



UNIVERSIDADE
FEDERAL DO CEARÁ

Distribuição de Energia Elétrica

Cálculo de curto-circuito e seletividade da proteção em sistemas de distribuição

Prof. Lucas S Melo

Junho de 2017

Estudos de curto-circuito

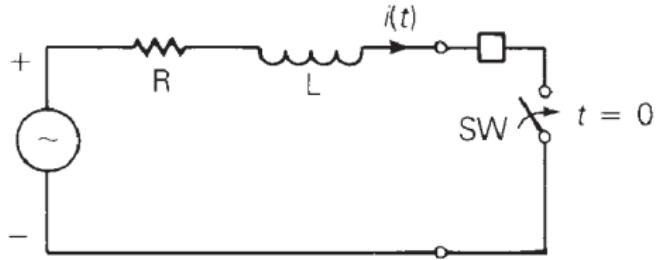
As principais causas de ocorrência de curto-circuito no SEP são:

- **Sobretensões** em decorrência de descargas atmosféricas ou chaveamentos na rede;
- falha dos equipamentos de **isolação**;
- ruptura ou **falha mecânica** das estruturas de suporte da rede ou dos condutores.

A corrente de curto-circuito ocasionada pode ser calculada sabendo as seguintes informações:

- **tensões internas** das máquinas síncronas;
- **impedâncias dos equipamentos** entre as tensões internas das máquinas e o local de ocorrência da falta.

Transitório no Circuito RL



A equação diferencial que descreve o comportamento do circuito RL, quando aplicada-se uma tensão senoidal é:

$$V_{max} \sin(\omega t + \alpha) = Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt} \quad (1)$$

Transitório no circuito RL

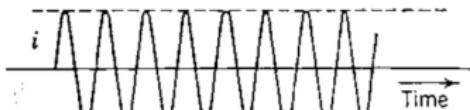
A solução desta equação é dada por:

$$i(t) = \frac{V_{max}}{|Z|} \left[\sin(\omega t + \alpha - \theta) - e^{-\frac{Rt}{L}} \sin(\alpha - \theta) \right] \quad (2)$$

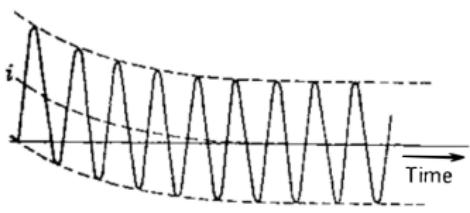
Em que,

$$|Z| = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$$

$$\theta = \tan^{-1}(\omega L / R)$$



(a)



(b)

Transitório no circuito RL

As componentes contínua (trasitória) e alternada (em regime) são dadas em separado pelas seguintes equações:

$$i_{ac}(t) = \frac{V_{max}}{|Z|} \sin(\omega t + \alpha - \theta) \quad (3)$$

$$i_{cc}(t) = \frac{V_{max}}{|Z|} \sin(\alpha - \theta) e^{-\frac{Rt}{L}} \quad (4)$$

Caso no instante do chaveamento $\alpha - \theta = -\pi/2$ a corrente resultante terá sua assimetria máxima e as componentes ac e cc serão:

$$i_{ac}(t) = -\frac{V_{max}}{|Z|} \cos(\omega t) \quad (5)$$

$$i_{cc}(t) = \frac{V_{max}}{|Z|} e^{-\frac{R}{L}t} \quad (6)$$

Transitório no circuito RL

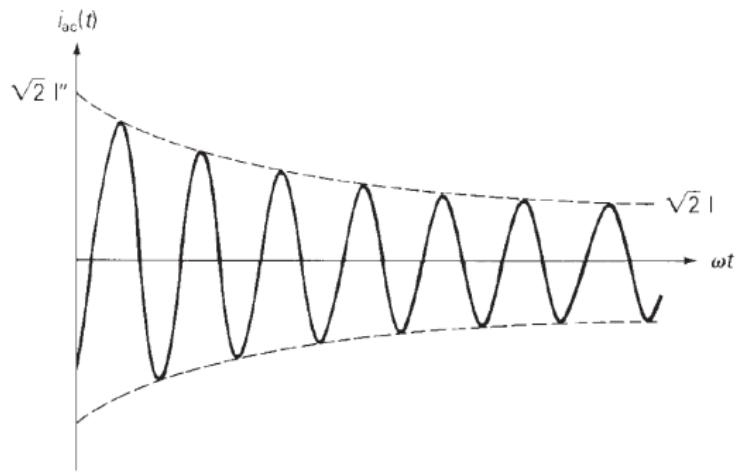
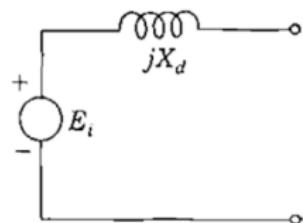
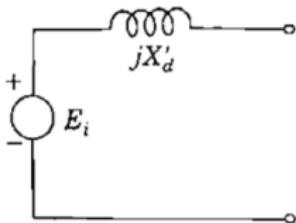
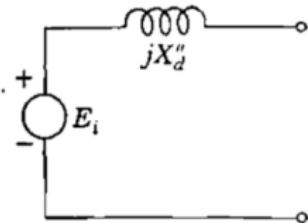


Figura: Corrente nos terminais de uma máquina síncrona mediante curto-circuito

Reatâncias Síncronas



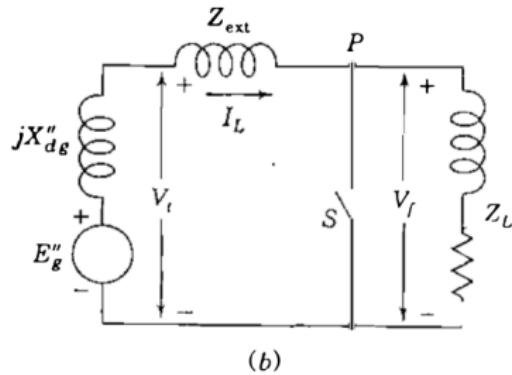
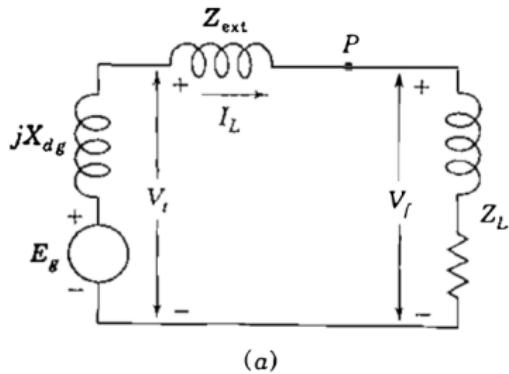
- X_d'' : Reatância sub-transiente (estudos de cc);
- X_d' : Reatância transiente (estudos de estabilidade);
- X_d : Reatância de estado permanente (estudos de fc).

$$X_d'' < X_d' < X_d \quad (7)$$

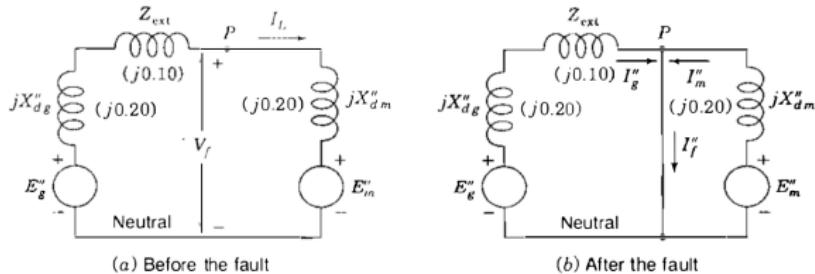
$$|I_d''| > |I_d'| > |I_d| \quad (8)$$

Estudo de curto-circuito

Quando se trata de um **sistema simples**, ou seja com **poucas barras**, quando se tem os dados do circuito o cálculo se torna **imediato**. Dado o seguinte exemplo:



Estudo de curto-círcuito



Calcula-se a impedância de Thevenin:

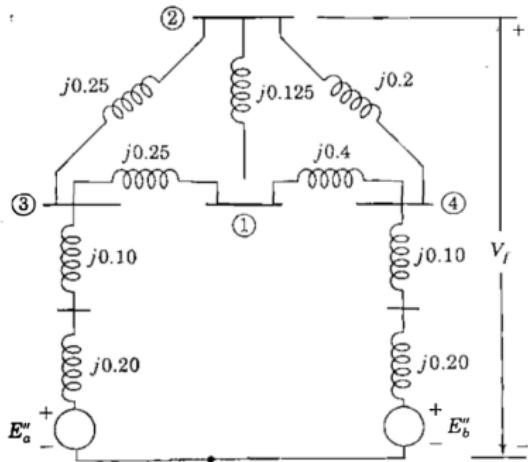
$$Z_{th} = \frac{jX_{dm}''(Z_{ext} + jX_{dg}'')}{Z_{ext} + j(X_{dg}'' + X_{dm}'')} \quad (9)$$

A partir deste resultado, encontra-se a corrente de falta:

$$I_f'' = \frac{V_f}{Z_{th}} \quad (10)$$

Cálculo de faltas usando Z_{barra}

Mas se a rede for um pouco mais complexa, como a mostrada na Figura abaixo?



Nesse caso é preciso representar o sistema por meio da matriz de impedância de barra Z_{barra} .

Representação do Sistema Elétrico de Potência

$$\mathbf{V}_{nx1} = \mathbf{Z}_{nxn} \cdot \mathbf{I}_{nx1} \quad (11)$$

Em que,

- \mathbf{V}_{nx1} é um vetor coluna contendo as tensões nas barras do sistema;
- \mathbf{Z}_{nxn} é a matriz de impedância de barra do sistema, definida por:

$$\mathbf{Z}_{nxn} = \mathbf{Y}_{nxn}^{-1} \quad (12)$$

Em que \mathbf{Y}_{nxn} é a matriz de admitâncias do sistema;

- \mathbf{I}_{nx1} é um vetor coluna contendo as correntes injetadas no sistema.

Cálculo de faltas usando Z_{barra}

De maneira geral, a **corrente de curto-circuito trifásico numa barra k qualquer** do sistema é dada pela expressão:

$$I_f'' = \frac{V_f}{Z_{kk}} \quad (13)$$

Matematicamente, é possível demonstrar que:

$$Z_{kk} = Z_{th} \quad (14)$$

Cálculo de faltas usando Z_{barra}

Para obter o **fluxo de corrente ocasionado por um curto-circuito na barra** k , em cada uma das linhas do sistema, utilizamos a expressão:

$$I''_{ij} = -\frac{V_f}{Z_{ij}} \left(\frac{Z_{ik} - Z_{jk}}{Z_{kk}} \right) \quad (15)$$

Estudo de curto-circuito

Aplicando os conceitos da teoria de componentes simétricas chegamos aos valores das correntes para cada um dos tipos de curto-circuito:

- trifásico;
- monofásico;
- bifásico;
- bifásico à terra.

Correntes de curto-circuito

Para o **curto-circuito trifásico**:

$$V_a = V_b = V_c = 0,0 \text{ V} \quad (16)$$

Como este tipo de curto-circuito é equilibrado, as componentes sequência zero e negativa são zero, e a corrente de curto-circuito é dada por:

$$I_{cc3\phi} = \frac{V}{Z_{eq,1}} \quad (17)$$

Correntes de curto-circuito

Para o **curto-circuito monofásico**:

$$V_a = 0,0 \text{ V} \quad (18)$$

$$I_b = I_c = 0,0 \text{ A} \quad (19)$$

Para estas condições de contorno, aplicando componentes simétricas obtemos:

$$I_1 = I_2 = I_0 = \frac{I_a}{3} \quad (20)$$

$$I_{cc1\phi} = 3 \cdot I_1 \quad (21)$$

$$I_{cc1\phi} = \frac{3 \cdot V}{z_1 + z_2 + z_0 + 3 \cdot z_g} \quad (22)$$

Correntes de curto-circuito

Para o **curto-circuito bifásico**:

$$V_b = V_c \quad (23)$$

$$I_a = 0,0 \text{ A} \quad (24)$$

$$I_b = -I_c \quad (25)$$

Para estas condições de contorno, aplicando componentes simétricas obtemos:

$$I_{cc2\phi} = \frac{\sqrt{3} \cdot V}{z_1 + z_2} \quad (26)$$

Correntes de curto-circuito

Para o **curto-circuito bifásico à terra**:

$$V_b = V_c = 0,0 \text{ V} \quad (27)$$

$$I_a = I_c = 0,0 \text{ V} \quad (28)$$

Para estas condições de contorno, aplicando componentes simétricas obtemos:

$$I_b = \frac{-j\sqrt{3}V[(a^2 + 1)z_2 + z_0]}{z_0z_1 + z_0z_2 + z_1z_2} \quad (29)$$

$$I_c = \frac{j\sqrt{3}V[(a + 1)z_2 + z_0]}{z_0z_1 + z_0z_2 + z_1z_2} \quad (30)$$

Impedâncias de sequência

Definidas as expressões para cálculo das correntes de curto-circuito, as **impedâncias de sequência** de cada equipamento devem ser definidas, os principais componentes são:

- cabos;
- transformadores;
- geradores;
- motores.

Impedâncias de sequência: Cabos

As impedâncias de sequências dos cabos irão depender do tipo de condutor e de seu arranjo geométrico nas estruturas de sustentação da linha. Uma vez cálculas as impedâncias de fase, obtém-se as impedâncias de sequência conforme demonstrado nas aulas anteriores:

$$\mathbf{Z}_{012} = \mathbf{A}^{-1} \cdot \mathbf{Z}_{abc} \cdot \mathbf{A} = \begin{bmatrix} z_{00} & z_{01} & z_{02} \\ z_{10} & z_{11} & z_{12} \\ z_{20} & z_{21} & z_{22} \end{bmatrix} \quad (31)$$

Impedâncias de sequência: Cabos

Caso o sistema seja considerado equilibrado, temos que:

$$z_s = \frac{1}{3} \cdot (z_{aa} + z_{bb} + z_{cc}) \quad (32)$$

$$z_m = \frac{1}{3} \cdot (z_{ab} + z_{bc} + z_{ca}) \quad (33)$$

E as impedâncias de sequência serão dadas por:

$$z_0 = z_s + 2 \cdot z_m \quad (34)$$

$$z_1 = z_s - z_m \quad (35)$$

$$z_2 = z_s - z_m \quad (36)$$

Impedâncias de sequência: Transformadores

A impedância de **sequência positiva** do transformador é **definida pelo fabricante** e obtida por meio de ensaios de curto-círcuito.

Pelo transformador ser um elemento passivo no sistema, sua impedância de **sequência negativa** é **idêntica a de sequência positiva**.

Impedâncias de sequência: Transformadores

NÍVEIS DE ISOLAMENTO (kV)		
TENSÕES SUPORTÁVEIS (kV)		ENROLAMENTOS
		AT BT NEUTRO
MÁXIMA DO EQUIPAMENTO		72,5 15 15
IMPULSO ATMOSFÉRICO (crista)		350 110 110
FREQUÊNCIA INDUSTRIAL	INDUZIDA (eficaz)	140 CONSEQ. CONSEQ.
	APLICADA (eficaz)	140 34 34
IMPEDÂNCIA A 75°C BASE 5 MVA		
TENSÃO (V)	%	ELEVAÇÃO DE TEMPERATURA (°C)
70950/13800	6,90	MÉDIA DOS ENROLAMENTOS 55
69300/13800	6,93	ÓLEO 55
64350/13800	7,16	DO PONTO MAIS QUENTE 65
CORRENTES DE CURTO-CIRCUITO (kA)		
TERMINAIS		AT BT
SIMÉTRICA (2 s)		0,64 3,00
ASSIMÉTRICA		1,61 7,50
CORRENTE DE EXCITAÇÃO BASE 5 MVA (%)		
0,63		

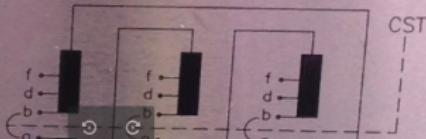


Figura: Dados de placa de transformador 5/6,25 MVA

Impedâncias de sequência: Transformadores

O valor da impedância que é identificado na placa do transformador equivale à **impedância percental na sua potência base**. Portanto para obtermos o valor da impedância do transformador na base adotada para o estudo de seletividade aplica-se a seguinte equação:

$$Z_{pu} = \frac{Z\%}{100} \cdot \frac{S_{estudo}}{S_{trafo}} \cdot \left(\frac{V_{trafo}}{V_{estudo}} \right)^2 \quad (37)$$

Em que $Z\%$ é o valor encontrado na placa do transformador, S_{estudo} e V_{estudo} são os valores de potência e tensão adotados como base para o estudo de seletividade e S_{trafo} e V_{trafo} são os valores utilizados para o cálculo de $Z\%$ pelo fabricante do trafo.

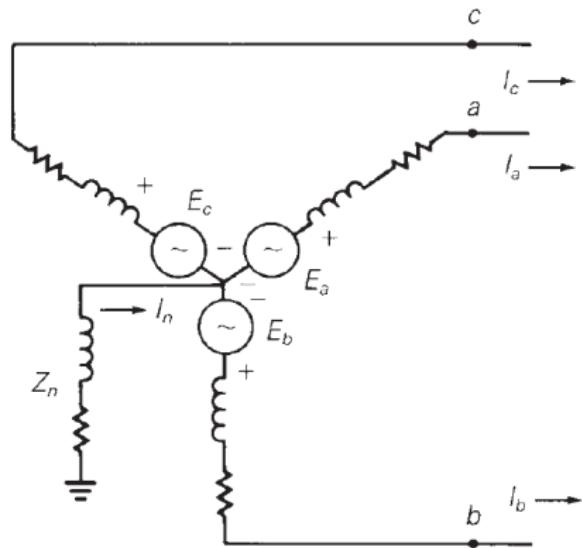
Impedâncias de sequência: Transformadores

Já a impedância de sequência zero do transformador irá depender de suas conexões:

Transformador 3 δ 2 enrolamentos	Circuitos equivalentes por fase da sequência zero
	<p>Diagram illustrating the equivalent circuit for a Y-Y transformer connection. The primary side (P) has an impedance of $X_0/2$ in series. The secondary side (S) has a load with an impedance of $4.5X_0$ in series.</p>
	<p>Diagram illustrating the equivalent circuit for a Y-T transformer connection. The primary side (P) has an impedance of $X_0/2$ in series. The secondary side (S) has a load with an impedance of $4.5X_0$ in series.</p>
	<p>Diagram illustrating the equivalent circuit for a Y-△ transformer connection. The primary side (P) has an impedance of $0.85X_0$ in series.</p>

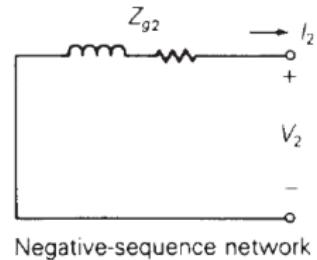
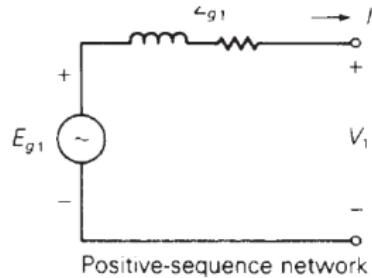
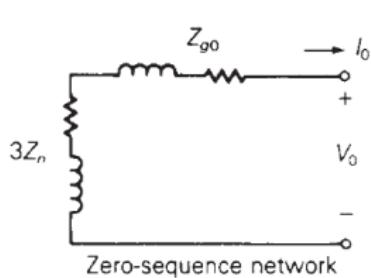
Impedâncias de sequência: Gerador Síncrono

O modelo elétrico de uma máquina síncrona com seus enrolamentos de armadura conectados em Y e com neutro aterrado por uma impedância de aterramento Z_n é mostrado na Figura abaixo:



Impedâncias de sequência: Gerador Síncrono

Os circuitos de sequência positiva, negativa e zero dessa máquina são mostrados na Figura:



Proteção de sistema de distribuição

O cálculo das correntes de curto-circuito é importante para duas tarefas:

- especificação de equipamentos;
- ajuste das funções de proteção do sistema.

Proteção sistema de distribuição

Para o sistema de distribuição as impedâncias equivalentes do sistema são disponibilizadas por softwares como ANAFAS:

RELATORIO DE IMPEDANCIAS DE BARRA - RETÂNGULAR

X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X	IDENTIFICACAO	SEQUENCIA	POS.	SEQUENCIA	ZERO	REATOR DE CURTO	X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X		
X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X	NUM.	NOME	R (%)	X (%)	R (%)	X (%)	X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X		
	9152	AQUIRAZ	13.8	1.3770	44.3944	0.0000	34.5250	1.3770	78.9194
	9171	AQUIRAZ	69	1.3770	8.3845	1.6100	50.0680	2.9870	58.4525
	9032	AGF-I	13.8	0.9412	69.5998	0.0000	63.5000	0.9412	133.0998
	9033	AGF-II	13.8	0.9412	69.6498	0.0000	63.5500	0.9412	133.1998
	9031	A.FRIA	69	0.9412	6.0998	2.1483	34.4328	3.0895	40.5326
	9731	ESB	13.8	3.8870	51.0545	0.0000	36.0600	3.8870	87.1145
	9730	ESB	69	3.8870	14.9945	7.0400	79.8580	10.9270	94.8525

RELATORIO DE NIVEIS DE CURTO-CIRCUITO

X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X	IDENTIFICACAO	T R I F A S I C O				M O N O F A S I C O				X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X
X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X	NUM.	VBAS	MOD (kA)	ANG(gr)	X/R	MOD (kA)	ANG(gr)	X/R	X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X	
	9152	AQUIRAZ	13.8	9.42	-88.22	32.24	10.18	-88.72	44.78	
	9171	AQUIRAZ	69	69.0	9.85	-80.67	6.09	3.75	-86.26	15.32
	9032	AGF-I	13.8	6.01	-89.23	73.95	6.19	-89.47	107.69	
	9033	AGF-II	13.8	6.01	-89.23	74.00	6.19	-89.47	107.76	
	9031	A.FRIA	69	69.0	13.56	-81.23	6.48	5.36	-85.06	11.57
	9731	ESB	13.8	8.17	-85.65	13.13	9.07	-86.78	17.77	
	9730	ESB	69	69.0	5.40	-75.47	3.86	2.26	-82.32	7.42

Proteção de sistema de distribuição

Os relés de proteção devem então ser parametrizados para proteger os equipamentos do sistema. No sistema de distribuição o relé mais utilizado é o relé de sobre corrente que tem entre suas principais funções de proteção:

- 50/51P - Sobrecorrente de fase instantânea e temporizada;
- 50/51G - Sobre-corrente residual instantânea e temporizada;
- 50/51N – Sobre-corrente de neutro instantânea e temporizada;
- 46 – Sobre-corrente de Sequência Negativa;
- 50BF – Falha de disjuntor;
- 79 – Religamento automático;

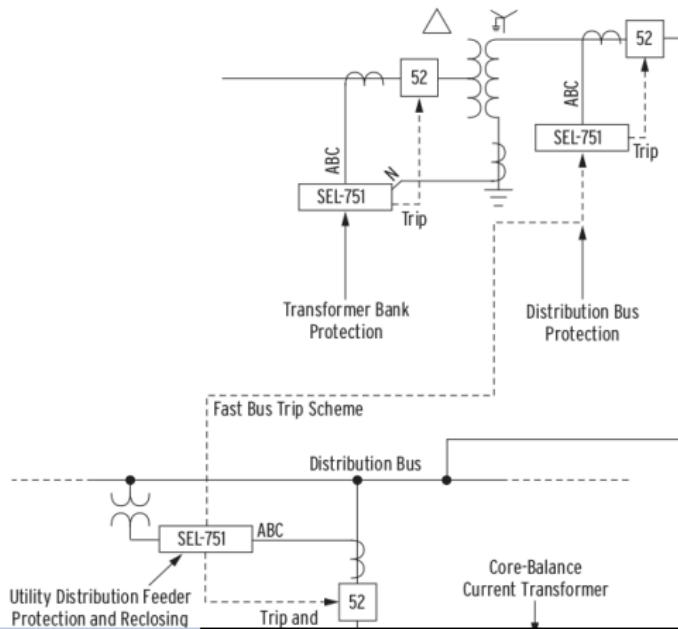
Proteção de sistema de distribuição

Um exemplo de relé utilizado no sistema de distribuição é o modelo da SEL 751:

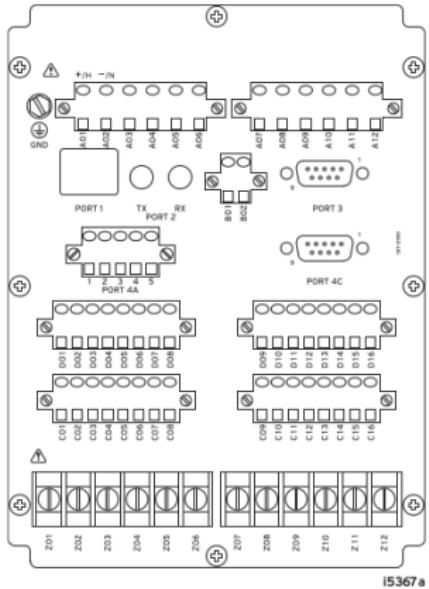


Proteção de sistema de distribuição

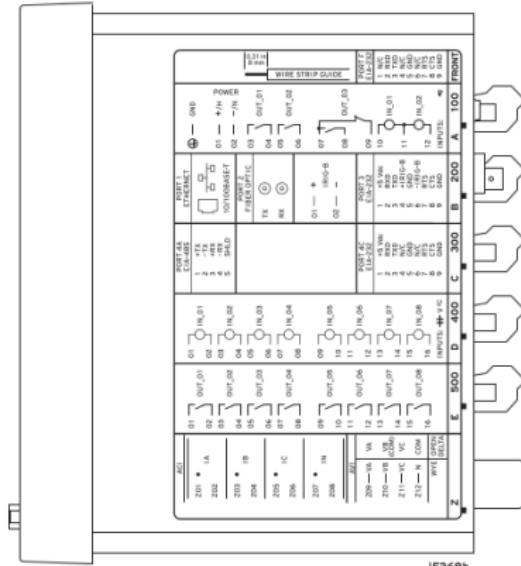
Alguns pontos do sistema em que o relé SEL751 pode ser conectado para atuar como relé de sobrecorrente estão mostrados na Figura:



Proteção de sistema de distribuição



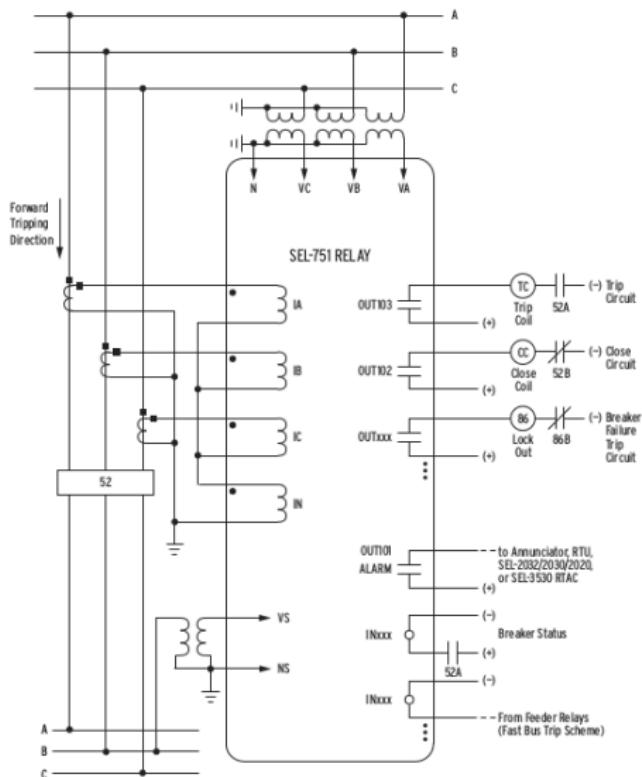
(A) Rear-Panel Layout



† SEE DOCUMENTATION FOR INPUT VOLTAGE RATING

(B) Side-Panel Input and Output Designations

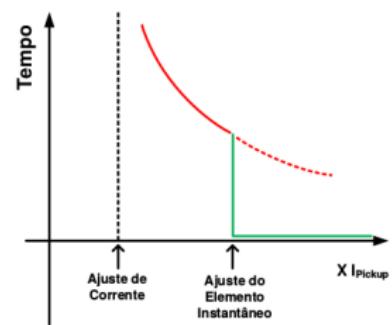
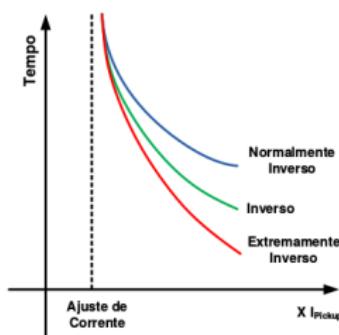
Proteção de sistema de distribuição



Proteção de sistemas de distribuição

O relé de sobrecorrente tem basicamente dois ajustes:

- pickup de sobrecorrente temporizada;
- pickup de sobrecorrente instantânea.



Proteção de sistemas de distribuição

As curvas de sobrecorrente são definidas pela equação:

$$t_{op} = DIAL \cdot \frac{\beta}{M^\alpha - 1} + L \quad (38)$$

Essas curvas são padronizadas pela ANSI e IEEE de acordo com as nomenclaturas e coeficientes que seguem:

Tipo de Curva	Norma	β	α	L
Normalmente Inversa	IEC	0,14	0,02	0
Muito Inversa		13,5	1	0
extremamente Inversa		80	2	0
Inversa Longa		120	1	0
Moderadamente Inversa	IEEE/ANSI	0,0515	2	0,18
Muito Inversa		19,61	2	0,491
Extremamente Inversa		28,2	2	0,1215

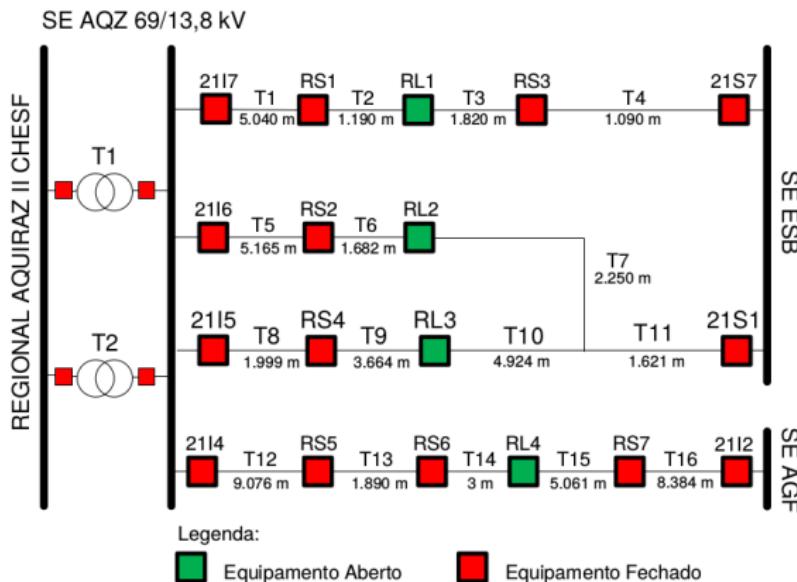
Proteção de sistemas de distribuição

Sistema de distribuição da cidade de Aquiraz:



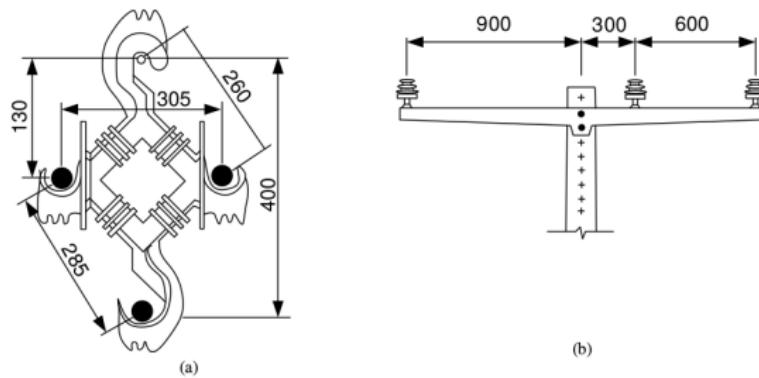
Proteção de sistemas de distribuição

Diagrama da rede de Aquiraz com suas encontros de alimentadores:



Proteção de sistemas de distribuição

Tipos de condutores e estruturas utilizadas na rede de Aquiraz:



Item	Tipo	Bitola	Formação (Nº Fios)	Diâmetro (mm)	Resistência Elétrica a 20° (ohm/km)	Corrente Nominal (A)
1	CAA (PARTRIDGE)	266,8 MCM	26/7	16,31	0,2100	475
2	CAA (POPPY)	1/0 AWG	6/1	10,11	0,5243	242
3	COBRE NÚ	95 mm ²	19	12,5	0,198	438
4	SPACE	240 mm ²	30	19,2	0,125	617

Proteção de sistemas de distribuição

Correntes de carga de cada um dos setores da rede de distribuição de Aquiraz:

Trecho	Corrente de Carga Pesada (A)	Cabo Limitante	Ampacidade (A)
T1	23	CCA 266,8 MCM	475
T2	57	CCA 266,8 MCM	475
T3	75	CCA 266,8 MCM	475
T4	105	CCA 266,8 MCM	475
T5	21	CCA 266,8 MCM	475
T6	106	CCA 266,8 MCM	475
T7	-	CCA 266,8 MCM	475
T8	83	CCA 266,8 MCM	475
T9	62	CCA 1/0 AWG	242
T10	-	CCA 1/0 AWG	242
T11	-	CCA 266,8 MCM	475
T12	126	CU 95mm ²	438
T13	42	CU 95mm ²	438
T14	77	CU 95mm ²	438
T15	89	CU 95mm ²	438
T16	246	CU 95mm ²	438
T7, T10, T11	155	-	-

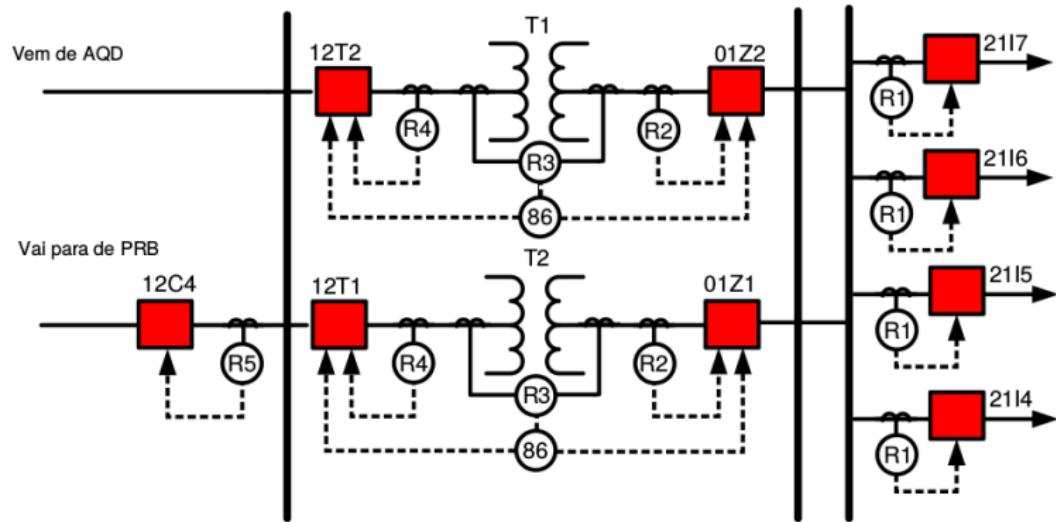
Proteção de sistemas de distribuição

Dados dos transformadores da SE AQZ:

Dados dos transformadores		
Código	T1	T2
Fabricante	CEMEC	CEMEC
Potência	10/12,5/15 MVA	10/12,5/15 MVA
Tensões	69/13,8 kV	69/13,8 kV
Correntes	418/523/627 A	418/523/627 A
Ligação	DY1 - aterrado	DY1 - aterrado
Impedância	6,84%	6,84%

Proteção de sistemas de distribuição

Diagrama unifilar da SE AQZ simplificado:



Proteção de sistemas de distribuição

Tabelas com valores das impedâncias de sequência positiva e zero dos condutores da rede e de cada um dos setores da rede:

Impedância (Ω/km)	CCA 266,8 MCM	Spacer 240 mm ²	CCA 1/0 AWG	CU 95mm ²
R_1	0,2354	0,1410	0,5877	0,2213
X_1	0,3850	0,2762	0,4374	0,4101
R_0	0,4130	2,1310	0,7653	0,3990
X_0	1,5520	2,2615	1,6043	1,5771

Trecho	R1 (pu)	X1 (pu)	R0 (pu)	X0 (pu)
AQZ	0,0138	0,4439	0,0000	0,3453
T1	0,6230	1,0190	1,0931	4,1073
T2	0,1471	0,2406	0,2581	0,9698
T3	0,2250	0,3680	0,3947	1,4832
T4	0,1094	0,1912	0,6965	1,0783
T5	0,6384	1,0442	1,1202	4,2092
T6	0,2079	0,3401	0,3648	1,3707
T7	0,2781	0,4549	0,4880	1,8336
T8	0,2471	0,4041	0,4336	1,6291
T9	0,6826	0,8576	1,0664	3,3786

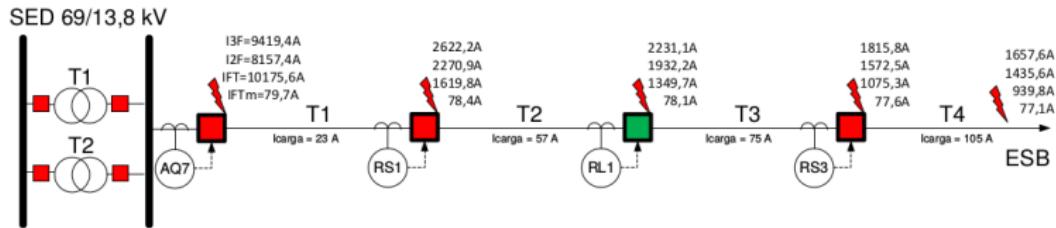
Proteção de sistemas de distribuição

Impedâncias equivalentes e correntes de curto-circuito em cada uma das barras da rede AQZ:

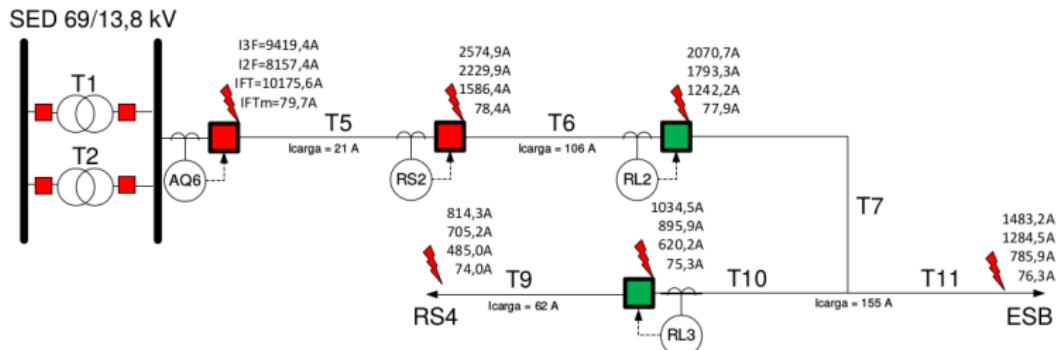
Alimentador	Barra	r1 (pu)	x1 (pu)	r0 (pu)	x0 (pu)	Icc3F	Icc2F	IccFT	IccFTm
AQZ 2II7	AQZ	0,0138	0,4439	0,0000	0,3453	9419,4	8157,4	10175,6	79,7
	RS1	0,6368	1,4629	1,0931	4,4526	2622,2	2270,9	1619,8	78,4
	RL1	0,7838	1,7035	1,3512	5,4224	2231,1	1932,2	1349,7	78,1
	RS3	1,0088	2,0714	1,7460	6,9056	1815,8	1572,5	1075,3	77,6
	ESB	1,1182	2,2627	2,4425	7,9839	1657,6	1435,6	939,8	77,1
AQZ 2II6	AQZ	0,0138	0,4439	0,0000	0,3453	9419,4	8157,4	10175,6	79,7
	RS2	0,6522	1,4882	1,1202	4,5544	2574,9	2229,9	1586,4	78,4
	RL2	0,8601	1,8282	1,4851	5,9252	2070,7	1793,3	1242,2	77,9
	ESB	1,2619	2,5227	3,7183	9,6556	1483,2	1284,5	785,9	76,3
	RL3	2,2589	3,3547	3,5531	11,8477	1034,5	895,9	620,2	75,3
	RS4	2,9415	4,2123	4,6195	15,2262	814,3	705,2	485,0	74,0
AQZ 2II5	AQZ	0,0138	0,4439	0,0000	0,3453	9419,4	8157,4	10175,6	79,7
	RS4	0,2609	0,8481	0,4336	1,9743	4715,1	4083,4	3309,2	79,2
	RL3	0,9435	1,7057	1,4999	5,3529	2146,3	1858,8	1335,8	77,9
	ESB	2,1878	3,0168	4,8252	11,3385	1122,6	972,2	638,5	74,9
	RL2	2,3422	3,2321	3,5680	11,2754	1048,1	907,7	641,5	75,3
AQZ 2II4	AQZ	0,0138	0,4439	0,0000	0,3453	9419,4	8157,4	10175,6	79,7
	RS5	1,1058	2,3321	1,9387	7,7949	1621,0	1403,8	955,7	77,4
	RS6	1,3255	2,7391	2,3347	9,3601	1374,9	1190,7	801,8	76,9
	RL4	1,3259	2,7398	2,3354	9,3626	1374,5	1190,4	801,6	76,9
	RS7	1,9141	3,8297	3,3957	13,5538	977,2	846,3	560,1	75,6

Proteção de sistemas de distribuição

Diagrama da rede Aquiraz com as correntes de curto-círcuito em cada uma das barras:



(a)



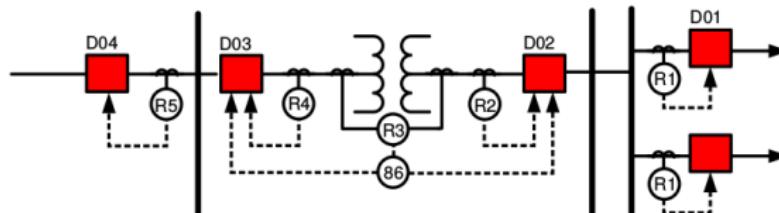
Proteção de sistemas de distribuição

Dimensionamento dos TCs de proteção para cada um dos religadores da rede:

BARRA	DADOS DE ENTRADA			CALCULADOS			ESPECIFICAÇÃO	
	Iccmax (A)	Icargamax (A)	Ipick-up máx (A)	Icc/FS	Ic/FT	Ipk/FT	TIPO	RTC
21I7	10,176	260	570	509	200	438	B10F20CXX	500
21I6	10,176	344	570	509	265	438	B10F20CXX	500
21I5	10,176	300	570	509	231	438	B10F20CXX	500
21I4	10,176	334	570	509	257	438	B10F20CXX	500
RS1	2,967	237	513	148	182	395	B10F20CXX	300
RS2	2,575	323	513	129	248	395	B10F20CXX	300
RS3	5,833	155	513	292	119	395	B10F20CXX	300
RS4	4,715	217	315	236	167	242	B10F20CXX	300
RS5	1,621	208	513	81	160	395	B10F20CXX	300
RS6	1,375	166	462	69	128	355	B10F20CXX	300
RL1	3,693	180	462	185	138	355	B10F20CXX	300
RL2	3,261	217	513	163	167	395	B10F20CXX	300
RL3	2,146	155	315	107	119	242	B10F20CXX	300
RL4	1,375	89	462	69	68	355	B10F20CXX	300
01Z1	10,176	630	1224	509	485	941	B10F20CXX	800

Proteção de sistemas de distribuição

Critérios para ajustes da proteção geral de barra:



Margem de coordenação entre reles da subestação	ΔT (s)
$\Delta T(51-51) = \text{Tempo de operação D01} - \text{Tempo de operação D02}$	0,4
$\Delta T(51N-51N) = \text{Tempo de operação D01} - \text{Tempo de operação D02}$	
Tempo de operação das funções instantâneas (50)	0,1

Proteção de sistemas de distribuição

Critérios para ajustes da proteção geral de barra:

Função de Proteção	Critérios de cálculo
Função 51	$FS = 1,5$ $I_{ajuste(51)} = FS \times I_{nominal\ no\ secundário\ do\ transformador}/RTC$
Função 50	$I_{ajuste(50)} = 5 \times I_{pick-up\ da\ função\ 51}/RTC.$ $I_{ajuste(50)} = 50\% \ I_{CC\ 3f\ max.\ local}/RTC.$ Escolher o menor entre os valores calculados.

Função 51N	$FS = 0,3$ $I_{ajuste(51N)} = 0,3 \times I_{carga}/RTC$
Função 50N	$FS = 0,5$ $I_{ajuste(50N)} = 5 \times I_{pick-up\ da\ função\ 51}/RTC.$

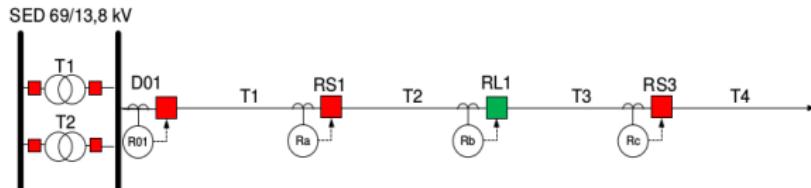
Proteção de sistemas de distribuição

Critérios de ajuste das proteções dos reléadores na saída do alimentador:

Função de Proteção	Critérios de cálculo
Função 51	$I_{ajuste(51)} = 1,3 \times I_{nominal\ do\ cabo}/RTC$
	Tempo de operação = 0,2 s
Função 50	$I_{ajuste(50)} = 5 \times I_{pick-up\ da\ função\ 51}/RTC.$
	$I_{ajuste(50)} = 50\% \ I_{CC\ 3f\ max.\ local}/RTC.$ Escolher o menor entre os valores calculados.
Função 51N	$I_{ajuste(51N)} = 0,3 \times I_{carga\ máxima}/RTC$ ou $26/RTC$ (escolher a mais sensível)
	tempo de operação = 0,2 s
Função 50N	Adotar Fator de segurança da função 50 = 5
	$I_{ajuste50N} = FS \times I_{pick-up\ da\ função\ 51}/RTC.$
Função 79	Um religamento instantâneo e dois temporizados.
	Tempo morto de 10s.

Proteção de sistemas de distribuição

Critérios de ajuste das proteções dos religadores ao longo do alimentador:



Função de Proteção	Critérios de cálculo
Função 51	$I_{ajuste(51)} = 1,3 \times I_{máxima\ de\ carga}/RTC$ Tempo de operação = 0,1 s
Função 50	$I_{ajuste(50)} = 80\% \times I_{CC\ do\ trecho}/RTC.$ Tempo de operação = metade da temporização da barra protegida
Função 51N	$I_{ajuste(51N)} = (I_{ajuste(51)}\ proteção\ de\ retaguarda - 2A)/RTC.$ tempo de operação = 0,1 s
Função 50N	$I_{ajuste50N} = 0,5 \times I_{ajuste(50)}\ proteção\ de\ retaguarda/RTC.$ Tempo de operação = metade da temporização da barra protegida
Função 79	4 Instantâneos para o primeiro e 1 a menos para os próximos Tempo morto = 1 s a mais que a proteção de retaguarda.

Proteção de sistemas de distribuição

Tabela com os ajustes finais das proteções da rede Aquiraz:

Dispositivo de Proteção	RTC	Código da Função	Ajuste 51/51N (Ap)	Dial	Ajuste 50/50N (Ap)	Atraso 50/50N (ms)	Curva	Ciclo de Religamento
21I7	500	50/51	570	0,23	2850	100	MI	II+2T
		50/51N	26	0,43	2850	100	MI	
21I6	500	50/51	570	0,23	2850	100	MI	II+2T
		50/51N	26	0,43	2850	100	MI	
21I5	500	50/51	570	0,23	2850	100	MI	II+2T
		50/51N	26	0,43	2850	100	MI	
21I4	500	50/51	570	0,23	2850	100	MI	II+2T
		50/51N	26	0,43	2850	100	MI	
RS1	300	50/51	513	0,05	2309	50	MI	4I
		50/51N	24	0,21	480	50	MI	
RS2	300	50/51	513	0,05	2172	50	MI	4I
		50/51N	24	0,21	480	50	MI	
RS3	300	50/51	416	0,05	1618	10	MI	2I
		50/51N	22	0,05	120	10	MI	
RS4	300	50/51	315	0,1	2660,1	50	MI	4I
		50/51N	24	0,21	480	50	MI	
RS5	300	50/51	513	0,05	1424,1	50	MI	4I
		50/51N	24	0,21	480	50	MI	

Proteção de sistemas de distribuição

