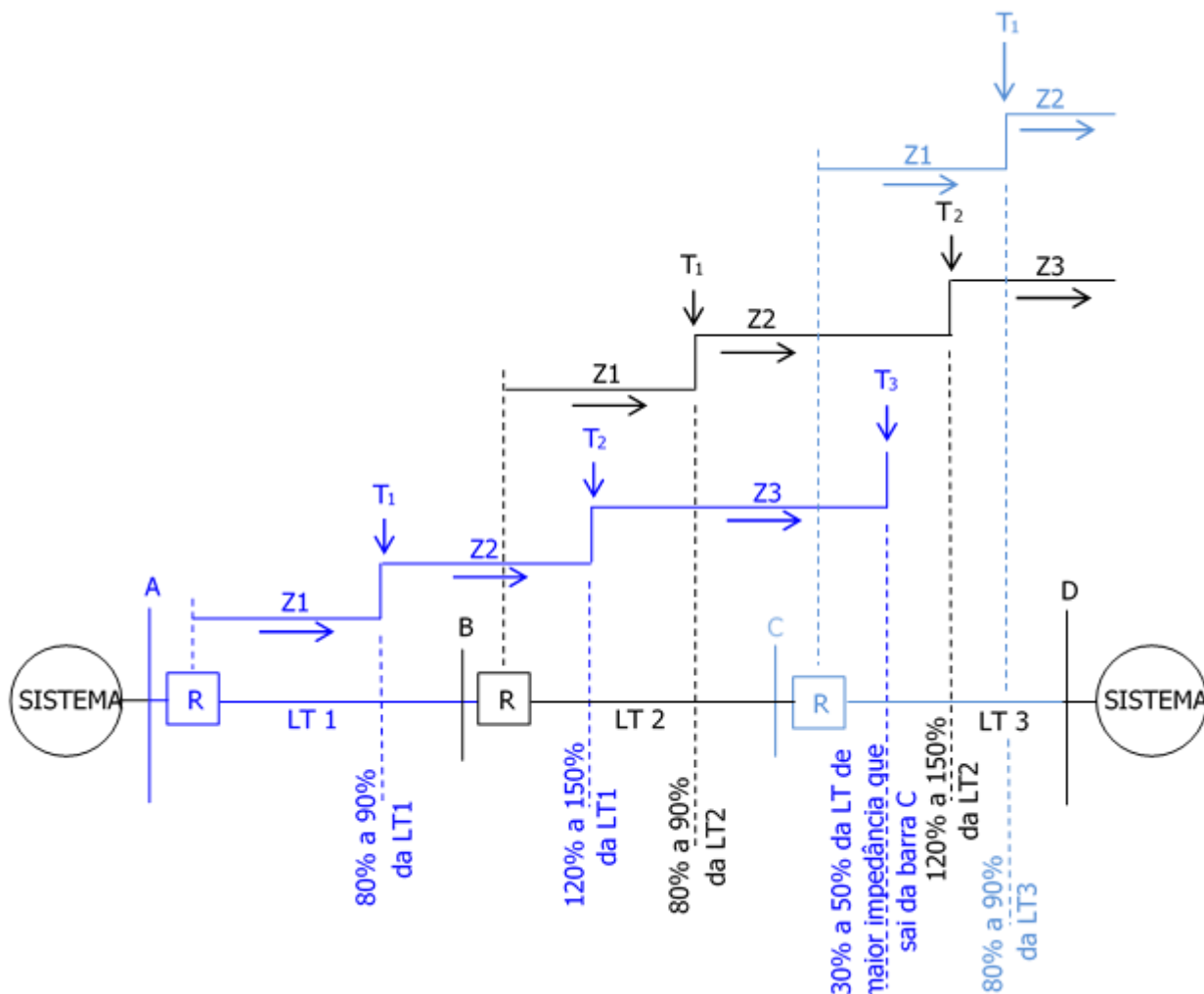


Figura 2 - Princípio de atuação da proteção de distância (anel)

### 5.4. Filosofia de Ajustes da Proteção de Distância para Linhas Radiais

Para linhas radiais, são utilizadas três zonas de proteção. A primeira zona é ajustada em 100% do valor da impedância da linha protegida ( $Z_1$ ) e o tempo é intrinsecamente instantâneo (aproximadamente um ou dois ciclos), isto é, não possui temporização intencional ( $t_1 = 0$ ).

A segunda zona ( $Z_2$ ) é ajustada em 100% do valor da impedância da linha protegida ( $Z_1$ ) mais 30% a 50% do segmento inicial de espiras do enrolamento primário do transformador instalado na entrada da subestação a jusante. Seu objetivo principal é proteger de forma primária, o barramento da subestação a jusante, além de fornecer proteção de retaguarda ao início do segmento inicial de espiras do enrolamento primário do transformador. Sua temporização é ajustada em 500 ms ( $t_2 = 0,5$  seg), a fim de coordenar com as proteções da

N.Documento:	Categoria:	Versão:	Aprovado por:	Data Publicação:	Página:
16927	Instrução	1.3	Eduardo Henrique Trepodoro	05/05/2021	8 de 19



subestação a jusante. A segunda zona não deve alcançar o lado de baixa tensão deste transformador para não haver descoordenação com as proteções a jusante da subestação. A terceira zona é ajustada em 100% do valor da impedância da linha protegida mais 50% a 70% do segmento inicial de espiras do enrolamento primário do transformador instalado na entrada da subestação a jusante. Seu objetivo principal é proteger de forma primária, o barramento da subestação a jusante, além de fornecer proteção de retaguarda ao início do segmento inicial de espiras do enrolamento primário do transformador. Sua temporização é ajustada em 1000 ms ( $t_2 = 1,0$  seg), a fim de coordenar com as proteções da subestação a jusante. A terceira zona não deve alcançar o lado de baixa tensão deste transformador para não haver descoordenação com as proteções a jusante da subestação. As zonas de proteção, para uma linha radial, atuam conforme mostrado na figura 3.

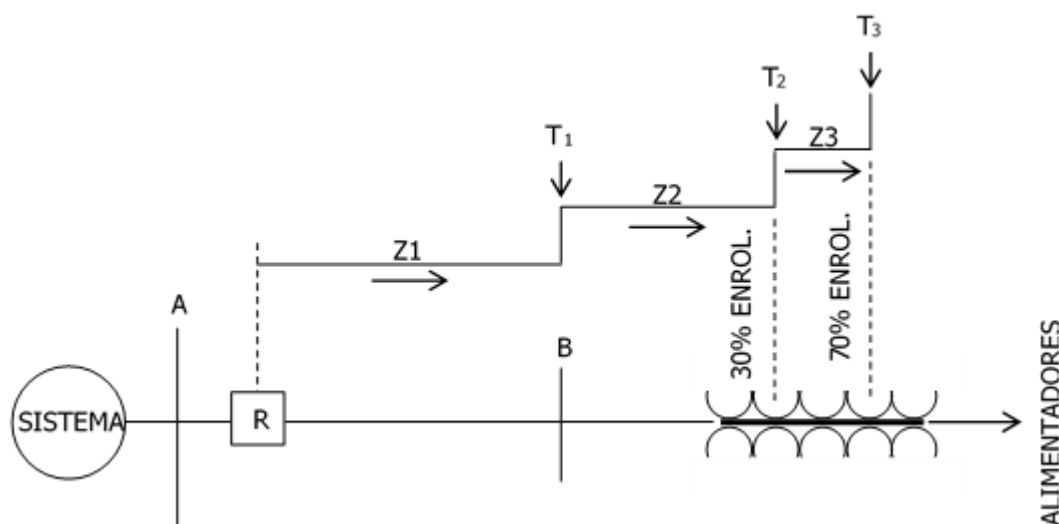



Figura 3 - Princípio de atuação da proteção de distância (radial)

## 5.5. Considerações Finais

A utilização da proteção de distância é aceita e comprovada como a mais eficaz para a proteção de linhas de transmissão. Dentro do conjunto de dispositivos de proteção que utilizam tecnologia digital, a função de distância foi a que obteve maior empenho e dedicação na sua evolução, apresentando várias possibilidades de ajustes e agregando várias outras funções como retaguarda.

Algoritmos de medição de distância, como o baseado na Análise de Fourier, estão constantemente sendo objetos de estudos e pesquisas para aprimoramento. Vários modelos de algoritmos clássicos já foram implementados por fabricantes de relés de proteção e tiveram suas validações. As modificações propostas em um algoritmo que já é utilizado na proteção de sistemas e possui seu desempenho comprovado, são analisadas em detalhes com relação à eficácia e benefícios que estas podem apresentar. Contudo, é observado em contrapartida o impacto em outras questões como, por exemplo, o tempo de atuação da proteção numérica.

 <b>Interno</b>	Tipo de Documento:	Relatório Técnico
	Área de Aplicação:	Automação e Medição
	Título do Documento:	Características e Ajustes da Função de Proteção de Distância (ANSI 21)

## 5.6. Memória de Cálculo

Os cálculos de ajustes que são mostrados a seguir, se referem à proteção de uma Linha de Transmissão de 34,5 kV. Consideraremos o sistema mostrado na Figura 4 e como exemplo, a LT 34,5 kV Duartina – Citrosuco.

Serão definidos os ajustes relativos às funções de distância de fase e neutro (21F/21N), de sobrecorrente direcional de neutro instantânea (67NI) e de sobrecorrente direcional de neutro temporizada (67NT), de sobrecorrente direcional de fase instantânea (67I) e de sobrecorrente direcional de fase temporizada (67T).

Primeiramente serão apresentados todos os dados gerais do sistema (como impedância de sequência positiva e zero da linha, dados de transformadores, os dados e as relações de TC'S e TP'S utilizadas). Após, serão definidos os valores de curtos-circuitos utilizados neste estudo. Em seguida será apresentada a filosofia de ajustes para cada função de proteção.

### 5.6.1. Modelagem do Sistema

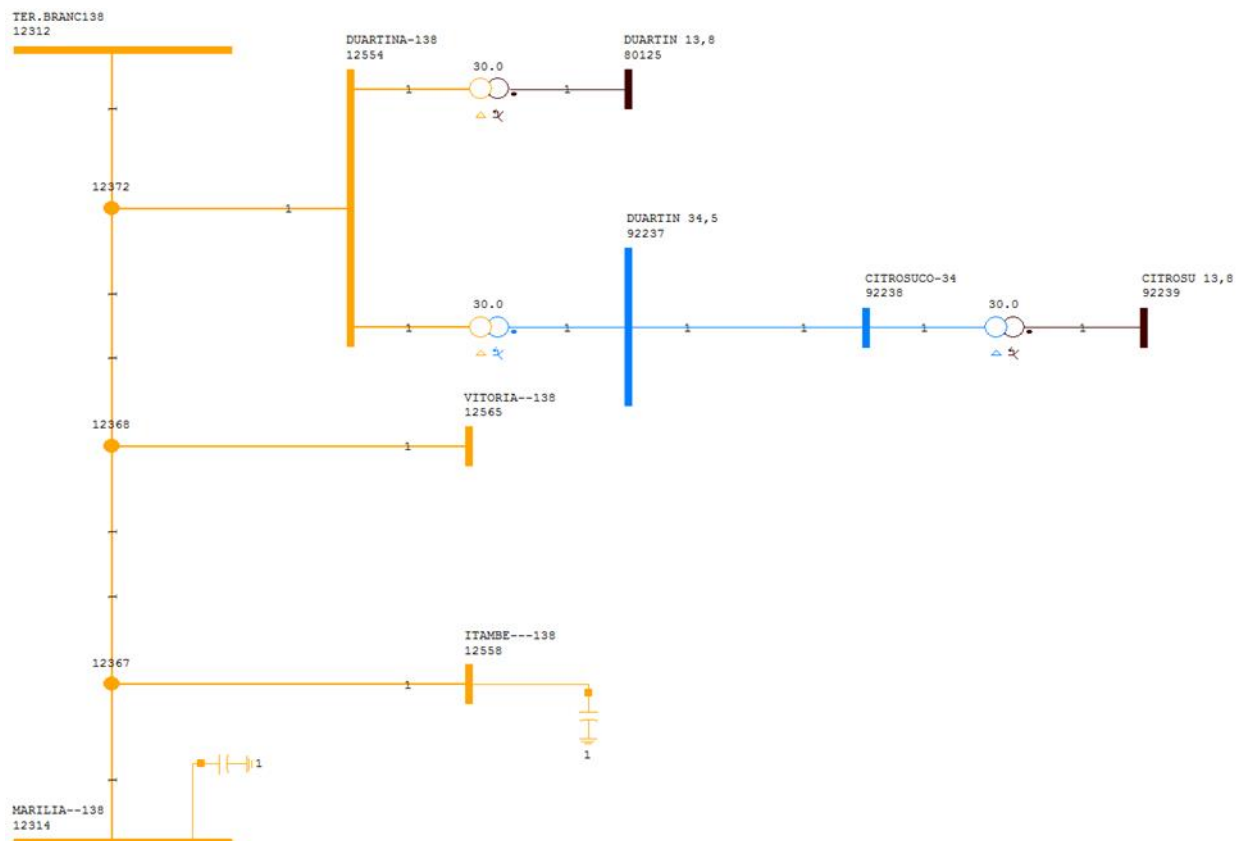



Figura 4 – Diagrama Unifilar do Sistema

N.Documento:	Categoria:	Versão:	Aprovado por:	Data Publicação:	Página:
16927	Instrução	1.3	Eduardo Henrique Trepodoro	05/05/2021	10 de 19

 <b>Interno</b>	Tipo de Documento:	Relatório Técnico
	Área de Aplicação:	Automação e Medição
	Título do Documento:	Características e Ajustes da Função de Proteção de Distância (ANSI 21)


### 5.6.2. Valores de Contribuição Vistos pelo Relé do Bay da LT 34,5 kV Citrusuco

Local do Curto-Circuito	Tipo	Z ( $\Omega_{SEC}$ )	Corrente IA ( $A_{PRIM}$ )	Corrente $3I_0$ ( $A_{PRIM}$ )
SE Duartina Barra 34,5 kV	3 $\phi$	0	0	0
	1 $\phi$	0	0	0
Saída LT Duartina – Citrusuco C1/C2	3 $\phi$	0,05	3883	0
	1 $\phi$	0,05	4061	4061
30% da LT Duartina – Citrusuco C1/C2	3 $\phi$	1,41	2376	0
	1 $\phi$	1,41	1562	1562
80% da LT Duartina – Citrusuco C1/C2	3 $\phi$	3,76	1406	0
	1 $\phi$	3,76	756	756
Fim da LT Duartina – Citrusuco C1/C2	3 $\phi$	4,65	1216	0
	1 $\phi$	4,65	632	632
Barra 34,5 kV da SE Citrusuco	3 $\phi$	4,70	1208	0
	1 $\phi$	4,70	626	626
Barra 13,8 kV da SE Citrusuco	3 $\phi$	10,92	639	0
	1 $\phi$	15,86	446	0

### 5.6.3. Valores de Contribuição nos Primários dos Transformadores das SE's Duartina (138/34,5 kV) e Citrusuco (34,5/13,8 kV)

Local do Curto-Circuito	Tipo	Corrente IA/ $3I_0$ ( $A_{PRIM}$ ) do lado de alta do TR 138/34,5 kV da SE Duartina	Corrente IA ( $A_{PRIM}$ ) no local do defeito	Corrente IA/ $3I_0$ ( $A_{PRIM}$ ) do lado de alta do TR 34,5/13,8 kV da SE Citrusuco
SE Duartina Barra 34,5 kV	3 $\phi$	992/0	3967	0
	1 $\phi$	620/0	4295	0
Saída LT Duartina – Citrusuco C1/C2	3 $\phi$	971/0	3883	0
	1 $\phi$	586/0	4061	0
30% da LT Duartina – Citrusuco C1/C2	3 $\phi$	594/0	2376	0
	1 $\phi$	225/0	1562	0
80% da LT Duartina – Citrusuco C1/C2	3 $\phi$	352/0	1406	0
	1 $\phi$	109/0	756	0

N.Documento:	Categoria:	Versão:	Aprovado por:	Data Publicação:	Página:
16927	Instrução	1.3	Eduardo Henrique Trepodoro	05/05/2021	11 de 19

 <b>Interno</b>	Tipo de Documento:	Relatório Técnico
	Área de Aplicação:	Automação e Medição
	Título do Documento:	Características e Ajustes da Função de Proteção de Distância (ANSI 21)

Local do Curto-Circuito	Tipo	Corrente $I_{A/3I_0}$ ( $A_{PRIM}$ ) do lado de alta do TR 138/34,5 kV da SE Duartina	Corrente $I_A$ ( $A_{PRIM}$ ) no local do defeito	Corrente $I_{A/3I_0}$ ( $A_{PRIM}$ ) do lado de alta do TR 34,5/13,8 kV da SE Citrosuco
Fim da LT Duartina – Citrosuco C1/C2	3 $\phi$	304/0	1216	0
	1 $\phi$	91/0	632	0
Barra 34,5 kV da SE Citrosuco	3 $\phi$	302/0	1208	0
	1 $\phi$	90/0	626	0
Barra 13,8 kV da SE Citrosuco	3 $\phi$	160/0	1596	639/0
	1 $\phi$	64/0	1931	446/0

#### 5.6.4. Dados do Transformador da SE Duartina

Potência nominal: 15/20/25 MVA

Tensão nominal: 138 – 34,5 kV

Impedância: 4,89 % (a 75° - 15 MVA)  $\rightarrow Z = 0,0489 \times (138)^2/15 = 62,083 \Omega$

Grupo de ligação: Dyn1

#### 5.6.5. Dados do Transformador da SE Citrosuco

Potência nominal: 5 MVA

Tensão nominal: 34,5 – 13,8 kV

Impedância: 6,38 % (a 75° - 5 MVA)  $\rightarrow Z = 0,0638 \times (34,5)^2/5 = 15,188 \Omega$

Grupo de ligação: Dyn1

#### 5.6.6. Dimensionamento das RTC's

Abaixo está descrito as relações de transformação disponíveis para os TC'S a serem utilizadas na proteção principal desta linha.

RTC: 50-100-150-200-250-300-400-450-500-600/5 (ft: 1,2 e lterm: 80 x In) Classe: 10B200


Os TC'S devem ser dimensionados para suportar a corrente de carga e não sofrer efeitos de saturação nas condições críticas de curto-circuito, além de suportar os efeitos térmicos e dinâmicos das correntes de curto-circuito.

De forma a evitar erros por saturação e não ter um valor extremamente elevado em relação às correntes circulantes, a relação do TC será escolhida de acordo com os quatro critérios citados abaixo:

##### a) Quanto ao regime permanente

A corrente nominal primária do TC deve atender à corrente de carga prevista e à corrente máxima de carga. Para este cálculo, será considerado o valor do limite térmico do cabo da linha que é de 637 A.

N.Documento:	Categoria:	Versão:	Aprovado por:	Data Publicação:	Página:
16927	Instrução	1.3	Eduardo Henrique Trepodoro	05/05/2021	12 de 19

 <b>Interno</b>	Tipo de Documento:	Relatório Técnico
	Área de Aplicação:	Automação e Medição
	Título do Documento:	Características e Ajustes da Função de Proteção de Distância (ANSI 21)

A corrente nominal do primário do TC deve ser maior que a máxima corrente de curto-circuito na linha dividido por 20. A máxima corrente de falta interna que circula pelo TC é dada para uma falta trifásica na saída da barra de 34,5 kV da LT Citrosuco C1/C2 (na SE Duartina) sem nenhuma contingência, cujo valor é de 3967 A. Portanto, por este critério, a mínima corrente nominal no primário do TC deverá ser igual a:

$$I_{\text{nom prim tc}} = I_{\text{cc max}}/20 = 3967/20 = 198,35 \text{ A.}$$

#### b) Quanto à condição de saturação

Considerando que a carga nos circuitos secundários dos transformadores de corrente (relés, cabos, etc) é bem menor que sua carga nominal, analisar-se-á um TC com relação 600/5 A e classe de exatidão 10B200.

Vamos utilizar a corrente de curto-circuito máxima de 3967 A (curto trifásico na saída da LT 34,5 kV Citrosuco C1/C2 da SE Duartina) passando pelo TC, para o cálculo de saturação do mesmo.

Exemplificando a utilização de um relé de proteção da AREVA – P443 e considerando uma carga de 0,45 VA/5 A e 50 m de condutores de cobre 4 mm<sup>2</sup>, temos:

$$\text{Impedância total (cálculo conservativo escalar)} \rightarrow Z_{\text{total}} = Z_{\text{fiação}} + Z_{\text{relé}} + Z_{\text{tc}}$$

#### - Cálculo de $Z_{\text{fiação}}$

Para o cálculo da resistência do cabo, serão utilizados valores típicos. A fórmula para este cálculo é:  $RL = 2 \cdot (\rho L / A)$ , onde:

$\rho$  - resistividade do cobre

L - comprimento do cabo

A - área da seção transversal do cabo

Valores utilizados:

$$A = 4 \text{ mm}^2$$

$$\rho = 0,0172 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$$

$$L = 50 \text{ m}$$

$$RL = 2 \cdot \{[(0,0172 \cdot 10^{-6}) \cdot 50] / (4 \cdot 10^{-6})\} = 0,43 \Omega$$

#### - Cálculo de $Z_{\text{relé}}$

Para o cálculo da resistência do relé, serão utilizados os valores obtidos no manual do fabricante do relé, que considera uma carga de 0,45 VA/5 A.

$$Z_{\text{relé}} = 0,45 / 5^2 = 0,018 \Omega$$

#### - Cálculo de $Z_{\text{tc}}$

Considerando-se um TC com baixa reatância de dispersão, neste caso, apenas a resistência é importante e pode ser considerada como 20% da carga do TC. Assim, para o TC de classe 10B200 que estamos verificando, com impedância de carga nominal de 2,0  $\Omega$ , a resistência de carga nominal é 1,0  $\Omega$  (obtido da tabela 10 da NBR6856/1992).

Portanto :

$$Z_{\text{tc}} = 0,2 \cdot 1,00 = 0,200 \Omega$$


Logo :

$$Z_{\text{total}} = Z_{\text{fiação}} + Z_{\text{relé}} + Z_{\text{tc}} \rightarrow Z_{\text{total}} = 0,43 + 0,018 + 0,200 = 0,648 = 0,65 \Omega$$

Considerando a máxima corrente de curto-circuito possível do lado de 34,5 kV, passando pelos TC'S, tem-se :  $I_{\text{cc}} = 3967 / 120 = 33,06 \text{ A}$

$$V_{\text{sat}} = I_{\text{cc}} \times Z_{\text{total}} \rightarrow V_{\text{sat}} = 33,06 \cdot 0,65 = 21,489 \rightarrow V_{\text{sat}} = 21,5 \text{ V}$$

N.Documento:	Categoria:	Versão:	Aprovado por:	Data Publicação:	Página:
16927	Instrução	1.3	Eduardo Henrique Trepodoro	05/05/2021	13 de 19

 <b>Interno</b>	Tipo de Documento:	Relatório Técnico
	Área de Aplicação:	Automação e Medição
	Título do Documento:	Características e Ajustes da Função de Proteção de Distância (ANSI 21)

#### Conclusão:

A tensão máxima desenvolvida no secundário do TC (200 V), é muito superior à tensão que aparece no secundário do TC quando da ocorrência de um curto máximo no circuito analisado. Consequentemente, pode-se afirmar que não ocorrerá saturação dos TC'S em questão.

#### c) Quanto à corrente térmica

Deverá atender à condição de curto-circuito máximo, durante 1 segundo. Como a corrente térmica do TC é de 40 kA/1 s, ela atende à presente instalação.

#### d) Quanto à corrente dinâmica

Deverá atender à condição de pico de corrente de curto-circuito máximo, durante ½ ciclo (meio ciclo). Como a corrente dinâmica do TC é de 100 kA por ½ ciclo (meio ciclo), ela atende à presente instalação.

### 5.6.7. Dimensionamento das RTP's

A relação de transformação do TP é de  $34,5/\sqrt{3} - 115 - 115/\sqrt{3}$  kV (0,3P-12,5A-P200). Portanto, a relação de transformação de tensão a ser utilizada é de:  
 $(34500/\sqrt{3}) \div (115/\sqrt{3}) = 300,33$   
 Então a relação de transformação será definida igual a 300.  
 $RTP = 300/1$  V


### 5.6.8. Dados das Linhas de Transmissão

Parâmetros de linha →  $R = 0,1902$  /  $R_0 = 0,3663$  /  $X = 0,3761$  /  $X_0 = 2,0866$  Ω/km  
 →  $R = 5,2980$  /  $R_0 = 10,203$  /  $X = 10,476$  /  $X_0 = 58,120$  Ω<sub>prim</sub>  
 →  $R = 2,1190$  /  $R_0 = 4,0810$  /  $X = 4,1900$  /  $X_0 = 23,248$  Ω<sub>sec</sub>  
 →  $Z_1 = 11,74 \angle 63,20^\circ \times (120/300) \rightarrow Z_1 = 4,700 \angle 63,20^\circ$  (Ω<sub>sec</sub>)  
 →  $Z_0 = 59,00 \angle 80,00^\circ \times (120/300) \rightarrow Z_0 = 23,60 \angle 80,00^\circ$  (Ω<sub>sec</sub>)  
 Comprimento da linha → 27,854 km

### 5.6.9. Valores de Corrente

Considerar-se-á que o carregamento máximo da linha será o limite térmico da bitola do cabo utilizado. O cabo considerado é o CAA 336,4 MCM (Cabo de alumínio nu com alma de aço). De acordo com a Orientação Técnica GED 4818, para uma temperatura de 75° no condutor citado à temperatura ambiente de 25°, a ampacidade para este cabo é de 637 A. Para realização dos cálculos de curtos-circuitos necessários neste estudo, foi utilizado o DEC de curto-circuito do ONS BR1512B (Maio/2016).

N.Documento:	Categoria:	Versão:	Aprovado por:	Data Publicação:	Página:
16927	Instrução	1.3	Eduardo Henrique Trepodoro	05/05/2021	14 de 19

 <b>Interno</b>	Tipo de Documento:	Relatório Técnico
	Área de Aplicação:	Automação e Medição
	Título do Documento:	Características e Ajustes da Função de Proteção de Distância (ANSI 21)

#### 5.6.10. Filosofia para Ajuste das Proteções da LT 34,5 kV Duartina – Citrosuco (Ajuste da Proteção de Distância de Fase)

Estes critérios foram adotados com base em filosofias empregadas pelas Concessionárias de Energia Elétrica e experiências em coordenação e seletividade da proteção.

##### 5.6.10.1. Primeira Zona

###### Alcance da Proteção de Distância de Fase Z1F (1ª zona)

Por ser uma linha radial, para esse ajuste considerar-se-á 100% da impedância da linha.

$$Z1F = 1,00 \times 4,70 = 4,70 \, \Omega$$

###### Temporização (T1F)

Nenhuma temporização proposital será aplicada à 1ª zona.

$$T1F = 0,00 \, \text{seg}$$

##### 5.6.10.2. Segunda Zona

###### Alcance da Proteção de Distância de Fase Z2F (2ª zona)

A 2ª zona atuará como retaguarda para curtos-circuitos entre fases no segmento inicial de espiras do enrolamento primário do transformador instalado na entrada da SE Citrosuco. Seu alcance será definido pela impedância total da LT em estudo, mais 30% da impedância do transformador considerado.

$$Z2F = \text{Impedância da LT} + 30\% \text{ impedância do transformador}$$

$$Z2F = [(5,298 + j \, 10,476) + 0,30 \times (j \, 15,188)] \times (120/300)$$

$$Z2F = [(5,298 + j \, 10,476) + (j \, 4,5564)] \times (120/300)$$

$$Z2F = 6,40 \, \Omega$$

###### Temporização (T2F)

Adotada uma temporização de 500 [ms].

$$T2F = 0,500 \, \text{seg}$$

##### 5.6.10.3. Terceira Zona

###### Alcance da Proteção de Distância de Fase Z3F (3ª zona)

A 3ª zona atuará como retaguarda para curtos-circuitos entre fases no segmento inicial de espiras do enrolamento primário do transformador instalado na entrada da SE Citrosuco. Seu alcance será definido pela impedância total da LT em estudo, mais 70% da impedância do transformador considerado.

$$Z3F = \text{Impedância da LT} + 70\% \text{ impedância do transformador}$$


$$Z3F = [(5,298 + j \, 10,476) + 0,70 \times (j \, 15,188)] \times (120/300)$$

$$Z3F = [(5,298 + j \, 10,476) + (j \, 10,632)] \times (120/300)$$

$$Z3F = 8,70 \, \Omega$$

N.Documento:	Categoria:	Versão:	Aprovado por:	Data Publicação:	Página:
16927	Instrução	1.3	Eduardo Henrique Trepodoro	05/05/2021	15 de 19



 <b>Interno</b>	Tipo de Documento:	Relatório Técnico
	Área de Aplicação:	Automação e Medição
	Título do Documento:	Características e Ajustes da Função de Proteção de Distância (ANSI 21)

#### Temporização (T3F)

Adotada uma temporização de 1000 [ms].

T3F = 1,000 seg

### **5.6.11. Filosofia para Ajuste das Proteções da LT 34,5 kV Duartina – Citrosuco (Ajuste da Proteção de Distância de Terra)**

A proteção de distância de terra apresenta as características MHO e Quadrilateral para defeitos entre fase e terra. As duas características operam simultaneamente.

#### **5.6.11.1. Primeira Zona**

##### Alcance da Proteção de Distância de Terra Z1G e RZ1G (1ª zona)

Por ser uma linha radial, para esse ajuste considerar-se-á 100% da impedância da linha.

$Z1G = 1,00 \times 4,70 = 4,70 \, \Omega$

Ajustar o alcance resistivo da característica quadrilateral da primeira zona (RZ1G) acima da resistência de pé de torre (15 ohms primários – GED 26 item 8.8). Ajustar para 30 ohms primários.

$RZ1G = 12,00 \, \Omega$

##### Temporização (T1G)

Nenhuma temporização proposital será aplicada à 1ª zona.

T1G = 0,00 seg

#### **5.6.11.2. Segunda Zona**

##### Alcance da Proteção de Distância de Terra Z2G e RZ2G (2ª zona)

A 2ª zona atuará como retaguarda para curtos-circuitos entre fase e terra no segmento inicial de espiras do enrolamento primário do transformador instalado na entrada da SE Citrosuco. Seu alcance será definido pela impedância total da LT em estudo, mais 30% da impedância do transformador considerado.

$Z2G = \text{Impedância da LT} + 30\% \text{ impedância do transformador}$

$Z2G = [(5,298 + j 10,476) + 0,30 \times (j 15,188)] \times (120/300)$

$Z2G = [(5,298 + j 10,476) + (j 4,5564)] \times (120/300)$

$Z2G = 6,40 \, \Omega$

Ajustar o alcance resistivo da característica quadrilateral da segunda zona (RZ2G) para:

$RZ2G = [Z2G \times (RZ1G/Z1G)] \rightarrow RZ2G = [6,40 \times (12,00/4,70)]$

$RZ2G = 16,34 \, \Omega$


##### Temporização (T2G)

Adotada uma temporização de 500 [ms].

T2G = 0,500 seg

N.Documento:	Categoria:	Versão:	Aprovado por:	Data Publicação:	Página:
16927	Instrução	1.3	Eduardo Henrique Trepodoro	05/05/2021	16 de 19



 <b>Interno</b>	Tipo de Documento:	Relatório Técnico
	Área de Aplicação:	Automação e Medição
	Título do Documento:	Características e Ajustes da Função de Proteção de Distância (ANSI 21)

### 5.6.11.3. Terceira Zona

#### Alcance da Proteção de Distância de Terra Z3G RZ3G (3ª zona)

A 3ª zona atuará como retaguarda para curtos-circuitos entre fase e terra no segmento inicial de espiras do enrolamento primário do transformador instalado na entrada da SE Citrosuco. Seu alcance será definido pela impedância total da LT em estudo, mais 70% da impedância do transformador considerado.

$Z3G = \text{Impedância da LT} + 70\% \text{ impedância do transformador}$

$Z3G = [(5,298 + j 10,476) + 0,70 \times (j 15,188)] \times (120/300)$

$Z3G = [(5,298 + j 10,476) + (j 10,632)] \times (120/300)$

$Z3G = 8,70 \Omega$

Ajustar o alcance resistivo da característica quadrilateral da terceira zona (RZ3G) para:

$RZ3G = (1,25 \times RZ2G) \rightarrow RZ3G = (1,25 \times 16,34)$

$RZ3G = 20,43 \Omega$

#### Temporização (T3G)

Adotada uma temporização de 1000 [ms].

$T3G = 1,000 \text{ seg}$

### 5.6.11.4. Fatores de Compensação

Definem o fator de compensação da impedância de sequência zero vista pela unidade de medição do relé. Os fatores de compensação de impedância de terra ( $K_0$ ) são definidos com magnitude e ângulo, que pode ser calculado com dados da linha. Cada fabricante utiliza uma equação para o cálculo do  $K_0$ .

Exemplo:

#### Fabricante Siemens

$K_0 = Z_E/Z_L = 1/3 \times (Z_0/Z_1 - 1)$

$K_0 = 1/3 \times \{[(23,60 \angle 80,00^\circ)/(4,70 \angle 63,20^\circ)] - 1\}$

$K_0 = 1,358 \angle 20,90^\circ$

#### Fabricante SEL

$K_0 M \angle K_0 A = [(Z_0 \text{MAG} \angle Z_0 \text{ANG}) - (Z_1 \text{MAG} \angle Z_1 \text{ANG})]/[3 \times (Z_1 \text{MAG} \angle Z_1 \text{ANG})]$

$K_0 M \angle K_0 A = [(23,60 \angle 80,00^\circ) - (4,70 \angle 63,20^\circ)]/[3 \times (4,70 \angle 63,20^\circ)]$


$K_0 M \angle K_0 A = 1,358 \angle 20,90^\circ$

## 5.6.12. Filosofia para Ajuste das Proteções da LT 34,5 kV Duartina – Citrosuco (Ajuste da Proteção de Sobrecorrente Direcional de Fase)

### 5.6.12.1. Função Temporizado (67T)

Ajustar a função como proteção de retaguarda para faltas entre fases ao longo da linha de transmissão. Ajustar um “pick-up” que possibilite a transmissão de uma potência máxima limitada pela capacidade de condução de corrente dos condutores da linha de transmissão.

N.Documento:	Categoria:	Versão:	Aprovado por:	Data Publicação:	Página:
16927	Instrução	1.3	Eduardo Henrique Trepodoro	05/05/2021	17 de 19

 <b>Interno</b>	Tipo de Documento:	Relatório Técnico
	Área de Aplicação:	Automação e Medição
	Título do Documento:	Características e Ajustes da Função de Proteção de Distância (ANSI 21)

Definir como 1,2 vezes a corrente do limite térmico do cabo da linha, de forma a evitar atuação da função para uma condição de carga.

Quanto à temporização, ajustar uma característica de tempo inverso para operação com um tempo de 1,0 seg, para um curto-circuito trifásico na saída da linha de transmissão.

#### 5.6.12.2. Função Instantânea (67I)

Será definida igual a 1,25 vezes a corrente de sequência positiva que circula pelo relé, para um curto-circuito trifásico na barra da SE Citrusuco.

### 5.6.13. Filosofia para Ajuste das Proteções da LT 34,5 kV Duartina – Citrusuco (Ajuste da Proteção de Sobrecorrente Direcional de Terra)

#### 5.6.13.1. Função Temporizado (67NT)

Ajustar a função como proteção de retaguarda para faltas envolvendo a terra ao longo da linha de transmissão. O pickup deve ser definido o mais sensível possível de forma que consiga detectar defeitos com elevada resistência de falta. No entanto, para se ter uma margem de segurança e evitar atuações indevidas por erros de medições, configurar em 10% da corrente nominal do TC utilizado. Ajustar uma característica de tempo inverso para operação com um tempo de 0,5 seg, para um curto-circuito fase-terra no final da linha de transmissão.

#### 5.6.13.2. Função Instantânea (67NI)


Será definida igual a 1,20 vezes a corrente de sequência zero que circula pelo relé, para um curto-circuito na barra da SE Citrusuco.

## 6. REGISTRO DE ALTERAÇÕES

### 6.1. Colaboradores

Empresa	Área	Nome
CPFL Paulista	RESM	Paulo Cesar Scarassati
CPFL Paulista	RESM	Newton José de Salles
CPFL Paulista	RESM	Tiago dos Santos Silverio Lino

N.Documento:	Categoria:	Versão:	Aprovado por:	Data Publicação:	Página:
16927	Instrução	1.3	Eduardo Henrique Trepodoro	05/05/2021	18 de 19

 <b>Interno</b>	Tipo de Documento:	Relatório Técnico
	Área de Aplicação:	Automação e Medição
	Título do Documento:	Características e Ajustes da Função de Proteção de Distância (ANSI 21)

## 6.2. Alterações

**Importante:** O conhecimento das alterações apresentadas neste item não torna dispensável a leitura integral do documento.

Versão Anterior	Data da Versão Anterior	Alterações em relação à Versão Anterior
1.0	25/08/2016	-
1.1	26/08/2016	Inclusão do item Registro de Revisão
1.2	29/08/2016	Correção valores função RZ1G, RZ2G, RZ3G
1.3	19/04/2021	Revisão e Adequação ao GED 0

N.Documento:	Categoria:	Versão:	Aprovado por:	Data Publicação:	Página:
16927	Instrução	1.3	Eduardo Henrique Trepodoro	05/05/2021	19 de 19