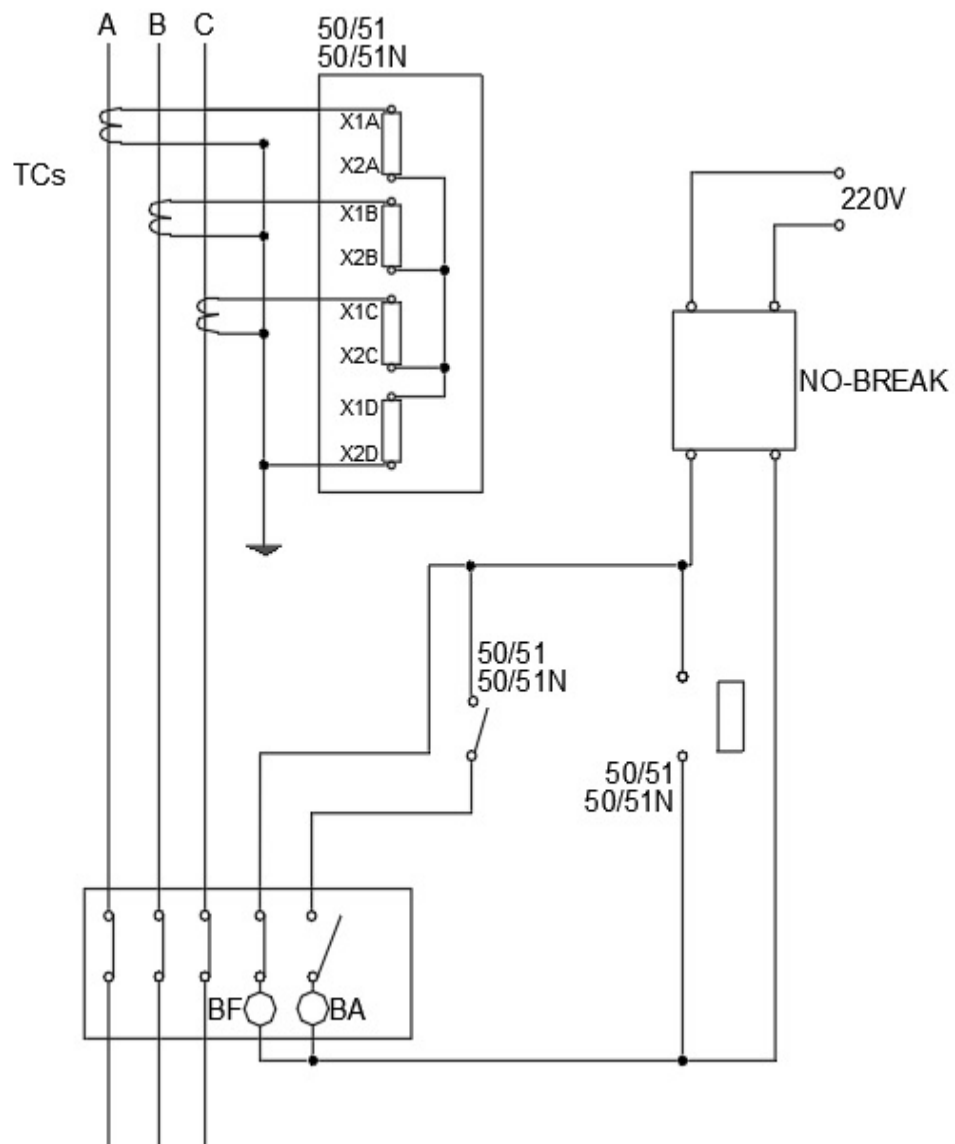


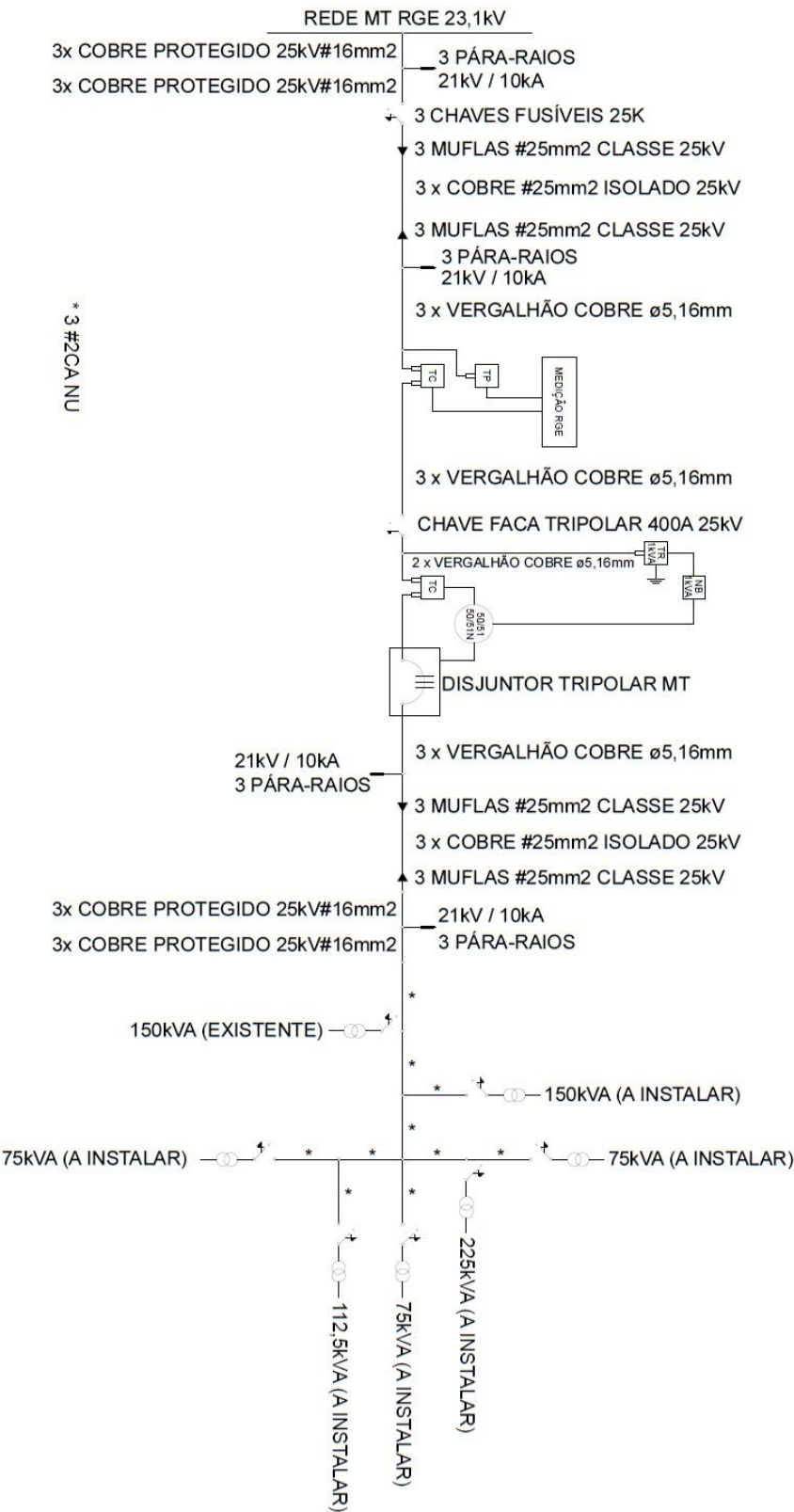
INTRODUÇÃO

Este estudo tem por objetivo o projeto de coordenação de distribuição para o Campus de Palmeira das Missões da Universidade Federal de Santa Maria.

a) Diagrama funcional relé:



b) Diagrama unifilar da entrada:



c) Gráfico tempo x corrente:

Equação geradora das curvas temporizadas de fase e neutro
(tempo x corrente):

$$t = \frac{(D.T.) \times (\beta)}{\left(\frac{I}{I_{partida}}\right)^\alpha - 1}$$

Onde (D.T.) é o dial de tempo que é uma constante multiplicativa que ajusta a altura da curva no coordenograma e α e β definem o tipo de curva NI, MI, EI:

$\alpha=0,02$ e $\beta=0,14$ - Curva Normalmente Inversa;

$\alpha=1,00$ e $\beta=13,5$ - Curva Muito Inversa;

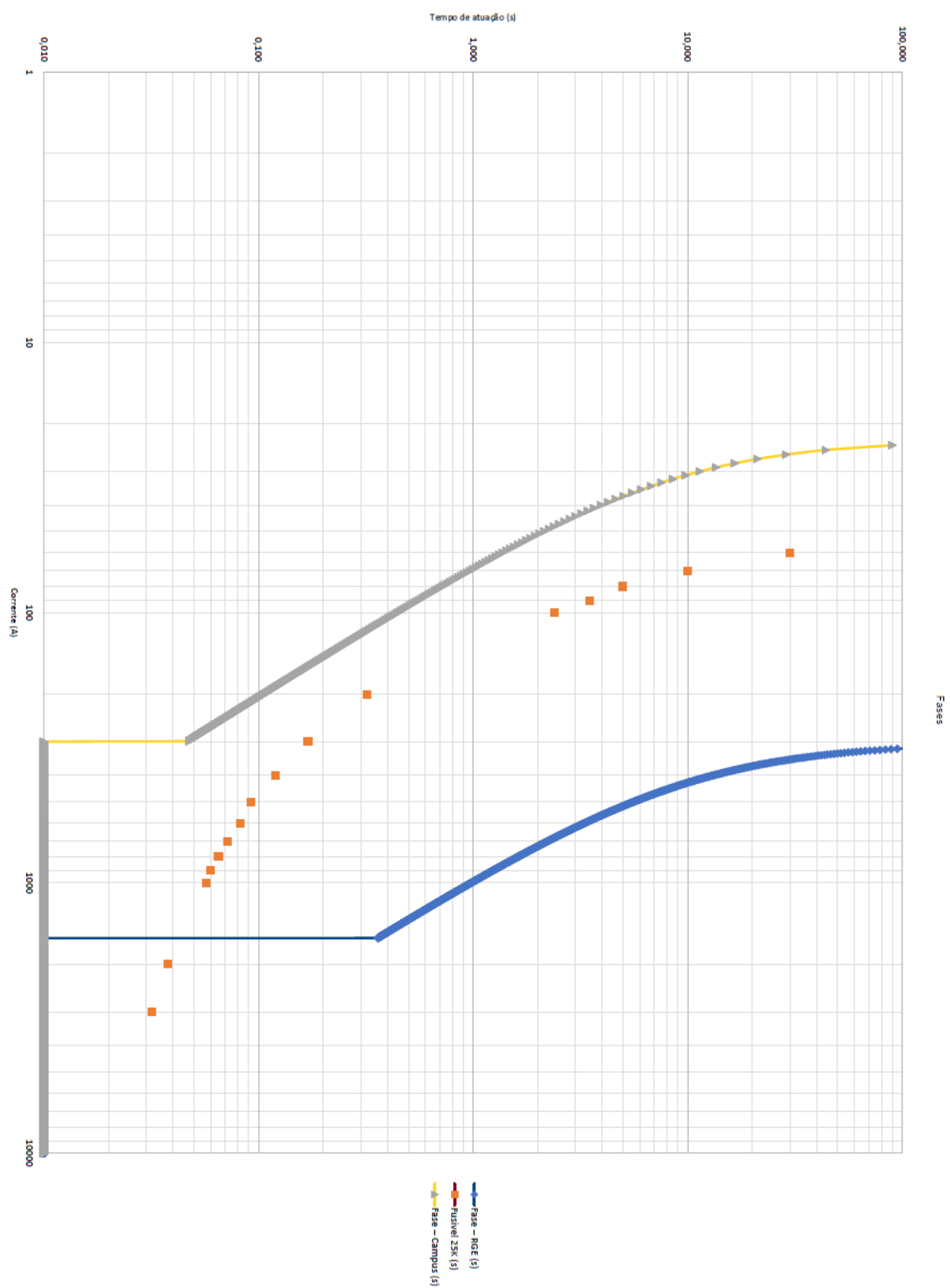
$\alpha=2,00$ e $\beta=80,0$ - Curva Extremamente Inversa.

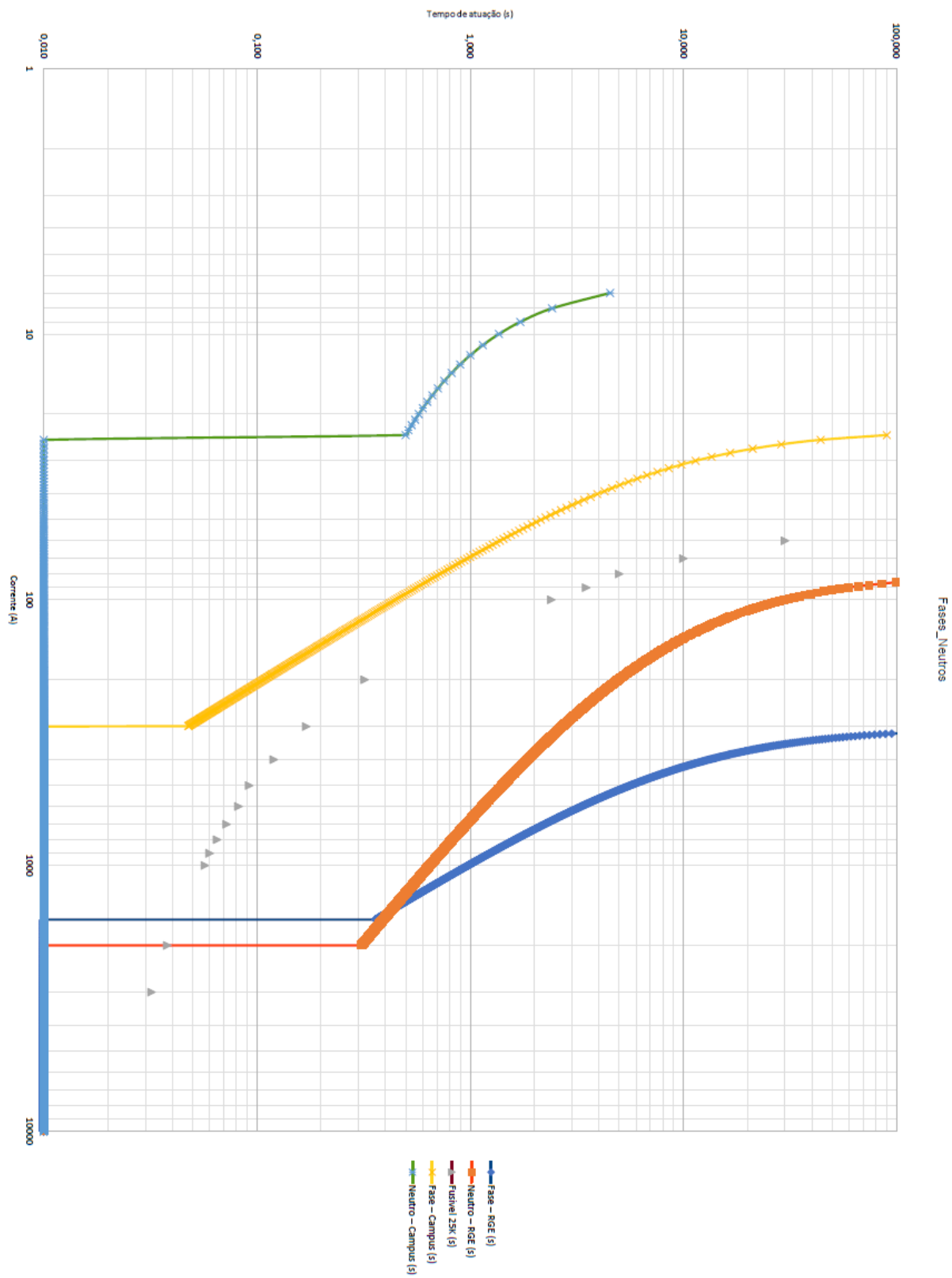
Para a curva de fase (extremamente inversa) escolhida, com (D.T.)=0,1s e $I_{partida}=23A$:

$$t = \frac{8}{\left(\frac{I}{23}\right)^2 - 1}$$

Para a curva de neutro (normalmente inversa) escolhida, com (D.T.)=0,1s e $I_{partida}=6A$:

$$t = \frac{0,014}{\left(\frac{I}{6}\right)^{0,02} - 1}$$





d) Valores de curto-circuito no ponto de entrega:

Atividade: 1546119177

Cliente: UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA

UC: 3082483703

Alimentador: PAM22

- Dados de curto-circuito no ponto de conexão:
Trifásico Simétrico / Assimétrico: 1,298 kA / 1,331 kA
Dupla Fase: 1,124 kA
Fase Terra: 1,120 kA
Fase Terra min: 0,275 kA
- Dados de impedância no ponto de conexão:
Vbase: 23,1 kV
Sbase: 100 MVA
Imp. Seq. +: 7,079083 + j.7,443493 ohms
Imp. Seq. 0: 8,911757 + j.12,395940 ohms
- Equipamento de Proteção à Montante:
Rele do AL: PAM22
Fabricante: SIEMENS
Modelo: 7SJ6425-5EB32-3FG3
Função 51
Pick-up (A primário): 304
Dial: 0,12
Curva: EI
Função 50
Pick-up (A primário): 1600
Função 51N
Pick-up (A primário): 80
Dial: 0,55
Curva: VI
Função 50N
Pick-up (A primário): 2000

e) Potência instalada e demanda prevista:

Potência dos transformadores:

$$P = 780kVA$$

Demanda prevista:

$$D = 250kVA$$

f) Dimensionamento dos TCs conforme 6.1 Anexo 4 GED 2858:

É importante que os TCs de proteção retratem com fidelidade as correntes de defeito, sem sofrer os efeitos da saturação. Somente devem entrar em saturação para valores de elevada indução magnética, o que corresponde a uma corrente de 20 vezes a corrente nominal primária.

$$I_{np} = \frac{I_{cc}3\Phi(assim)}{20} = \frac{1331}{20} \approx 66A$$

Como a corrente de curto-circuito assimétrica no ponto de entrega é menor que 8kA em 23,1kV o cálculo de saturação do TC será feito para 8kA, conforme anexo 4 da GED 2858.

Vamos adotar um TC 10B50 potência de 12,5VA, com:

10 = 10% de erro com 20x a corrente nominal;

B = baixa impedância interna;

50 = tensão máxima no secundário de 50Volts quando $I_{sTCmáx} = 20 \times I_{sTC}$.

Vamos escolher um TC **150:5**

Verificação da saturação:

$$Z_{Total} = Z_{fiação} + Z_{relé} + Z_{TC}$$

Considerando 2m de cabo #4,0mm², temos:

$$Z_{Fiação} = 0,02 \cdot \frac{L}{S} = 0,02 \cdot \frac{2}{4} = 10m\Omega$$

Impedâncias de entrada do relé PEXTRON URPE 7104 (do catálogo):

$$Z_{reléfase} = Z_{reléneutro} = 7m\Omega$$

$$Z_{relé} = Z_{reléfase} + 3 \cdot Z_{reléneutro} = 28m\Omega$$

Impedância de entrada do TC (20% de 0,5Ω conforme NBR6856):

Tabela 8 – Características das cargas com fator de potência 0,9 para corrente secundária nominal de 5 A

Potência aparente VA	Resistência Ω	Reatância indutiva Ω	Impedância Ω
2,5	0,09	0,044	0,1
5,0	0,18	0,087	0,2
12,5	0,45	0,218	0,5
22,5	0,81	0,392	0,9
45,0	1,62	0,785	1,8
90,0	3,24	1,569	3,6

$$Z_{TC} = 100m\Omega$$

Impedância total:

$$Z_{Total} = 10m\Omega + 28m\Omega + 100m\Omega$$

$$Z_{Total} = 138m\Omega$$

Corrente de curto-circuito no secundário do TC:

$$I_{cc} = \frac{8000}{30} = 267A$$

$$V_{sat} = 267 \cdot Z_t = 36,8V$$

Mesmo a CPFL alterando a corrente de curto-circuito, a tensão de máxima do TC está abaixo do ponto de saturação (que é de 50V já que a precisão adotada, inicialmente, foi 10B50) e, portanto, dentro do padrão.

Assim, os TCs terão as seguintes características técnicas:

Relação: 150 / 5 A

Precisão: 10B50

g) Características da proteção:

Disjuntor tripolar a vácuo, motorizado, tensão nominal de 24kV, instalação fixa, NBI de 125kV, capacidade de interrupção simétrica de 25kA, corrente nominal de 630A, comandado por relé eletrônico secundário com as funções ANSI 50/50N e 51/51N Pextron 7104, sem religamento automático.

h) Cálculo do ajuste da proteção:

Será utilizado relé PEXTRON URPE 7104.

Serão utilizadas as funções da curva temporizada de fase IEC 51F, temporizada de neutro IEC 51N, instantânea de fase IEC 50F e instantânea de neutro IEC 50N.

As curvas temporizadas disponíveis neste relé são: normalmente inversa (NI), muito inversa (MI), extremamente inversa (EI), tempo longo (LONG), IT e I2T.

• **Corrente de Inrush Própria e Ponto ANSI dos Transformadores:**

1. Potência: 75 kVA (z=4%) - Quantidade: 3

$$I_{inrush} = 15A$$

$$P_{ansi} = 47A / 2s$$

2. Potência: 112,5 kVA (z=4%) - Quantidade: 1

$$I_{inrush} = 22,5A$$

$$P_{ansi} = 70A / 2s$$

3. Potência: 150 kVA (z=4%) - Quantidade: 2

$$I_{inrush} = 30A$$

$$P_{ansi} = 94A / 2s$$

4. Potência: 225 kVA (z=4%) - Quantidade: 1

$$I_{inrush} = 45A$$

$$P_{ansi} = 140A / 2s$$

Soma das correntes de Inrush do conjunto dos transformadores:

$$I_{inrush} = 172,5A$$

• **Dados de impedância em pu no ponto de conexão:**

Vbase: 23,1 kV Sbase: 100 MVA

Imp. Seq. +: 7,079083 + j.7,443493 ohms

Imp. Seq. 0: 8,911757 + j.12,395940 ohms

Zbase = Vbase²/Sbase = 5,3361 ohms

Imp. Seq. +: 1,326640 + j.1,394931 pu

Imp. Seq. 0: 1,670088 + j.2,323034 pu

• **Corrente de Inrush Real no Local dos Transformadores (ver anexo I):**

- 1.a Potência: 75 kVA (Poste P19)

$$I_{inrush} = \frac{1}{\frac{1}{I_{CC3f}} + \frac{1}{I_{inrush}}} = \frac{1}{\frac{1}{1228} + \frac{1}{15}} = 14,82A$$

- 1.b Potência: 75 kVA (Poste P22)

$$I_{inrush} = \frac{1}{\frac{1}{I_{CC3f}} + \frac{1}{I_{inrush}}} = \frac{1}{\frac{1}{1247} + \frac{1}{15}} = 14,82A$$

- 1.c Potência: 75 kVA (Poste P34)

$$I_{inrush} = \frac{1}{\frac{1}{I_{CC3f}} + \frac{1}{I_{inrush}}} = \frac{1}{\frac{1}{1225} + \frac{1}{15}} = 14,82A$$

2. Potência: 112,5 kVA (Poste P26)

$$I_{inrush} = \frac{1}{\frac{1}{I_{CC3f}} + \frac{1}{I_{inrush}}} = \frac{1}{\frac{1}{1237} + \frac{1}{22,5}} = 22,10A$$

3.a Potência: 150 kVA (Poste P10)

$$I_{inrush} = \frac{1}{\frac{1}{I_{CC3f}} + \frac{1}{I_{inrush}}} = \frac{1}{\frac{1}{1268} + \frac{1}{30}} = 29,31A$$

3.b Potência: 150 kVA (Poste P27)

$$I_{inrush} = \frac{1}{\frac{1}{I_{CC3f}} + \frac{1}{I_{inrush}}} = \frac{1}{\frac{1}{1251} + \frac{1}{30}} = 29,30A$$

4. Potência: 225 kVA (Poste P31)

$$I_{inrush} = \frac{1}{\frac{1}{I_{CC3f}} + \frac{1}{I_{inrush}}} = \frac{1}{\frac{1}{1241} + \frac{1}{45}} = 43,43A$$

Corrente de Inrush Real do conjunto dos transformadores no ponto de entrega RGE:

$$I_{inrush} = \frac{1}{\frac{1}{I_{CC3f}} + \frac{1}{I_{inrush}}} = \frac{1}{\frac{1}{1298} + \frac{1}{172,5}} = 152A$$

*** Parametrização da função ANSI 51F (curva temporizada de fase):**

Consideramos que a curva temporizada de fase comece a atuar com 1,2x a corrente nominal primária (obs.: 0,25 x RTC = 7,5A é a mínima do relé):

$$I_{p(fase)} = 1,2 \cdot \frac{780kVA}{\sqrt{3} \cdot 23,1kV} = 23A$$

*** Parametrização da função ANSI 51N (curva temporizada de neutro):**

Consideramos que a curva temporizada de neutro comece a atuar com 0,15 x RTC = 0,15 x 30A = 4,5A (mínima do relé) ou 30% de Ip_fase, o que for maior:

$$I_{p(neutro)} = 6A$$

*** Parametrização da função ANSI 50F (instantâneo de fase):**

Consideramos que o relé não deverá atuar instantaneamente para a corrente de 1,1 x Inrush do conjunto dos transformadores, mas deverá atuar para a menor corrente de curto-circuito entre fases. Neste caso, a menor corrente de curto-circuito entre fases é a bifásica (ver anexo I) no poste P34:

$$I_{inrush} < I_{inst(fase)} < I_{cc2\Phi(mín)}$$

$$1,1 \times 152A < I_{inst(fase)} < 1060A$$

$$167A < I_{inst(fase)} < 1060A$$

*** Parametrização da função ANSI 50N (instantâneo de neutro) (ver anexo II):**

O relé deverá atuar para a mínima corrente de curto-circuito fase-terra considerando uma impedância de contato de 40Ω.

Conforme anexo II, a corrente de curto-circuito mínima fase-terra é:

$$I_{cc\Phi(mín)} = 270A$$

*** Parametrização do relé Pextron URPE 7104:**

Parâmetro	Curva	Descrição do Parâmetro	Ajuste
TC	150:5	Relação do transformador de corrente (TC)	30
$I_{partida}$	VM	Corrente de partida da unidade de temporização curva inversa de fase	23A
Curva	VM	Tipo de curva de atuação para fase	EI
D.T.	VM	Ajuste do dial de tempo para fase	0,1
$I_{def.}$	VM	Corrente de partida da unidade de tempo definido de fase	4000A
$T_{def.}$	VM	Tempo da unidade definido de fase	240s
$I_{inst.}$	VM	Corrente da unidade instantânea de fase	300A
$I_{partida}$	VD	Corrente de partida da unidade de temporização curva inversa de neutro	6A
Curva	VD	Tipo de curva de atuação para neutro	NI
D.T.	VD	Ajuste do dial de tempo para neutro (mínimo pextron 7104)	0,1
$I_{def.}$	VD	Corrente de partida da unidade de tempo definido de neutro	4000A
$T_{def.}$	VD	Tempo da unidade definido de neutro	240s
$I_{inst.}$	VD	Corrente da unidade instantânea de neutro	25A

i) Tipo e características da fonte auxiliar:

O relé será alimentado por no-break on-line senoidal de dupla conversão, entrada 220V, saída 220V, 1kVA, com autonomia mínima de 2 horas.

j) Catálogo técnico dos relés:

Em anexo.

k) ART de responsável técnico:

Em anexo.

ANEXO I - CORRENTES DE CURTO-CIRCUITO NOS LOCAIS INDICADOS

Script em OPENDSS para geração dos dados de curto-circuito nos locais indicados:

```

Clear
// Fonte RGE - PM
New circuit.MT_PM bus=P01 basekv=23.1 phases=3 puZ0=[1.670088 2.323034] puZ1=[1.326640 1.394931] puZ2=[1.326640 1.394931]
// WIREDATA
New Wiredata.1CAA2awg Rac=1.102 Runits=km GMR=0.00308 GMRunits=m Radius=0.004005 Radunits=m NormAmps=190
New Wiredata.1ccisolado25mm2 Rdc=0.73 Runits=km GMR=0.00295 GMRunits=m Radius=0.00295 Radunits=m NormAmps=90
// LINEGEOMETRY
New Linegeometry.3CAA2awg nconds=3 nphases=3
~ cond=1 Wire=1CAA2awg x=-0.9 h=9.3 units=m
~ cond=2 Wire=1CAA2awg x=-0.3 h=9.3 units=m
~ cond=3 Wire=1CAA2awg x=0.9 h=9.3 units=m
New Linegeometry.3ccisolado25mm2 nconds=3 nphases=3
~ cond=1 Wire=1ccisolado25mm2 x=-0.01055 h=0.02882 units=m
~ cond=2 Wire=1ccisolado25mm2 x=0 h=0.01055 units=m
~ cond=3 Wire=1ccisolado25mm2 x=0.01055 h=0.02882 units=m
// TRECHOS DE REDE
New line.P01_MED phases=3 bus1=P01 bus2=MED length=0.025 units=km Geometry=3ccisolado25mm2
New line.MED_P03 phases=3 bus1=MED bus2=P03 length=0.020 units=km Geometry=3ccisolado25mm2
New line.P03_P10 phases=3 bus1=P03 bus2=P10 length=0.210 units=km Geometry=3CAA2awg
New line.P10_P13 phases=3 bus1=P10 bus2=P13 length=0.098 units=km Geometry=3CAA2awg
New line.P13_P27 phases=3 bus1=P13 bus2=P27 length=0.042 units=km Geometry=3CAA2awg
New line.P13_P21 phases=3 bus1=P13 bus2=P21 length=0.053 units=km Geometry=3CAA2awg
New line.P21_P22 phases=3 bus1=P21 bus2=P22 length=0.026 units=km Geometry=3CAA2awg
New line.P21_P26 phases=3 bus1=P21 bus2=P26 length=0.105 units=km Geometry=3CAA2awg
New line.P13_P14 phases=3 bus1=P13 bus2=P14 length=0.040 units=km Geometry=3CAA2awg
New line.P14_P28 phases=3 bus1=P14 bus2=P28 length=0.038 units=km Geometry=3CAA2awg
New line.P28_P31 phases=3 bus1=P28 bus2=P31 length=0.052 units=km Geometry=3CAA2awg
New line.P28_P34 phases=3 bus1=P28 bus2=P34 length=0.188 units=km Geometry=3CAA2awg
New line.P14_P19 phases=3 bus1=P14 bus2=P19 length=0.196 units=km Geometry=3CAA2awg
// BASES DE TENSAO
Set Voltagebases=[23.1]
CalcVoltagebases
Set Mode = Faultstudy
Solve

```

Dados de curto-circuito nos locais indicados:

Bus	3-Phase	1-Phase	L-L
P01	1298	1120	1124
MED	1296	1117	1123
P03	1295	1115	1121
P10	1268	1087	1098
P13	1256	1074	1088
P27	1251	1069	1083
P21	1250	1068	1082
P22	1247	1064	1079
P26	1237	1055	1071
P14	1251	1069	1083
P28	1247	1064	1079
P31	1241	1058	1074
P34	1225	1042	1060
P19	1228	1045	1063

ANEXO II - CORRENTES DE CURTO-CIRCUITO MÍNIMO COM IMPEDÂNCIA DE CONTATO DE 40Ω

Script em OPENDSS para geração dos dados de curto-circuito mínimo nos locais indicados:

```

Clear
// Fonte RGE - PM
New circuit.MT_PM bus=P01 basekv=23.1 phases=3 puZ0=[1.670088 2.323034] puZ1=[1.326640 1.394931] puZ2=[1.326640 1.394931]
// WIREDATA
New Wiredata.1CAA2awg Rac=1.102 Runits=km GMR=0.00308 GMRunits=m Radius=0.004005 Radunits=m NormAmps=190
New Wiredata.1ccisolado25mm2 Rdc=0.73 Runits=km GMR=0.00295 GMRunits=m Radius=0.00295 Radunits=m NormAmps=90
// LINEGEOMETRY
New Linegeometry.3CAA2awg nconds=3 nphases=3
~ cond=1 Wire=1CAA2awg x=-0.9 h=9.3 units=m
~ cond=2 Wire=1CAA2awg x=-0.3 h=9.3 units=m
~ cond=3 Wire=1CAA2awg x=0.9 h=9.3 units=m
New Linegeometry.3ccisolado25mm2 nconds=3 nphases=3
~ cond=1 Wire=1ccisolado25mm2 x=-0.01055 h=0.02882 units=m
~ cond=2 Wire=1ccisolado25mm2 x=0 h=0.01055 units=m
~ cond=3 Wire=1ccisolado25mm2 x=0.01055 h=0.02882 units=m
// TRECHOS DE REDE
New line.P01_MED phases=3 bus1=P01 bus2=MED length=0.025 units=km Geometry=3ccisolado25mm2
New line.MED_P03 phases=3 bus1=MED bus2=P03 length=0.020 units=km Geometry=3ccisolado25mm2
New line.P03_P10 phases=3 bus1=P03 bus2=P10 length=0.210 units=km Geometry=3CAA2awg
New line.P10_P13 phases=3 bus1=P10 bus2=P13 length=0.098 units=km Geometry=3CAA2awg
New line.P13_P27 phases=3 bus1=P13 bus2=P27 length=0.042 units=km Geometry=3CAA2awg
New line.P13_P21 phases=3 bus1=P13 bus2=P21 length=0.053 units=km Geometry=3CAA2awg
New line.P21_P22 phases=3 bus1=P21 bus2=P22 length=0.026 units=km Geometry=3CAA2awg
New line.P21_P26 phases=3 bus1=P21 bus2=P26 length=0.105 units=km Geometry=3CAA2awg
New line.P13_P14 phases=3 bus1=P13 bus2=P14 length=0.040 units=km Geometry=3CAA2awg
New line.P14_P28 phases=3 bus1=P14 bus2=P28 length=0.038 units=km Geometry=3CAA2awg
New line.P28_P31 phases=3 bus1=P28 bus2=P31 length=0.052 units=km Geometry=3CAA2awg
New line.P28_P34 phases=3 bus1=P28 bus2=P34 length=0.188 units=km Geometry=3CAA2awg
New line.P14_P19 phases=3 bus1=P14 bus2=P19 length=0.196 units=km Geometry=3CAA2awg
// IMPEDANCIAS DE 40 ohms ADICIONADAS EM FINAIS DE REDE PARA CALCULO DE CURTO COM IMPEDANCIA DE CONTATO
New line.P19_P19A phases=3 bus1=P19 bus2=P19A r0=40 x0=0 c0=0 r1=40 x1=0 c1=0 length=1
New line.P22_P22A phases=3 bus1=P22 bus2=P22A r0=40 x0=0 c0=0 r1=40 x1=0 c1=0 length=1
New line.P26_P26A phases=3 bus1=P26 bus2=P26A r0=40 x0=0 c0=0 r1=40 x1=0 c1=0 length=1
New line.P27_P27A phases=3 bus1=P27 bus2=P27A r0=40 x0=0 c0=0 r1=40 x1=0 c1=0 length=1
New line.P31_P31A phases=3 bus1=P31 bus2=P31A r0=40 x0=0 c0=0 r1=40 x1=0 c1=0 length=1
New line.P34_P34A phases=3 bus1=P34 bus2=P34A r0=40 x0=0 c0=0 r1=40 x1=0 c1=0 length=1
// BASES DE TENSAO
Set Voltagebases=[23.1]
CalcVoltagebases
Set Mode = Faultstudy
Solve

```

Dados de curto-circuito mínimo nos locais indicados:

Bus	3-Phase	1-Phase	L-L
P19A	276	271	239
P22A	277	272	240
P26A	277	271	240
P27A	277	272	240
P31A	277	271	240
P34A	276	270	239