

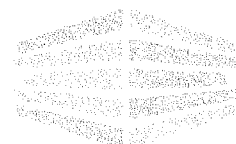
OBRA:

E. M. Hilda Anna Krisch  
MUNICÍPIO DE JOINVILLE  
SECRETARIA DA EDUCAÇÃO

**ESTUDO DE PROTEÇÃO:**

- ESPECIFICAÇÃO DE MATERIAIS
- SATURAÇÃO DOS TC'S
- ESTUDO DE SELETIVIDADE

Março/2015  
Revisão 04



## 1. ESPECIFICAÇÃO DE MATERIAIS – TP, TC'S E RELÉ DE PROTEÇÃO

As Especificações abaixo estabelecem os requisitos mínimos que deverão ser atendidos no fornecimento de relés de proteção, transformadores de corrente e potencial a serem utilizados em sistemas trifásicos com tensões de 13,8kV.

Quando mais de uma unidade for solicitada sob um mesmo item da encomenda, todas deverão possuir o mesmo projeto e ser essencialmente iguais, com todas as suas peças correspondentes iguais e intercambiáveis.

Especificação do Transformador de Corrente	
TIPO:	TRANSFORMADOR DE CORRENTE PROTEÇÃO
CORRENTE PRIMARIA:	350A
CORRENTE SECUNDARIA	5A
CLASSE EXATIDAO SECUNDÁRIA	10B300
CLASSE TENSAO	15kV
IMPEDÂNCIA INTERNA	Máximo 2 ohms
FREQUENCIA	60 Hz
FATOR TERMICO	1,2xIn
TIPO	BARRA
CORRENTE TERMICA	10kA
NBI (NIVEL BASICO IMPULSO)	95kV
MODELOS INDICADOS	KIF-15
FABRICANTE	BALTEAU / BRASPEL

Especificação do Transformador de Potencial(Alimentação Auxiliar Proteção)	
TIPO	TRANSFORMADOR POTENCIAL
TIPO REDE	MONOFASICA
CLASSE ISOLACAO	15 Kv
FREQUENCIA	60 Hz
GRUPO LIGACAO	GL1
TENSAO PRIMARIA	13,8 kV
TENSAO SECUNDARIA	220 V
POTENCIA TERMICA	1 kVA
CLASSE TEMPERATURA	A - 105°C;



NIVEL BASICO IMPULSO (NBI)	95 kV
POSICAO TERMINAL	PADRÃO
CLASSE EXATIDAO	0,3P75
BLINDAGEM ELETROSTATICA	SIM
MODELO	VFI-15 / BPS-11
FABRICANTE	BALTEAU / BRASPEL

Especificação do Relé de Proteção	
RELE PROTECAO	Microprocessado/Multifunção
FUNÇÕES DE PROTEÇÃO	50,51,50N,51N
ALIMENTAÇÃO AUXILIAR	72-250Vca/Vcc
APLICACAO	P/ ALIMENTADORES
ACESSÓRIOS	C/ FONTE CAPACITIVA INCORPORADA
ENTRADA DE CORRENTE	5A
MODELO	URPE 7104
FABRICANTE	PEXTRON

## 2. SATURAÇÃO DE TRANSFORMADORES DE CORRENTE COM NÚCLEO DE PROTEÇÃO

### A. INTRODUÇÃO

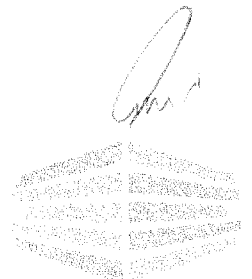
A seleção inapropriada de transformadores de corrente resultará na saturação do núcleo durante condições de falta e pode afetar a atuação da proteção executada pelos relés.

O impacto da saturação dos TC's é diferente para condições de proteção e regime normal de funcionamento. Este documento explica de maneira sucinta a influência da saturação de TC's sobre relés digitais, em sistemas de distribuição onde as cargas são relativamente pequenas e conectadas a sistemas com altos níveis de correntes de curto circuito.

O critério para seleção de TC's para operação em relés de proteção digitais é apresentado, levando em consideração a eficácia com a coordenação de outros dispositivos.

### B. CÁLCULO DE SATURAÇÃO

#### Relação do TC por Icc Assimétrico



Relação de transformação do TC =  $I_{cc} \text{Assimétrico} / 20$   
Relação de transformação do TC =  $6417 \text{ A} / 20$   
Relação de transformação do TC =  $320,8 \text{ A}$   
Relação de transformação do TC =  $350-5 \text{ A}$  (valor de fabricação)

### Cálculo da Tensão Secundária VS

$$V_{sat} = FS \times Z_t \times I_{sec}$$

FS ► corresponde a um fator de sobre corrente de  $20 \times I_n$  conforme NBR-6856;

$I_{sec}$  ► corrente secundária e

$Z_t$  ► impedância total (  $Z_{carga} + Z_{secundária}$  ).

$Z_{carga}$  ► corresponde a uma parcela resistiva e uma parcela indutiva referente a soma da impedância do cabo de conexão rele/TC e a impedância interna do próprio relé de proteção.

$Z_{secundária}$  ► corresponde somente a uma parcela resistiva, já que, à reatância de dispersão do enrolamento secundário possui um valor desprezível devido ao modelo construtivo.

Assim a impedância total a ser considerada em cálculos será uma soma entre  $Z_{carga}$  e  $Z_{secundária}$ . Utilizando os descritivos acima, concluímos que:

$$V_{sat} = FS \times (Z_{sec} + Z_{relé} + Z_{cabo}) \times I_{sec}$$

$$V_{sat} = 20 \times (2 + 0,007 + 0,0828) \times 5$$

$$V_{sat} = 208,98 \text{ V}$$

Tensão secundária do TC =  $300 \text{ V}$  (valor de fabricação)

### C. CONCLUSÃO

Como a tensão exigida no secundário do TC no curto circuito, o TC com exatidão de 10B300 atende aos critérios de proteção e garante que não haverá saturação do núcleo ferromagnético.

## 3. ESTUDO DE COORDENAÇÃO E SELETIVIDADE

### A. DADOS DE ENTRADA

Impedância acumulada no ponto de conexão:

$$R_1 = 0,196 \text{ p.u.} \quad X_1 = 0,740 \text{ p.u.}$$

$$R_0 = 0,238 \text{ p.u.} \quad X_0 = 0,995 \text{ p.u.}$$



Potência de base: 100 MVA  
Tensão de base: 13,8 kV

Proteção Celesc: Chave fusível com Elo fusível tipo 25K (25 A)  
Relação dos TC's: 350-5 A  
Relé de proteção: URPE-7104, Fabricante: Pextron

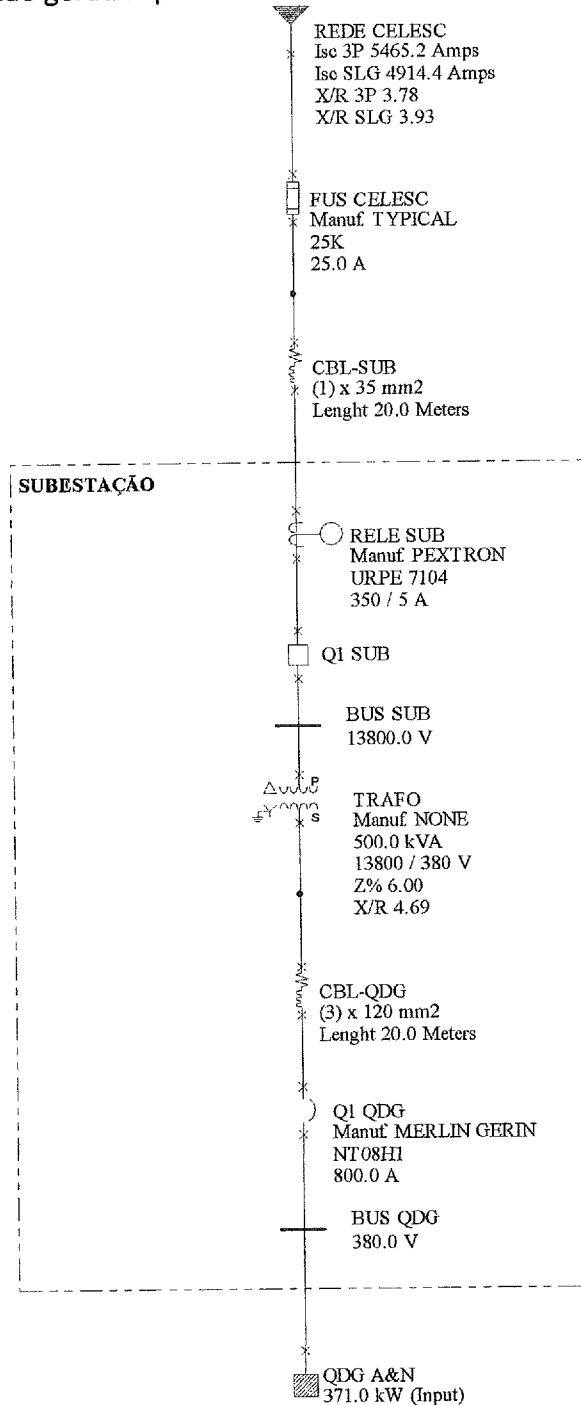
**B. DADOS DO TRANSFORMADOR**

Potência: 500 kVA  
Relação de tensão: 13800 / 380 V  
Z = 6,0 %  
Inrush = 8 x In por 0,1 segundos  
Demanda da Carga: 371kW (403kVA)



### C. DIAGRAMA UNIFILAR

Os dados de cálculo são gerados pelo software SKM- POWER TOOLS FOR WINDOWS.



## D. CALCULO DE CURTO-CIRCUITO

ANÁLISE DE CURTO-CIRCUITO PARA SELETIVIDADE  
EM HILDA ANNA KRISCH  
ICC TRIFÁSICO E MONOFÁSICO

ALL PU VALUES ARE EXPRESSED ON A 100 MVA BASE

BUS NAME	SWING GENERATORS		
	SOURCE NAME	VOLTAGE	ANGLE
BUS CELESC	REDE CELESC	1.00	0.00

\*\*\*\*\* P R E - F A U L T V O L T A G E P R O F I L E \*\*\*\*\*

BUS#	NAME	BASE VOLTS	PU VOLTS	ANGLE (D)
BUS QDG		380.00	1.0000	-30.
BUS SUB		13800.00	1.0000	0.

\*\*\*\*\* F A U L T A N A L Y S I S R E P O R T \*\*\*\*\*

FAULT TYPE: 3PH  
MODEL INDUCTION MOTOR CONTRIBUTION: YES  
MODEL TRANSFORMER TAPS: YES  
MODEL TRANSFORMER PHASE SHIFT: YES

=====  
BUS QDG VOLTAGE BASE LL: 380.0 (VOLTS)  
INI. SYM. RMS FAULT CURRENT: 11413.8 / -104. ( AMPS/DEG )  
THEVENIN EQUIVALENT IMPEDANCE: 3.571 +j 12.824 (PU)  
THEVENIN IMPEDANCE X/R RATIO: 3.591

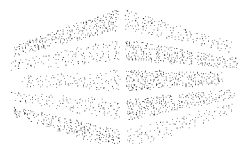
ASYM RMS INTERRUPTING AMPS  
1/2 CYCLES 2 CYCLES 3 CYCLES 5 CYCLES 8 CYCLES  
13249.9 11424.2 11414.1 11413.8 11413.8

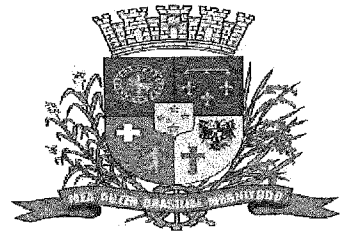
INI. SYM. RMS FAULTED BUS VOLTAGES ( PU / DEG )  
AT TIME = 0.5 CYCLES  
---PHASE A--- ---PHASE B--- ---PHASE C---  
0.0000 / 0.0 0.0000 / 0.0 0.0000 / 0.0

INI. RMS FAULTED CURRENT ( AMPS / DEG )  
AT TIME = 0.5 CYCLES  
---PHASE A--- ---PHASE B--- ---PHASE C---  
11413.8 / -104.4 11413.8 / 135.6 11413.8 / 15.6

BUS QDG ===== INI. SYM. RMS SYSTEM BUS VOLTAGES ( PU / DEG ) =====  
FIRST BUS FROM FAULT AT TIME = 0.5 CYCLES  
---PHASE A--- ---PHASE B--- ---PHASE C---  
380.0 0.0702 / -83. 0.0702 / 157. 0.0702 / 37.

BUS-TF  
BUS QDG ===== INI. RMS SYSTEM BRANCH FLOWS ( AMPS ) =====  
FIRST BRANCH FROM FAULT AT TIME = 0.5 CYCLES  
BRANCH NAME VBASE LL -PHASE A- -PHASE B- -PHASE C-  
BUS-TF BUS QDG CBL-QDG 380. 11413.8/-104. 11413.8/ 136. 11413.8/16.





BUS SUB VOLTAGE BASE LL: 13800.0 (VOLTS)  
 INI. SYM. RMS FAULT CURRENT: 5441.4 / -75. ( AMPS/DEG )  
 THEVENIN EQUIVALENT IMPEDANCE: 0.203 +j 0.742 (PU)  
 THEVENIN IMPEDANCE X/R RATIO: 3.652

ASYM	RMS	INTERRUPTING AMPS			
1/2 CYCLES	2 CYCLES	3 CYCLES	5 CYCLES	8 CYCLES	
6341.1	5447.0	5441.6	5441.4	5441.4	

INI. SYM. RMS FAULTED BUS VOLTAGES ( PU / DEG )  
 AT TIME = 0.5 CYCLES  
 ---PHASE A--- ---PHASE B--- ---PHASE C---  
 0.0000 / 0.0 0.0000 / 0.0 0.0000 / 0.0

INI. RMS FAULTED CURRENT ( AMPS / DEG )  
 AT TIME = 0.5 CYCLES  
 ---PHASE A--- ---PHASE B--- ---PHASE C---  
 5441.4 / -74.7 5441.4 / 165.3 5441.4 / 45.3

BUS SUB ===== INI. SYM. RMS SYSTEM BUS VOLTAGES ( PU / DEG ) =====  
 FIRST BUS FROM FAULT AT TIME = 0.5 CYCLES  
 ---PHASE A--- ---PHASE B--- ---PHASE C---

BUS CELESC	13800.0	0.0094 / -62.	0.0094 / 178.	0.0094 / 58.
BUS-TF	380.0	0.0000 / 0.	0.0000 / 0.	0.0000 / 0.

BUS SUB ===== INI. RMS SYSTEM BRANCH FLOWS ( AMPS ) =====  
 FIRST BRANCH FROM FAULT AT TIME = 0.5 CYCLES

BUS CELESC	BUS SUB	BRANCH NAME	VBASE LL	-PHASE A-	-PHASE B-	-PHASE C-
BUS SUB	BUS-TF	CBL-SUB	13800.	5441.4/ -75.	5441.4/ 165.	5441.4/45.
BUS SUB	BUS-TF	TRAF0	13800.	0.0/ 0.	0.0/ 0.	0.0/0.

\*\*\*\*\* FAULT ANALYSIS REPORT \*\*\*\*\*

FAULT TYPE: SLG  
 MODEL INDUCTION MOTOR CONTRIBUTION: YES  
 MODEL TRANSFORMER TAPS: YES  
 MODEL TRANSFORMER PHASE SHIFT: YES

BUS QDG VOLTAGE BASE LL: 380.0 (VOLTS)  
 INI. SYM. RMS FAULT CURRENT: 11447.2 / -104. ( AMPS/DEG )  
 THEVENIN EQUIVALENT IMPEDANCE: 11.021 +j 38.262 (PU)  
 THEVENIN IMPEDANCE X/R RATIO: 3.472  
 SEQUENCE EQUIVALENT IMPEDANCE Z1: 3.571 +j 12.824 (PU)  
 Z2: 3.571 +j 12.824 (PU)  
 Z0: 3.879 +j 12.615 (PU)

ASYM	RMS	INTERRUPTING AMPS			
1/2 CYCLES	2 CYCLES	3 CYCLES	5 CYCLES	8 CYCLES	
13188.5	11455.4	11447.4	11447.2	11447.2	

INI. SYM. RMS FAULTED BUS VOLTAGES ( PU / DEG )  
 AT TIME = 0.5 CYCLES  
 ---PHASE A--- ---PHASE B--- ---PHASE C---  
 0.0000 / 0.0 0.9909 / -150.1 1.0063 / 89.6

INI. RMS FAULTED CURRENT ( AMPS / DEG )  
 AT TIME = 0.5 CYCLES  
 ---PHASE A--- ---PHASE B--- ---PHASE C---  
 11447.2 / -103.9 0.0 / 0.0 0.0 / 0.0

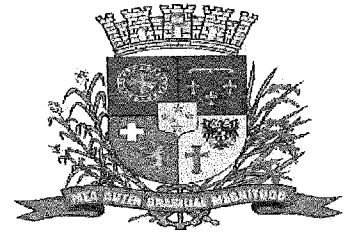
BUS QDG ===== INI. SYM. RMS SYSTEM BUS VOLTAGES ( PU / DEG ) =====  
 FIRST BUS FROM FAULT AT TIME = 0.5 CYCLES  
 ---PHASE A--- ---PHASE B--- ---PHASE C---

BUS-TF	380.0	0.0876 / -77.	0.9903 / -149.	0.9907 / 89.
--------	-------	---------------	----------------	--------------

BUS QDG ===== INI. RMS SYSTEM BRANCH FLOWS ( AMPS ) =====







FIRST BRANCH FROM FAULT AT TIME = 0.5 CYCLES  
 BRANCH NAME VBASE LL -PHASE A- -PHASE B- -PHASE C-  
 CBL-QDG 380. 11447.2/-104. 0.0/-104. 0.0/-104.

BUS SUB VOLTAGE BASE LL: 13800.0 (VOLTS)  
 INI. SYM. RMS FAULT CURRENT: 4894.3 / -75. ( AMPS/DEG )  
 THEVENIN EQUIVALENT IMPEDANCE: 0.651 +j 2.480 (PU)  
 THEVENIN IMPEDANCE X/R RATIO: 3.809  
 SEQUENCE EQUIVALENT IMPEDANCE Z1: 0.203 +j 0.742 (PU)  
 Z2: 0.203 +j 0.742 (PU)  
 Z0: 0.245 +j 0.997 (PU)

ASYM	RMS	INTERRUPTING AMPS			
1/2 CYCLES	2 CYCLES	3 CYCLES	5 CYCLES	8 CYCLES	
5758.5	4901.0	4894.6	4894.3	4894.3	

INI. SYM. RMS FAULTED BUS VOLTAGES ( PU / DEG )  
 AT TIME = 0.5 CYCLES  
 ---PHASE A--- ---PHASE B--- ---PHASE C---  
 0.0000 / 0.0 1.0617 / -124.5 1.0461 / 125.0

INI. RMS FAULTED CURRENT ( AMPS / DEG )  
 AT TIME = 0.5 CYCLES  
 ---PHASE A--- ---PHASE B--- ---PHASE C---  
 4894.3 / -75.3 0.0 / 0.0 0.0 / 0.0

BUS SUB ===== INI. SYM. RMS SYSTEM BUS VOLTAGES ( PU / DEG ) =====  
 FIRST BUS FROM FAULT AT TIME = 0.5 CYCLES  
 ---PHASE A--- ---PHASE B--- ---PHASE C---  
 BUS CELESC 13800.0 0.0085 / -61. 1.0615 / -124. 1.0460 / 125.  
 BUS-TF 380.0 0.6040 / -55. 0.6130 / -124. 1.0000 / 90.  
 BUS SUB ===== INI. RMS SYSTEM BRANCH FLOWS ( AMPS ) =====  
 FIRST BRANCH FROM FAULT AT TIME = 0.5 CYCLES  
 BRANCH NAME VBASE LL -PHASE A- -PHASE B- -PHASE C-  
 BUS CELESC BUS SUB CBL-SUB 13800. 4894.3/ -75. 0.0/ -75. 0.0/ -75.  
 BUS SUB BUS-TF TRAF0 13800. 0.0/ 0. 0.0/ 0. 0.0/ 0.

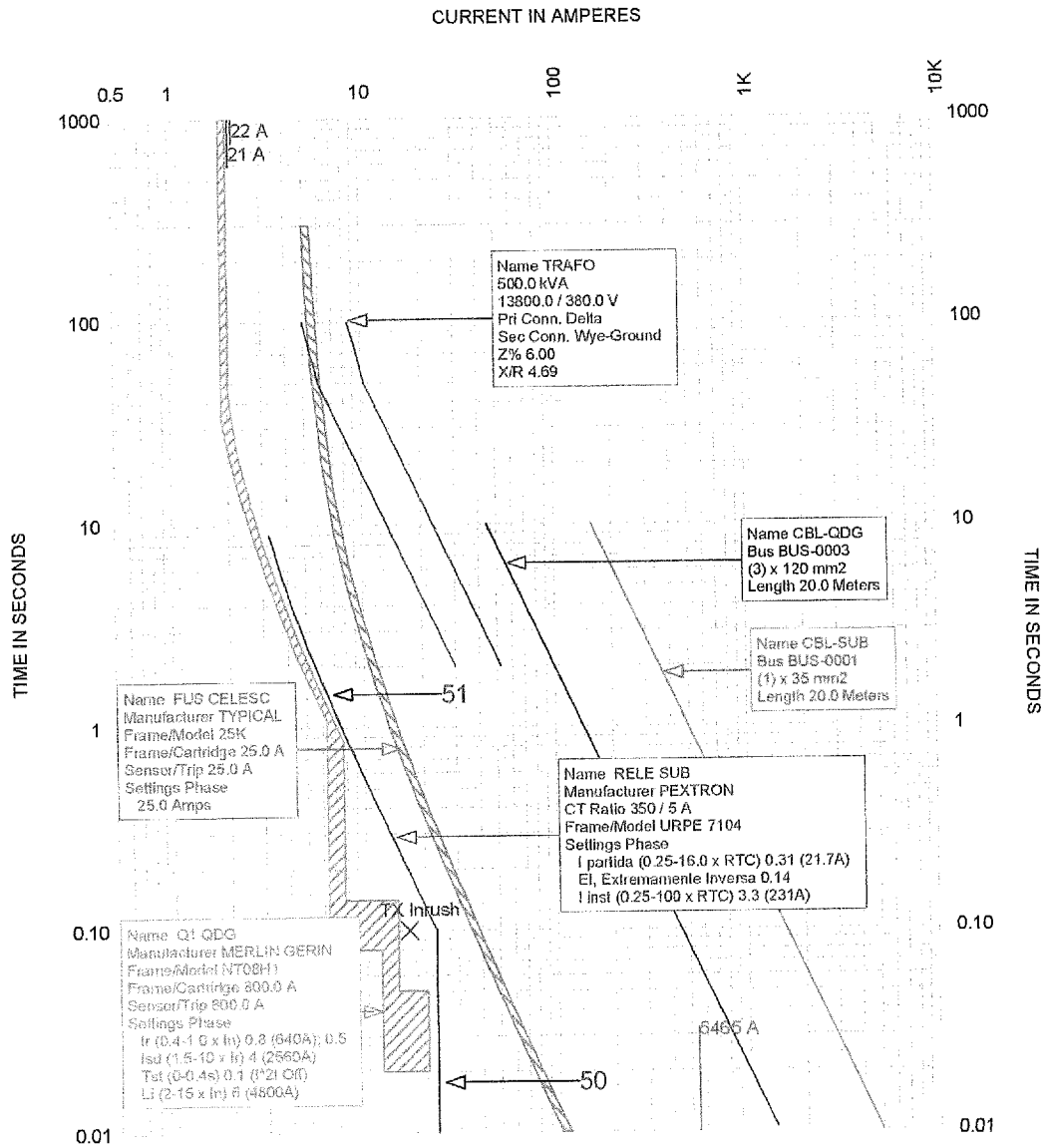
\*\*\*\*\* FAULT ANALYSIS SUMMARY \*\*\*\*\*

BUS NAME	VOLTAGE	AVAILABLE FAULT CURRENT			
		L-L	3 PHASE	X/R LINE/GRND	X/R
BUS QDG	380.	11413.8	3.6	11447.22	3.5
BUS SUB	13800.	5441.4	3.7	4894.31	3.8

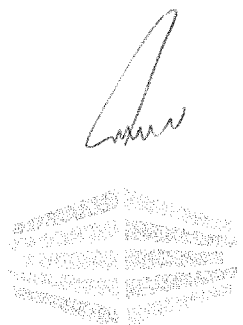
\*\*\*\*\* FAULT ANALYSIS REPORT COMPLETED \*\*\*\*\*



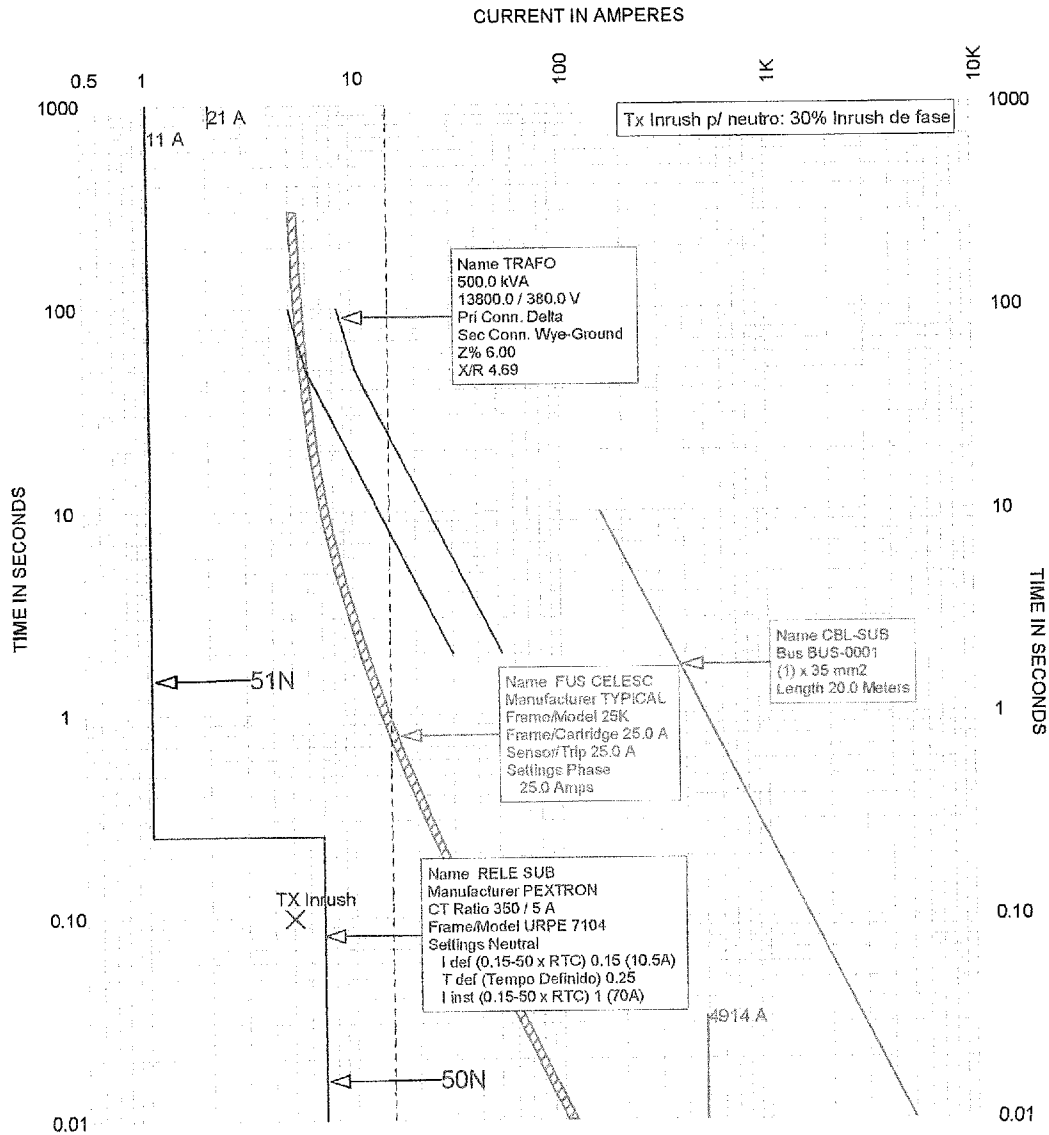
**E. COORDENOGRAMA DE FASE**



TCC Name: Prot. Fase Trafo	Current Scale x 10
Online:	Reference Voltage: 13800
March 11, 2015 4:28 PM	SKM Systems Analysis, Inc.



## F. COORDENOGRAMA DE NEUTRO



TCC Name: Prot. Neutro Trafo	Current Scale x 10	Reference Voltage: 13800
Online: February 9, 2015 3:43 PM		SKM Systems Analysis, Inc.



## G. CRITÉRIO PARA AJUSTES DAS PROTEÇÕES DA SUBESTAÇÃO

*Função 51:* Ajuste em 30% acima da demanda contratada de 371 kW.

$$I_n = \frac{371kW}{13,8kV \times \sqrt{3} \times 0,92} = 16,9A$$

$$Ajuste = 16,9 \times 1,3 = 22A$$

$$Ajuste = 22 \times \frac{5}{350} = 0,31A_{sec}$$

A temporização da função foi ajustada de forma a coordenar com o disjuntor à jusante e o fusível a montante.

O disjuntor do secundário do transformador foi ajustado em função da demanda contratada de 371 kW.

$$I_n = \frac{371kW}{0,38kV \times \sqrt{3} \times 0,92} = 612,7A$$

$$Ajuste = \frac{612,7A}{800A} = 0,76$$

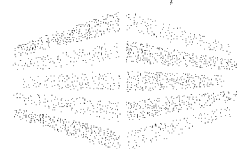
Portanto, o ajuste do disjuntor será de 0,8 x In.

*Função 50:* Ajuste em 5 a 40% acima da corrente de Inrush do transformador.

*Função 51N:* Ajuste da corrente de partida em 30% da demanda contratada de 371 kW.

Uma vez que foi necessário aumentar a relação dos TC's devido ao lcc, não foi possível implementar este ajuste em 30% da demanda contratada, pois o mínimo ajuste permitido no relé é maior que isto (aproximadamente 62%). Desta forma a corrente de partida foi ajustada no mínimo valor permitido.

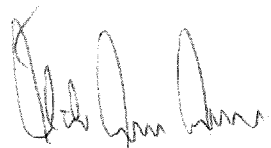
A temporização da função foi ajustada de forma a coordenar o fusível a montante.



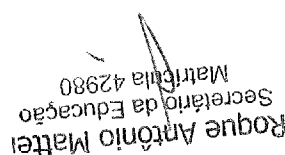
**Função 50N:** Ajuste em 30% da corrente ajustada para a proteção instantânea de fase (50), de forma a garantir que não haverá falsa atuação durante o Inrush devido a circulação de harmônicas de sequência zero.

Proteção de fase		
Múltiplos	Tempo (seg)	I fase (A)
1,02	277,2	22,4
2	3,73	44
5	0,47	110
8	0,18	176
10	0,11	220

Proteção de neutro		
Múltiplos	Tempo (seg)	I neutro (A)
1,02	0,25	10,7
2	0,25	21
5	0,25	52,5
8	0	84
10	0	105



**ITALO LUNA CORRÊA**  
Engenheiro Eletricista  
CREA/SC 086923-8



Roque Antônio Mattei  
Secretário da Educação  
Matrícula 42980



Rosane Mebs  
Gerente da Unid. Administrativa  
Matrícula 42983

