

PEA3509

LABORATÓRIO DE AUTOMAÇÃO E PROTEÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS E INDUSTRIAIS



Módulo SAS – Sistema de Automação de Subestações

Experimento: Sistema de Proteção/Automação de Rede Elétrica de Planta Industrial

Versão	Revisão	Observação
D	Eduardo Cesar Senger	Conteúdo original
E	Milana Lima dos Santos, Eduardo Lorenzetti Pellini, Leonardo Ramos Pereira	Alterações para uso com o Elipse Power
F	Milana Lima dos Santos, Eduardo Lorenzetti Pellini	Consolidação de diversos documentos relacionados

Sumário

1. Objetivos

Nesta atividade, o aluno irá implementar e ensaiar parte do sistema de proteção, controle e supervisão da rede de distribuição de energia elétrica de uma grande planta petroquímica, instalada em uma área de 45 km², utilizada como exemplo.

Esse sistema será baseado em IEDs (*Intelligent Electronic Devices*) de última geração, conectados em rede Ethernet a fibra óptica, comunicando-se através do protocolo IEC 61850. As lógicas e automatismos de proteção, intertravamento e controle serão implementados, de forma distribuída, diretamente nos IEDs, sem a utilização de UTRs (Unidades Terminais Remotas). Um sistema supervisório deverá ser configurado para receber as informações dos IEDs, apresentá-las de forma clara amigável, realizar comandos, reunir um conjunto de alarmes para ciência do operador e gerar relatórios de eventos.

2. Rede de distribuição de energia elétrica

Como ilustrado na figura [1], a rede elétrica considerada possui uma topologia radial e atende a uma demanda total de 384 MVA. Parte da energia elétrica necessária para o funcionamento da planta é fornecida por dois turbo geradores a gás (cogeração de energia elétrica e vapor) de potência nominal de 140 MW/175 MVA, em 25 kV, instalados na Central de Utilidades. A planta é conectada à rede básica do SIN (Sistema Interligado Nacional) através do seccionamento de uma linha de transmissão (circuito duplo) de 345 kV. Essa conexão é utilizada para complementação da demanda consumida pela planta e também como backup no caso de perda da cogeração. O ponto de conexão do sistema elétrico da planta com o SIN é realizado em uma subestação de entrada (SE 5140) do tipo GIS/SF₆ (Gas Insulated Substation), utilizando arranjo de barra dupla com disjuntor e meio.

A partir dessa subestação de entrada, dois alimentadores, cada um constituído por seis cabos isolados (dois cabos por fase), com bitola de 1000 mm², instalados em bandejas aéreas, alimentam dois transformadores de 345/138 kV, de 500 MVA cada, localizados na SE 5142 (SE Principal). Essa subestação possui barramento simples seccionado, de 138 kV, onde são conectados os turbos geradores. Desse barramento partem pares de alimentadores que suprem energia a nove Subestações de Distribuição localizadas ao longo da área da planta petroquímica. Cada um dos alimentadores que energizam uma dada subestação de distribuição está conectado a uma das seções do barramento de 138 kV.

O arranjo de uma dessas nove Subestações de Distribuição (SE 5151) é mostrado em detalhes na figura [1]. Essa SE, com demanda de 40 MVA, possui dois transformadores de

potência que reduzem a tensão para o nível de distribuição (a tensão secundária das SES de distribuição é de 13,8 ou 34,5 kV, dependendo de sua demanda).

Das SEs de Distribuição partem alimentadores de média tensão (34,5 ou 13,8 kV) que alimentam 43 subestações Auxiliares instaladas junto às diversas unidades de produção da planta. Nas SEs Auxiliares encontram-se os painéis dos Centros de Distribuição de Cargas (CDC) que alimentam as cargas e motores dessas unidades, em tensão de 4,16 ou 0,48 kV.

Como já comentado, a rede de distribuição possui topologia radial, o que implica que, entre os três disjuntores que energizam as secções dos barramentos das subestações (dois disjuntores de entrada mais o disjuntor de interligação), pelo menos um deve operar aberto. Todos os alimentadores da rede de distribuição são constituídos por cabos isolados instalados em bandejas aéreas.

Pode-se considerar três situações operacionais para rede da figura [1]:

1. Operação Normal: nesta situação operativa, a demanda total da planta (365 MW) é atendida pelos turbogeradores (280 MW) e complementada pelo SIN. Normalmente as SEs operam com os disjuntores de entrada (disjuntores A e B) fechados e o disjuntor de interligação (disjuntor T) aberto. Caso ocorra a perda de um dos alimentadores de entrada, o correspondente disjuntor de entrada é aberto e o disjuntor de interligação é fechado.

2. Operação sem geração interna: nesta situação operativa os turbogeradores encontram-se desligados e toda a carga passa a ser alimentada pelo SIN.

3. Operação Ilhada: nesta situação a planta opera sem a conexão com o SIN. Como a geração interna não é suficiente para atender toda a demanda, existe um sistema automático de rejeição de carga que detecta essa condição e envia, via rede de dados, comandos de abertura dos disjuntores para os IEDs com as cargas menos prioritárias. Esse sistema deve atingir uma situação de equilíbrio entre a geração e o consumo de energia em um tempo inferior a 250 ms.

A rede da figura 1 foi modelada no toolbox SimpowerSystems do Matlab, sendo que esse modelo, disponibilizado para os alunos da disciplina, permite simular a rede em regime permanente para condições de operação normal ou de falta.

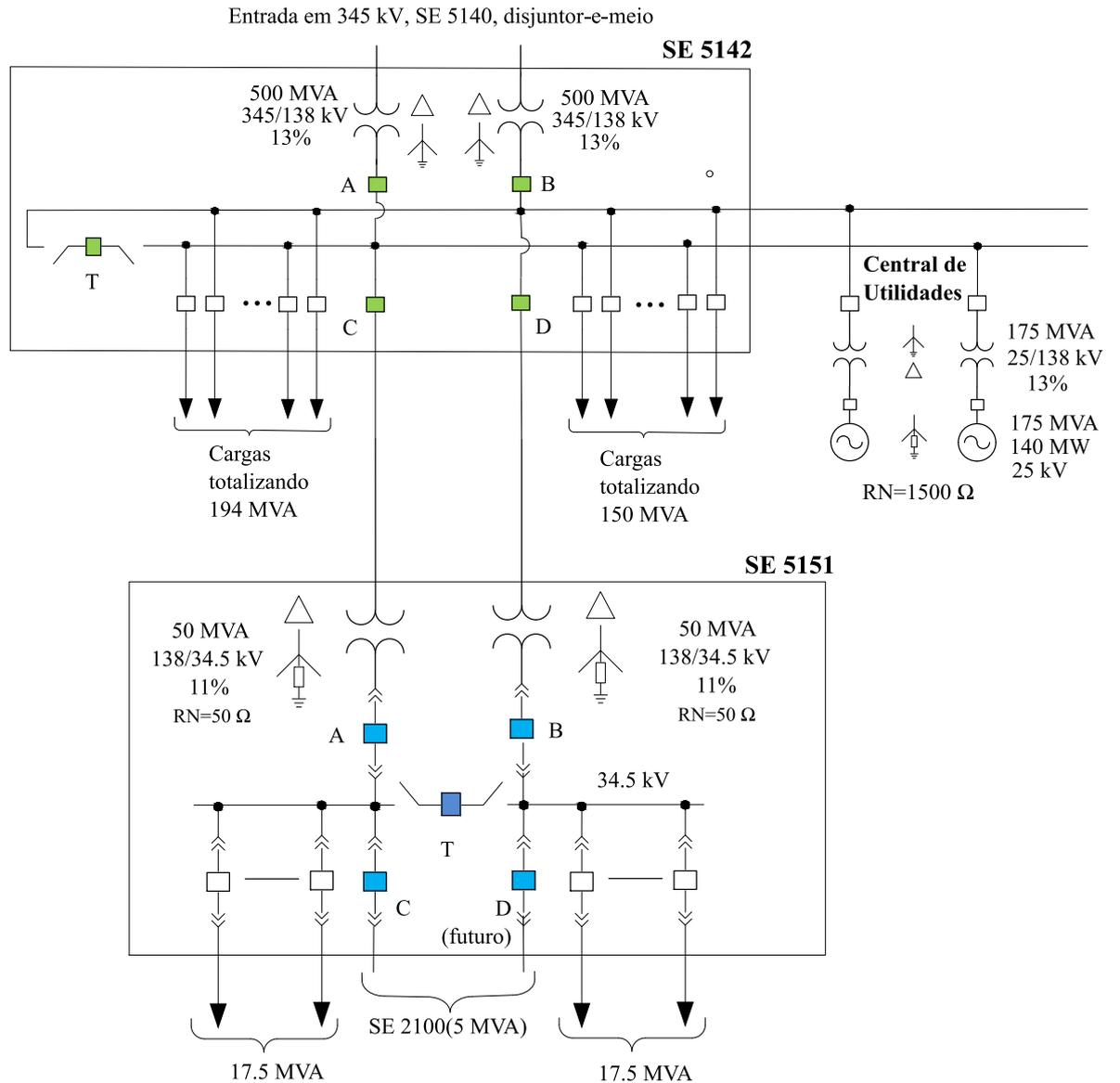


Figura 1 - Rede Elétrica de Distribuição de Energia de Planta Petroquímica.

2.1 Parâmetros da rede de distribuição de Energia

a) Equivalentes de 345 kV (SIN)

Impedâncias dos Equivalentes das Barras de 345 kV		
Terminal	Seq +	Seq 0
A	0,001 + j 0,014	0,0013 + j 0,0077
B	0,0003 + j 0,0102	0,00006 + j 0,0031

b) Linha de Transmissão de 345 kV

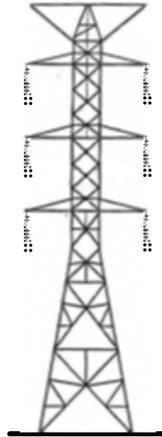


Figura [2]- Configuração da torre da LT 345 kV

- Geometria das cabeças de torre das linhas

Distância horizontal ao eixo da torre (m)						Altura em relação ao condutor inferior (m)							
Circuito 1 - fases			Circuito 2 - fases			PR	Circuito 1 - fases			Circuito 2 - fases			PR
A	B	C	A	B	C		A	B	C	A	B	C	
-5,8	-5,8	-5,8	5,8	5,8	5,8	± 5,8	15	7,5	0	0	7,5	15	22,5

- A resistividade do solo local é de 1000 Ω .m.
- Espaçamento entre subcondutores do *bundle*= 457 mm
- Distância mínima dos condutores ao solo: 8 metros

- Dados dos cabos condutores e para-raios1

	Nome	MCM	Diâmetro	T/D	Ohms/ km	Condutores no <i>bundle</i>	Flecha
Fases	Rail	954	2,959	0,375	0,0663	3	17
Cabo	3/8	-	0,914	0,5	4,19	1	12

- T é a espessura da seção de alumínio e D, o diâmetro do condutor.

c) Alimentadores da Rede de Distribuição de Energia da Planta

Características dos alimentadores											
Feeder	Local	V (kV)	L (m)	cabos/fase	# (mm ²)	I _{max} (A)	R (Ohms/km)	D Condutor (mm)	Espessura isolamento	D isolamento	D Externo (mm)
1	Entrada SE principal	345	3000	2	1000	1045	0.0176	37,9	26,0	93,3	111,3
2	Conexão geradores	138	200	3	300	600	0.0601	20,4	16,0	54,8	68,3
3	Entrada SE 5151	138	1000	1	300	600	0.0601	20,4	16,0	54,8	68,3
4	Feeder 34,5 kv	13,8	200	1	70	357	0,268	9,7	4,5	19,9	25,5

Parâmetros dos alimentadores						
Feeder	R_0_final [ohms/km]	X_0_final [ohms/km]	Yc_0_final [ohms/km]	R_1_final [ohms/km]	X_1_final [ohms/km]	Xc_1_final [Mohms/km]
1	0,0135482	0,0442496	1,12E-004	0,01150879	0,13201374	1,12E-004
2	0,0243188	0,0340559	1,43E-004	0,01845823	0,09379857	1,43E-004
3	0,0683351	0,0988618	5,09E-005	0,05647824	0,28083693	5,09E-005
4	0,320074	0,0825796	7,00E-005	0,23413179	0,21255728	7,00E-005

3. Arquitetura da Rede de Comunicação de dados

O sistema real de proteção e automação de uma rede com o porte da mostrada na figura [1] certamente seria constituído por várias centenas de IEDs, provavelmente operando com o protocolo IEC 61850. Esses IEDs são usualmente integrados em uma rede de comunicação de dados para fornecimento e compartilhamento dos dados necessários para execução das diversas funções de proteção, controle e automação que são implementadas de forma centralizada no COS (Centro de Operação do Sistema) da planta ou de forma distribuída nos IEDs. Algumas das lógicas aplicáveis a um sistema como esse são, além dos comando de abertura e fechamento de disjuntores e seccionadoras, respeitando as seleções de controle local/remoto, a possibilidade de paralelismo momentâneo de alimentadores, a transferência automática de alimentador por falta de tensão, a rejeição automática de carga, a seletividade lógica, o desligamento com bloqueio de disjuntor, a transferência de trip, a detecção de falha de disjuntor, dentre outras.

Como indicado na figura [3], dentro de uma mesma subestação, os IEDs podem ser conectados aos *switches* utilizando topologia em estrela. Visando aumento de confiabilidade, pode-se utilizar uma topologia em estrela redundante (linhas tracejadas na figura [3]). Para implementação dessa topologia redundante os IEDs devem possuir duas portas Ethernet com protocolo IEC 61850 operando no modo *failsafe*, as quais são conectadas por meio de cabos de fibra óptica a switches diferentes instalados na subestação. Em caso de falha de comunicação na porta principal, a comunicação deve passar a ser executada, sem interrupção, pela outra porta.

Já a topologia para interligação dos diversos switches presentes nas diversas subestações será do tipo anel de fibra óptica, bidirecional e autoreconfigurável em caso de interrupção do anel ou ocorrência de falha em alguns dos componentes do sistema. Essa reconfiguração é executada pela função RSTP – *Rapid Spanning Tree Protocol*.

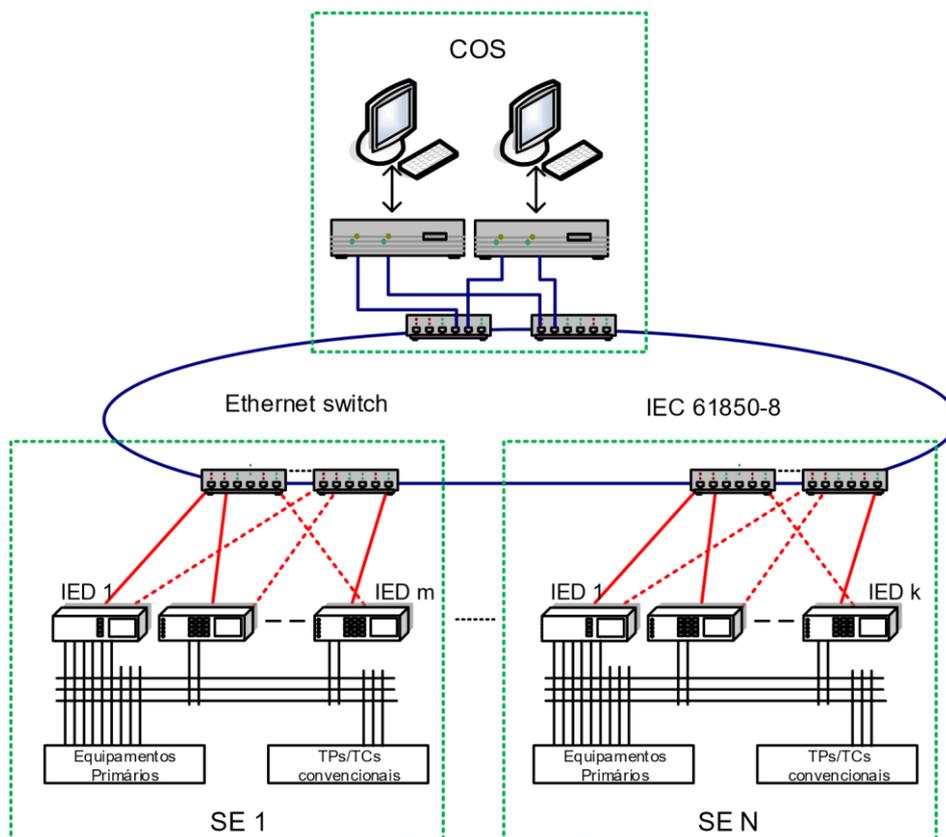


Figura [3]- Rede de comunicação de dados.

4. Sistema a ser implementado e simulado no laboratório

As lógicas e funções de proteção descritas no item anterior serão implementados em uma versão simplificada, de pequeno porte, do sistema de automação/proteção descrito no item anterior. Como mostrado na figura [4], nessa versão simplificada serão representados apenas alguns elementos de duas subestações do sistema: SE 5142 e SE 5151. A implementação do sistema inteiro será executada por um grupo de alunos. Dentro desse grupo, as lógicas na SE 5142 serão de responsabilidade de um subgrupo, enquanto a implementação das lógicas na SE 5151 será de responsabilidade de outro subgrupo.

No laboratório (L.PROT) encontram-se disponíveis nove IEDs, marca GE, modelo UR. Na rede da SE 5142 serão utilizados cinco IEDs (G60, C60, L90, T60, F60) e na rede da SE 5151 serão utilizados quatro IEDs (L90, B30, D60, M60). Os endereços IPs de cada IEDs serão informados pelos professores em cada edição da disciplina.

As seguintes lógicas/automatismos deverão ser implementadas pelos grupos no laboratório, de acordo com a tabela a seguir.

Função/IEDs	5142A	5142B	5142C	5142D	5142T	5151A	5151B	5151C	5151T
Local/remoto do disjuntor	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Comando liga/desliga disjuntor	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Função 86 (bloqueio de disjuntor)	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Função 68 (seletividade lógica)	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Função 50BF (falha de disjuntor)	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Função 94 (transferência de trip)			x	x				x	

O sistema elétrico deverá ser modelado no sistema supervisorio Elipse Power. As informações digitais relativas às funções mencionadas, assim como as medições analógicas, deverão estar disponíveis em telas amigáveis. Além disso, os comandos deverão ser implementados em dois níveis: nível 1 (IHM do IED) e nível 2 (IHM do supervisorio). A seleção local/remoto de cada disjuntor deverá ser feita na IHM do respectivo IED, e o seu valor deverá intertravar o comando, da seguinte forma: se o disjuntor estiver no modo “local”, o comando não poderá ser executado pela IHM do supervisorio; se estiver no modo “remoto”, o comando não poderá ser executado pela IHM do IED.

Para facilitar o trabalho do grupo, um supervisorio semi-configurado se encontra disponível no Moodle da disciplina. Arquivos diferentes são destinados aos subgrupos das SEs 5142 e 5151.

5. Detalhes das Lógicas a serem implementadas nos IEDs

Detalhes das lógicas a serem implementadas nos IEDs são mostrados em um caderno de diagramas disponível no Moodle.

6. Roteiro para configuração das mensagens GOOSE

O anexo C apresenta um roteiro para auxiliar o aluno na configuração das mensagens GOOSE em cada dispositivo.

7. Roteiro para unificação da configuração do sistema supervisorio

O anexo E apresenta instruções detalhadas para a unificação da configuração do sistema supervisorio.

8. Simulação, Ensaio e Comissionamento do SAS

Para efeito de ensaio, comissionamento e avaliação do desempenho do Sistema de Automação/Proteção implementado, o comportamento dinâmico da rede elétrica de potência, constituída pelas linhas de transmissão/distribuição, turbogeradores, transformadores de potência, disjuntores e transformadores de instrumentação (TP e TC), será simulado com a utilização do Simulador de Tempo Real – RTDS -, disponível no LPROT. Esse simulador é constituído por 4 racks, instalados em 2 cubículos, com um total de 12 cartões de processamento GPC. Em termos de entradas e saídas, o simulador possui a seguinte configuração:

- Saídas analógicas: 4 cartões GTA0 com um total de 48 saídas
- Entradas analógicas (GTAI): total de 24 canais para entrada de sinais analógicos;
- Entradas digitais: 2 cartões GTDI com um total de 128 entradas digitais;
- Saídas digitais: 2 cartões GTDO - total de 128 saídas digitais;
- Mensagens GOOSE: 2 cartões GTNET-GSE para envio/recebimento de mensagens GSE (IEC 61850) - cada cartão permite até 32 entradas digitais + 32 saídas digitais a ser trocada entre o RTDS e até 5 IEDS utilizando mensagens GOOSE;
- Sinais Amostrados: cartões para envio de valores amostrados (IEC 61850-9-2) - total de 24 sinais analógicos enviados para os IEDs a uma taxa de 80 amostras/ciclo.
- Amplificadores de sinais analógicos: 04 amplificadores Omicron CMS 156 (cada um com 3 canais de tensão + 03 canais de corrente com fundo de escala de 25 A RMS por canal.

O sistema da figura [1] foi modelado no software RSCAD, sendo a tela de interface do módulo Runtime, para o sistema modelado, mostrada na figura [6].

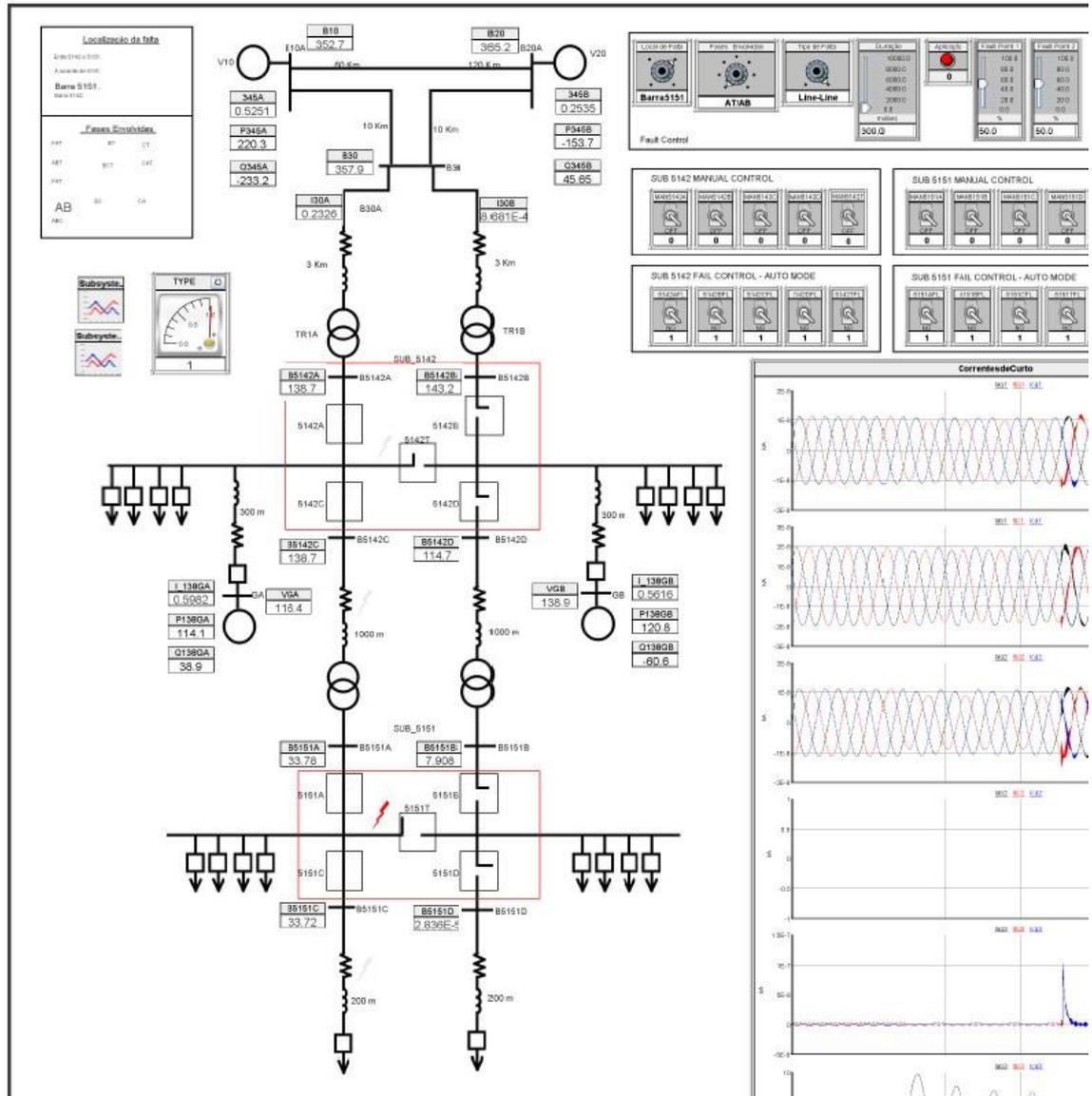


Figura [6] – Sistema modelado no RSCAD

Com relação aos equipamentos primários representados no modelo mostrado na figura [6], pode-se fazer as seguintes observações:

- Relação dos Transformadores de instrumentação

O RSCAD gera, através de simulação, os sinais analógicos (tensões e corrente trifásicas) no secundário dos transformadores de instrumentação associados aos 9 IEDS considerados neste trabalho. Devido, no entanto, a limitações no número de amplificadores disponíveis no laboratório (o LPROT possui 4 amplificadores, cada um com 3 canais de tensão + 3 canais de corrente) somente os sinais analógicos junto aos IEDS A e C das duas SEs foram levados aos cartões de saída analógica GTO e amplificados para serem injetados nos respectivos IEDs. Dessa forma, somente esses 4 IEDs contam com os sinais de tensão e correntes reais, sendo os demais IEDs alimentados somente com tensão fornecida por uma caixa de teste de relés.

Para facilitar a amplificação dos sinais de corrente gerados pelo RTDS, considerou-se os TCs com corrente secundária nominal de 1 A (isso reduz a magnitude dos sinais a serem injetados nos IEDs), conforme a tabela a seguir.

SE	IED	Relação de transformação	
		TP	TC
5142	A, B, T	138.000/110 V	1500:1 A
	C, D	138.000/110 V	800:1 A
5151	A, B, T	34.500/110 V	800:1 A
	C, D	34.500/110 V	400:1 A

- Disjuntores

- o Os disjuntores simulados no RSCAD possuem um tempo de extinção da falta de 1 ciclo, isto é, a corrente primária somente torna-se nula na primeira passagem por zero após 16.6 ms do sinal de trip ter sido enviado ao disjuntor.

- o Os comandos de abertura (trip) e fechamento do disjuntor são enviados pelos IEDs através de fiação conectadas entre as portas de saída/entrada digital dos IEDs e RTDS.

- o As tabelas a seguir mostram os sinais digitais associados às portas de I/O digital dos IEDs e do RTDS.

a) Entradas e saídas digitais dos IEDs

Entradas digitais – IEDs da SE 5142					
IED	Terminal	Descrição		Tag	Contato
A	H5	H5a, H5b	CONTATO AUXILIAR DO DISJUNTOR 5142A DO PAINEL DIDÁTICO	5142A_52A1	H5
	H6	H6a, H5b	52A – CONTATO 2 DO PAINEL HV DO RTDS	5142A_52A2	H6
B	H5	H5a, H5b	CONTATO AUXILIAR DO DISJUNTOR 5142B DO PAINEL DIDÁTICO	5142B_52A1	H5
	H6	H6a, H5b	52A – CONTATO 2 DO PAINEL HV DO RTDS	5142B_52A2	H6
T	H5	H5a, H5b	CONTATO AUXILIAR DO DISJUNTOR 5142T DO PAINEL DIDÁTICO	5142T_52A1	H5
	H6	H6a, H5b	52A – CONTATO 2 DO PAINEL HV DO RTDS	5142T_52A2	H6
C	H5	H5a, H5b	CONTATO AUXILIAR DO DISJUNTOR 5142C DO PAINEL DIDÁTICO	5142C_52A1	H5
	H6	H6a, H5b	52A – CONTATO 2 DO PAINEL HV DO RTDS	5142C_52A2	H6
D	H5	H5a, H5b	CONTATO AUXILIAR DO DISJUNTOR 5142D DO PAINEL DIDÁTICO	5142D_52A1	H5
	H6	H6a, H5b	52A – CONTATO 2 DO PAINEL HV DO RTDS	5142D_52A2	H6

Saídas Digitas – IEDs da SE 5142						
IED	Terminal	Descrição		Obs	Tag	Contato
A	H1	TRIP DO DISJUNTOR 5142A DO PAINEL DIDÁTICO			5142A_TRIP	H1a, H1b
	H2	FECHAMENTO DO DISJUNTOR 5142A DO PAINEL DIDÁTICO		GTDI 26 - 5 V	5142A_FD	H2c, H2b
	H3	TRIP DO DISJUNTOR 5142A SIMULADO NO RTDS		GTDI 27 - 5 V	5142A_TRIP	H3a, H3b
	H4	FECHAMENTO DO DISJUNTOR 5142A SIMULADO NO RTDS		GTDI 28 - 5 V	5142A_FD	H4a, H4b
B	H1	TRIP DO DISJUNTOR 5142B DO PAINEL DIDÁTICO			5142B_TRIP	H1a, H1b
	H2	FECHAMENTO DO DISJUNTOR 5142B DO PAINEL DIDÁTICO		GTDI 26 - 5 V	5142B_FD	H2c, H2b
	H3	TRIP DO DISJUNTOR 5142B SIMULADO NO RTDS		GTDI 27 - 5 V	5142B_TRIP	H3a, H3b
	H4	FECHAMENTO DO DISJUNTOR 5142B SIMULADO NO RTDS		GTDI 28 - 5 V	5142B_FD	H4a, H4b
T	H1	TRIP DO DISJUNTOR 5142T DO PAINEL DIDÁTICO			5142T_TRIP	H1a, H1b
	H2	FECHAMENTO DO DISJUNTOR 5142T DO PAINEL DIDÁTICO		GTDI 26 - 5 V	5142T_FD	H2c, H2b
	H3	TRIP DO DISJUNTOR 5142T SIMULADO NO RTDS		GTDI 27 - 5 V	5142T_TRIP	H3a, H3b
	H4	FECHAMENTO DO DISJUNTOR 5142T SIMULADO NO RTDS		GTDI 28 - 5 V	5142T_FD	H4a, H4b
C	H1	TRIP DO DISJUNTOR 5142C DO PAINEL DIDÁTICO			5142C_TRIP	H1a, H1b
	H2	FECHAMENTO DO DISJUNTOR 5142C DO PAINEL DIDÁTICO		GTDI 26 - 5 V	5142C_FD	H2c, H2b
	H3	TRIP DO DISJUNTOR 5142C SIMULADO NO RTDS		GTDI 27 - 5 V	5142C_TRIP	H3a, H3b
	H4	FECHAMENTO DO DISJUNTOR 5142C SIMULADO NO RTDS		GTDI 28 - 5 V	5142C_FD	H4a, H4b
D	H1	TRIP DO DISJUNTOR 5142D DO PAINEL DIDÁTICO			5142D_TRIP	H1a, H1b

H2	FECHAMENTO DO DISJUNTOR 5142D DO PAINEL DIDÁTICO	GTDI 26 - 5 V	5142D_FD	H2c, H2b
H3	TRIP DO DISJUNTOR 5142D SIMULADO NO RTDS	GTDI 27 - 5 V	5142D_TRIP	H3a, H3b
H4	FECHAMENTO DO DISJUNTOR 5142D SIMULADO NO RTDS	GTDI 28 - 5 V	5142D_FD	H4a, H4b

Entradas digitais – IEDs da SE 5151					
IED	Terminal	Descrição		Tag	Contato
A	H5	H5a, H5b	CONTATO AUXILIAR DO DISJUNTOR 5151A DO PAINEL DIDÁTICO	5151A_52A1	H5
	H6	H6a, H5b	52A – CONTATO 2 DO PAINEL HV DO RTDS	5151A_52A2	H6
B	H5	H5a, H5b	CONTATO AUXILIAR DO DISJUNTOR 5151B DO PAINEL DIDÁTICO	5151B_52A1	H5
	H6	H6a, H5b	52A – CONTATO 2 DO PAINEL HV DO RTDS	5151B_52A2	H6
T	H5	H5a, H5b	CONTATO AUXILIAR DO DISJUNTOR 5151T DO PAINEL DIDÁTICO	5151T_52A1	H5
	H6	H6a, H5b	52A – CONTATO 2 DO PAINEL HV DO RTDS	5151T_52A2	H6
C	H5	H5a, H5b	CONTATO AUXILIAR DO DISJUNTOR 5151C DO PAINEL DIDÁTICO	5151C_52A1	H5
	H6	H6a, H5b	52A – CONTATO 2 DO PAINEL HV DO RTDS	5151C_52A2	H6

Saídas Digitais – IEDs da SE 5151					
IED	Terminal	Descrição	Obs	Tag	Contato
A	H1	TRIP DO DISJUNTOR 5151A DO PAINEL DIDÁTICO		5151A_TRIP	H1a, H1b
	H2	FECHAMENTO DO DISJUNTOR 5151A DO PAINEL DIDÁTICO	GTDI 26 - 5 V	5151A_FD	H2c, H2b
	H3	TRIP DO DISJUNTOR 5151A SIMULADO NO RTDS	GTDI 27 - 5 V	5151A_TRIP	H3a, H3b
	H4	FECHAMENTO DO DISJUNTOR 5151A SIMULADO NO RTDS	GTDI 28 - 5 V	5151A_FD	H4a, H4b
B	H1	TRIP DO DISJUNTOR 5151B DO PAINEL DIDÁTICO		5151B_TRIP	H1a, H1b
	H2	FECHAMENTO DO DISJUNTOR 5151B DO PAINEL DIDÁTICO	GTDI 26 - 5 V	5151B_FD	H2c, H2b
	H3	TRIP DO DISJUNTOR 5151B SIMULADO NO RTDS	GTDI 27 - 5 V	5151B_TRIP	H3a, H3b
	H4	FECHAMENTO DO DISJUNTOR 5151B SIMULADO NO RTDS	GTDI 28 - 5 V	5151B_FD	H4a, H4b
T	H1	TRIP DO DISJUNTOR 5151T DO PAINEL DIDÁTICO		5151T_TRIP	H1a, H1b
	H2	FECHAMENTO DO DISJUNTOR 5151T DO PAINEL DIDÁTICO	GTDI 26 - 5 V	5151T_FD	H2c, H2b
	H3	TRIP DO DISJUNTOR 5151T SIMULADO NO RTDS	GTDI 27 - 5 V	5151T_TRIP	H3a, H3b
	H4	FECHAMENTO DO DISJUNTOR 5151T SIMULADO NO RTDS	GTDI 28 - 5 V	5151T_FD	H4a, H4b
C	H1	TRIP DO DISJUNTOR 5151C DO PAINEL DIDÁTICO		5151C_TRIP	H1a, H1b
	H2	FECHAMENTO DO DISJUNTOR 5151C DO PAINEL DIDÁTICO	GTDI 26 - 5 V	5151C_FD	H2c, H2b
	H3	TRIP DO DISJUNTOR 5151C SIMULADO NO RTDS	GTDI 27 - 5 V	5151C_TRIP	H3a, H3b
	H4	FECHAMENTO DO DISJUNTOR 5151C SIMULADO NO RTDS	GTDI 28 - 5 V	5151C_FD	H4a, H4b

b) Entradas e saídas digitais do RTDS

Entrada do painel HV	Terminal do IED	IED	Contato do IED	Descrição	Tag no RTDS
2	H6	5142A	H6a, H5b	52A DO IED 5142A	5142A_52A
3	H6	5142B	H6a, H5b	52A DO IED 5142B	5142B_52A
4	H6	5142T	H6a, H5b	52A DO IED 5142T	5142T_52A
5	H6	5142C	H6a, H5b	52A DO IED 5142C	5142C_52A
6	H6	5142D	H6a, H5b	52A DO IED 5142D	5142D_52A
7	H6	5151A	H6a, H5b	52A DO IED 5151A	5151A_52A
8	H6	5151B	H6a, H5b	52A DO IED 5151B	5151B_52A
9	H6	5151C	H6a, H5b	52A DO IED 5151C	5151C_52A
10	H6	5151T	H6a, H5b	52A DO IED 5151T	5151T_52A

Saída do GTDI	Descrição	Tag	Terminal	Contato do painel	IED
1	ABERTURA DE DISJUNTOR 5142A	5142A_TRIP	H3	H3a, H3b	5142A
2	FECHAMENTO DE DISJUNTOR 5142A	5142A_FD	H4	H4c, H4b	5142A
3	ABERTURA DE DISJUNTOR 5142B	5142B_TRIP	H3	H3a, H3b	5142B
4	FECHAMENTO DE DISJUNTOR 5142B	5142B_FD	H4	H4c, H4b	5142B
5	ABERTURA DE DISJUNTOR 5142T	5142T_TRIP	H3	H3a, H3b	5142T
6	FECHAMENTO DE DISJUNTOR 5142T	5142T_FD	H4	H4c, H4b	5142T
7					
8					
9	ABERTURA DE DISJUNTOR 5142C	5142C_TRIP	H3	H3a, H3b	5142C
10	FECHAMENTO DE DISJUNTOR 5142C	5142C_FD	H4	H4c, H4b	5142C
11	ABERTURA DE DISJUNTOR 5142D	5142D_TRIP	H3	H3a, H3b	5142D
12	FECHAMENTO DE DISJUNTOR 5142D	5142D_FD	H4	H4c, H4b	5142D
13					
14					
15					
16					
17	ABERTURA DE DISJUNTOR 5151A	5142A_TRIP	H3	H3a, H3b	5151A
18	FECHAMENTO DE DISJUNTOR 5151A	5142A_FD	H4	H4c, H4b	5151A
19	ABERTURA DE DISJUNTOR 5151B	5142B_TRIP	H3	H3a, H3b	5151B
20	FECHAMENTO DE DISJUNTOR 5151B	5142B_FD	H4	H4c, H4b	5151B
21					
22					
23					
24					
25	ABERTURA DE DISJUNTOR 5151C	5142C_TRIP	H3	H3a, H3b	5151C
26	FECHAMENTO DE DISJUNTOR 5151C	5142C_FD	H4	H4c, H4b	5151C
27	ABERTURA DE DISJUNTOR 5151T	5142T_TRIP	H3	H3a, H3b	5151T
28	FECHAMENTO DE DISJUNTOR 5151T	5142T_FD	H4	H4c, H4b	5151T

Após a configuração e parametrização dos IEDs ter sido concluída, o sistema de proteção/automação implementado será ensaiado com uso do simulador em tempo real (RTDS) disponível no L•Prot. Esses ensaios somente serão realizados com a supervisão do monitor da disciplina, que irá acompanhar todo o desenvolvimento dos trabalhos. Para a realização dos ensaios serão observados os seguintes pontos:

a) A seleção de nível de comando, para todos os disjuntores, deverá estar na posição “Remoto”, de forma que as manobras em disjuntor sejam feitas sempre pelo sistema SCADA. Além disso, a funcionalidade de alarmes e eventos deverão ter sido

verificadas, para que os registros dos ensaios possam ser coletados, bem como capturas de telas;

b) As SEs 5142 e 5151 deverão estar operando com o disjuntor de interligação (T) aberto;

c) Serão gerados alguns casos de faltas aleatórios nas linhas e seções das barras esquerdas (linhas conectadas ao disjuntor C ou seções de barras localizadas à esquerda do disjuntor de interligação);

d) As características específicas de cada ensaio (o ponto de falta, as fases envolvidas e a eventual falha de atuação de um ou mais disjuntores) serão definidas pelo monitor da disciplina e não serão reveladas aos alunos;

e) Para cada ensaio realizado devem ser verificados e coletados os seguintes itens:

- Verificar e anotar os disjuntores que estavam fechados e abertos antes de cada ensaio (pré-falta). Deve-se assegurar que todas as sinalizações de LEDs nas IHMs estejam resetadas, e que todos os bloqueios dos disjuntores estão liberados;

- Após a execução de cada ensaio, obter e gravar as oscilografias dos IEDs A e C das SEs 5142 e 5151. Cada registro de oscilografia deve conter, ao menos, os três canais analógicos para as correntes Ia, Ib e Ic; canais digitais para os sinais de pick-up dos elementos de proteção IOC2 PKP e IOC1 PKP, o sinal digital de atuação IOC1 OP; sinais dos bloqueios (block P68) recebido e/ou enviado;

- Obter e gravar o registro de eventos de cada um desses IEDs após cada ensaio. Deve-se assegurar que o registro de eventos de cada IED esteja sincronizado com o relógio GPS de cada subestação;

- Obter e gravar a oscilografia gerada pelo RTDS, contendo os sinais analógicos de tensões e correntes, além dos estados digitais observados pelo simulador;

- Obter e gravar a lista de eventos (*Sequence Of Events*) no sistema SCADA;

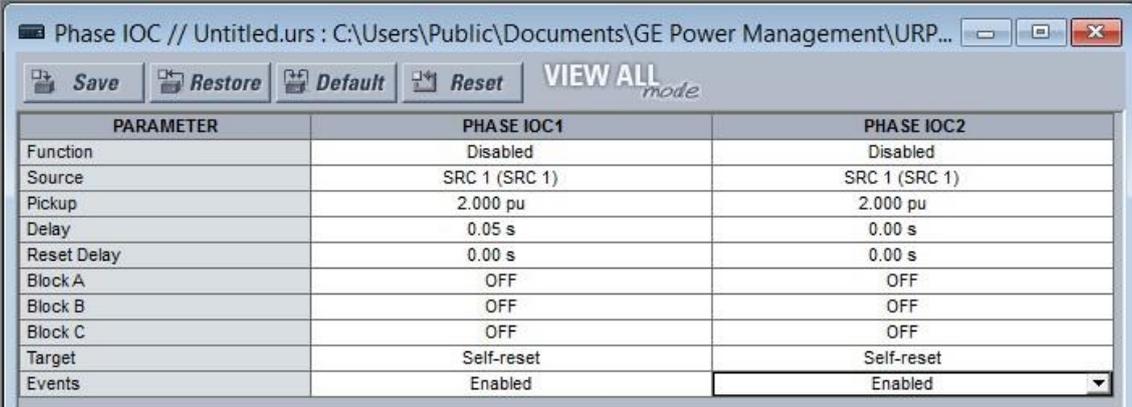
- Verificar e anotar o estado de cada disjuntor e dos LEDs da IHM de cada IED após a execução de cada ensaio.

No relatório final, para cada um dos casos de falta simulados, cada grupo deverá fazer, a partir dos registros de oscilografia e de eventos, uma análise minuciosa e detalhada da ocorrência (trecho onde a falta ocorreu, fases envolvidas, correto funcionamento de todas as

lógicas envolvidas no evento, tempos de atuação dos disjuntores, tempo de transito das mensagens GOOSE (bloqueio 68, 50BF, transfer trip), eventuais falhas de disjuntores, etc)

8.1 Detalhes específicos das implementações das lógicas

- a) Para implementar a função seletividade lógica deve-se habilitar duas funções de sobrecorrente para proteção de faltas entre fases: IOC1 e IOC2. A segunda é utilizada para gerar o sinal de bloqueio para os IEDs localizados a montante (através de P50_2_OP). Já a primeira função é responsável por gerar o sinal de trip para o disjuntor local. A atuação dessa função é bloqueada pelo sinal de bloqueio (VI_BLOCK_P50) gerado a partir das mensagens GOOSE de bloqueio enviado pelos IEDs que se encontram a jusante. Para esperar a chegada desses bloqueios, essa função recebe um delay de 60 ms.

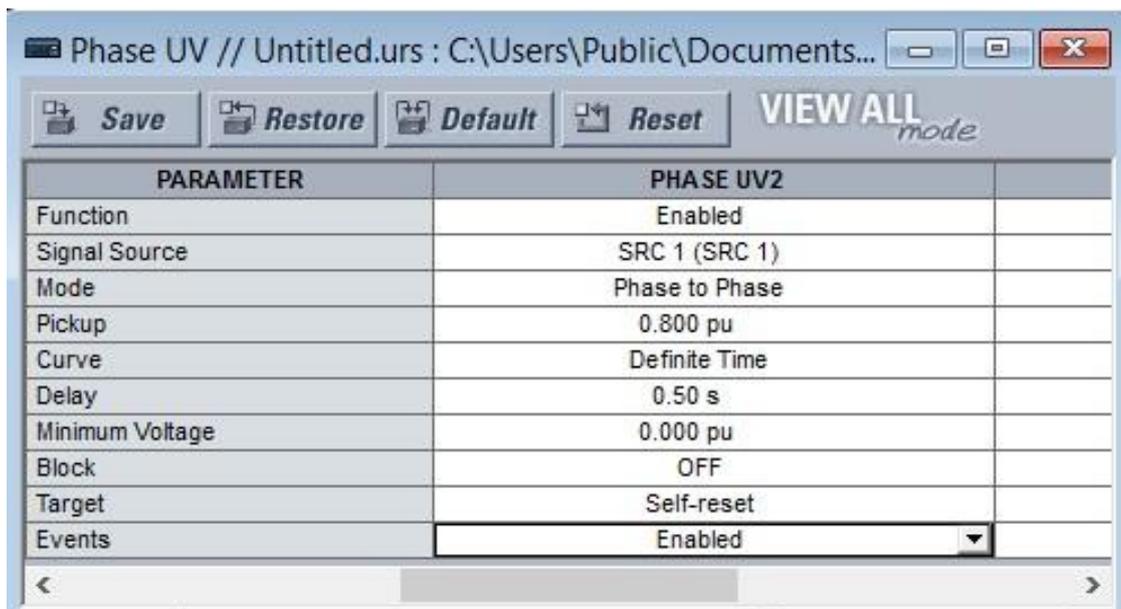


The screenshot shows a software window titled "Phase IOC // Untitled.urs : C:\Users\Public\Documents\GE Power Management\URP...". The window contains a table with the following data:

PARAMETER	PHASE IOC1	PHASE IOC2
Function	Disabled	Disabled
Source	SRC 1 (SRC 1)	SRC 1 (SRC 1)
Pickup	2.000 pu	2.000 pu
Delay	0.05 s	0.00 s
Reset Delay	0.00 s	0.00 s
Block A	OFF	OFF
Block B	OFF	OFF
Block C	OFF	OFF
Target	Self-reset	Self-reset
Events	Enabled	Enabled

De forma análoga ao realizado com as funções 50P (IOC1 e IOC2 acima), para a proteção de faltas envolvendo a terra, deve-se habilitar e configurar duas funções 50N.

- b) A variável P27_OP é gerada pela função de subtensão (27) ajustada como indicado abaixo. Observe que essa função é bloqueada pela variável VI_P86, isto é, o esquema de transferência automática por subtensão não irá operar caso o relé tenha operado devido à ocorrência de uma falta em sua zona de proteção e está bloqueado (função 86 atuada).



9. Variáveis de mensagens GOOSE

É importante relacionar todas as mensagens GOOSE consumidas (recebidas por um IED), identificando o IED fonte da informação, o dataitem da mensagem enviada por esse IED e a variável interna (remota) que será batizada internamente para uso na lógica de um determinado IED.

Da mesma forma, é importante relacionar todas as informações que um determinado IED está produzindo, anotando o nome de sua variável interna e o número do dataitem em uma determinada mensagem GOOSE.

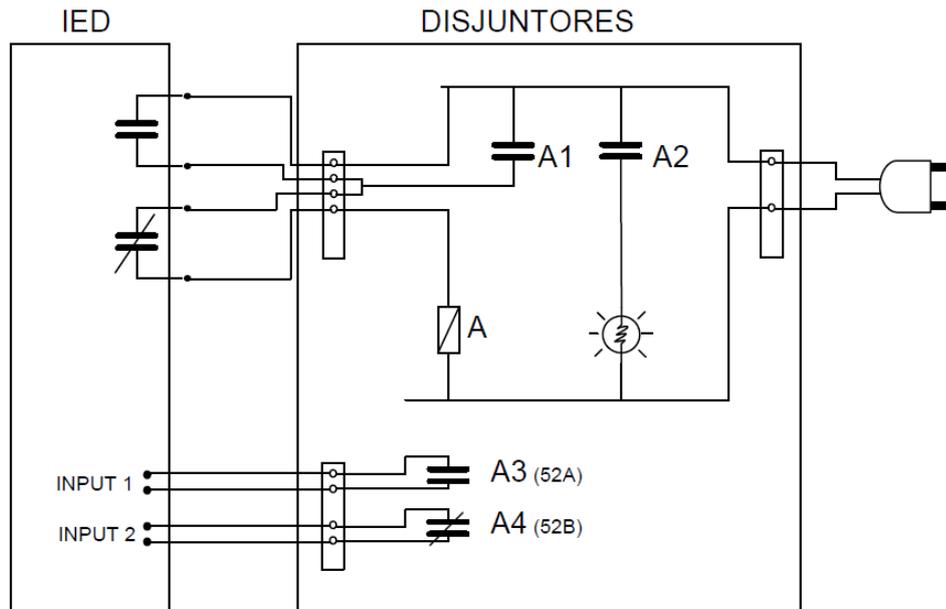
Isso pode constituir uma tabela como a mostrada a seguir.

Recebidas			Transmitidas		
Variável	IED	Data Item	Variável	IED	Data Item
VE_G_5151T_LR	5151T	1	VS_G_5151A_P68	5151A	...
VE_G_5142C_TRTRIP	5142C	1	VS_G_5151A_52A	5151A	...
VE_G_5151C_P68	5151C	3			
VE_G_5151C_TRTRIP	5151C	2			
...		

10. Placa para Simulação dos Disjuntores da Subestação

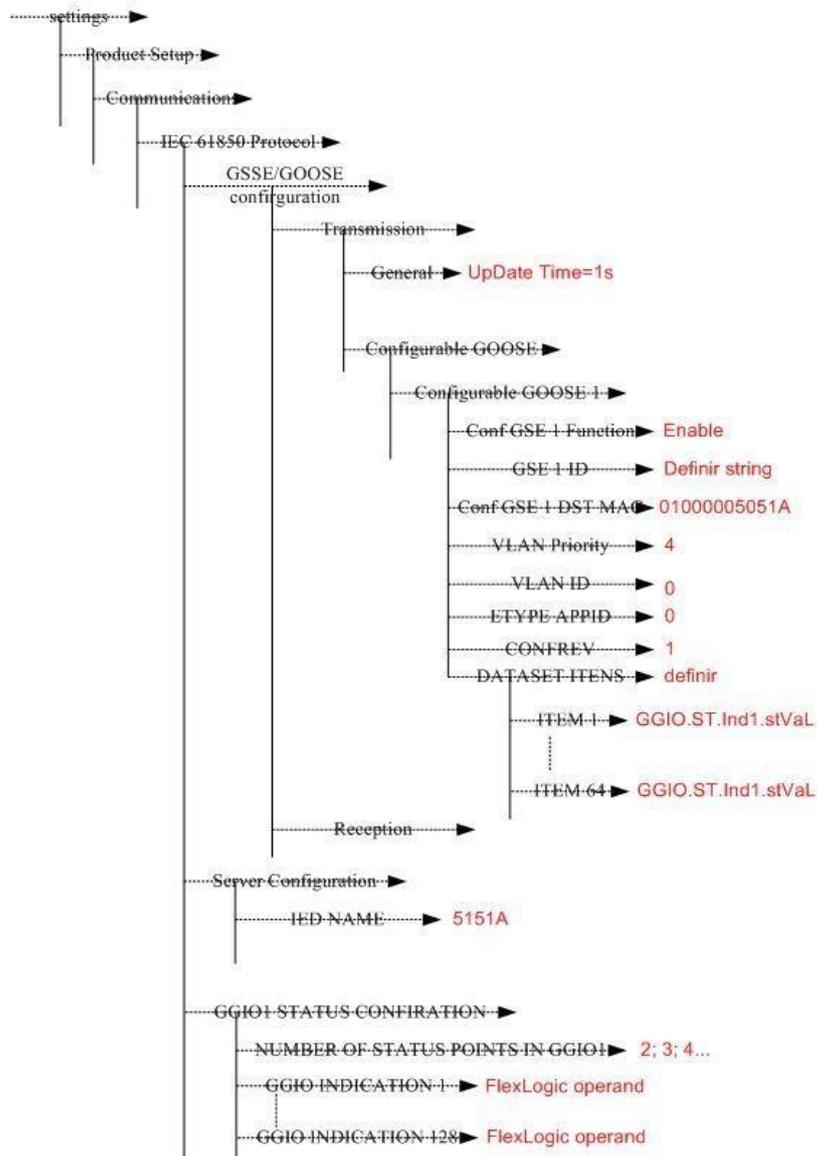
O disjuntor de cada subestação será simulado internamente no RTDS. Entretanto, para conveniência durante os testes e configurações, os disjuntores podem ser emulados pelo uso de um contator e seus contatos auxiliares, presentes em uma placa fixada no rack de IEDs de cada subestação.

Seu funcionamento básico é mostrado na Fig. a seguir.

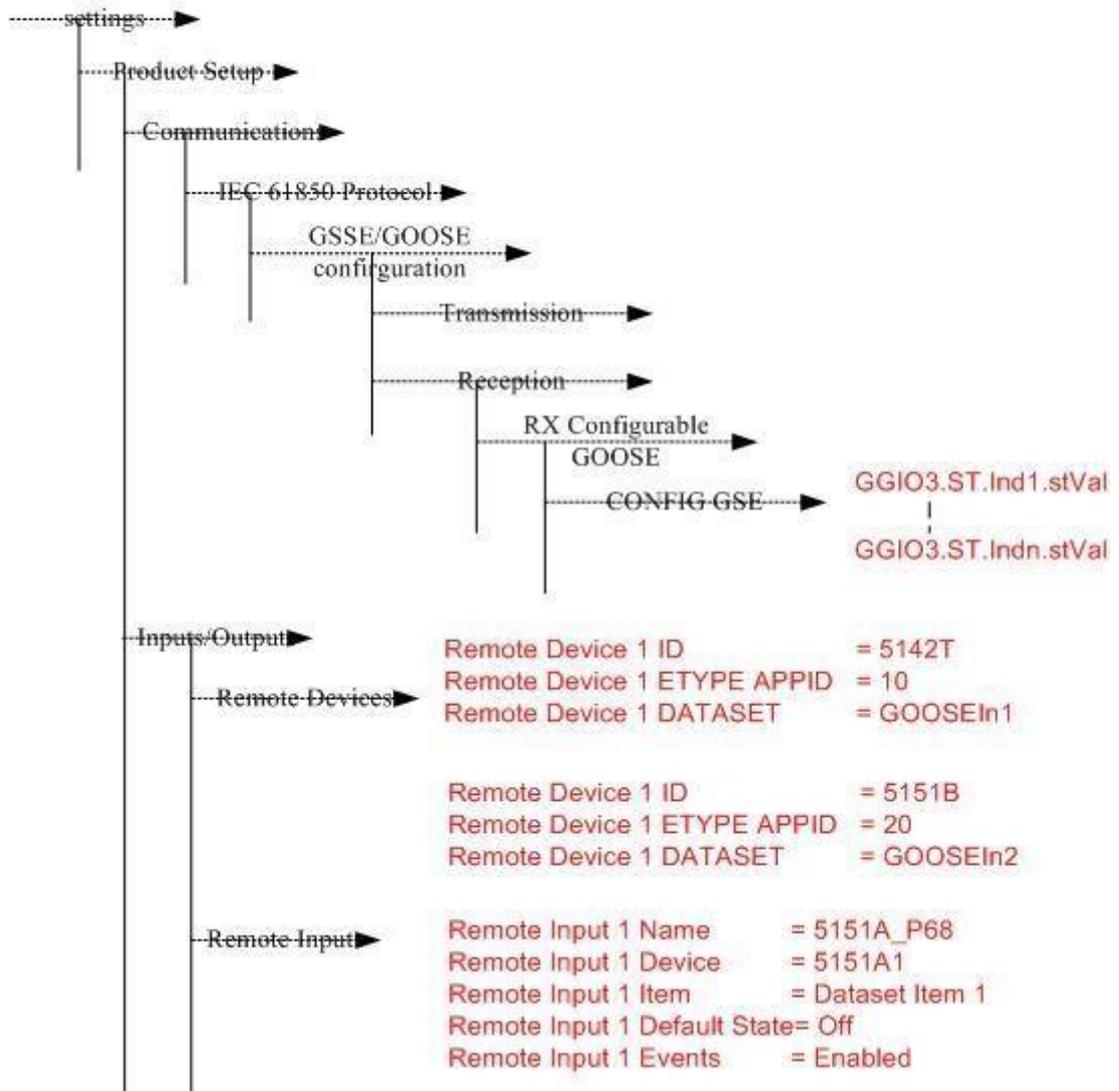


ANEXO C: Roteiro para configuração das mensagens GOOSE

Configuração da GOOSE a ser Transmitida



Parametrização das Mensagens GOOSE Recebidas



ANEXO E: Roteiro para unificação da configuração do sistema supervisorio

Após a finalização dos supervisórios referentes a todos os IEDs, é preciso reunir as configurações de objetos e tags em um único sistema, que irá monitorar e comandar as duas subestações durante os ensaios finais.

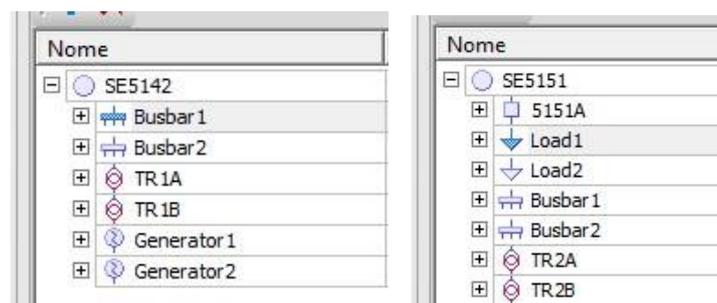
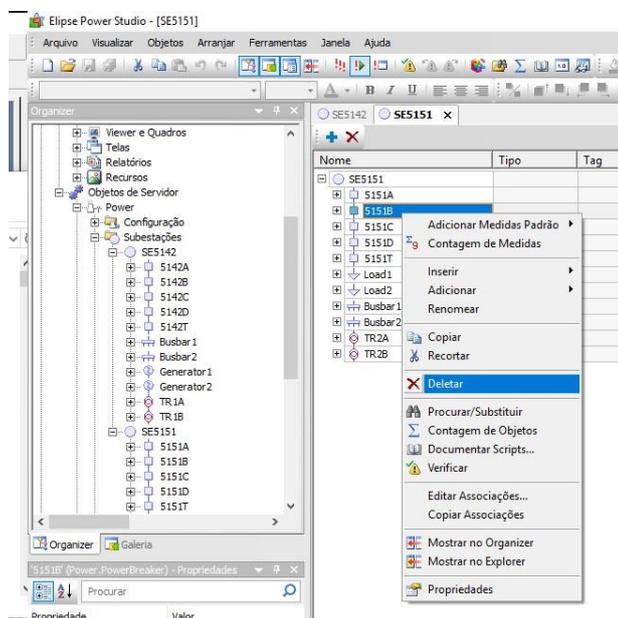
Antes de iniciar o processo, recomenda-se fazer cópias de segurança de todos os supervisórios configurados, salvando a pasta da aplicação. Depois, devem-se reunir todas as pastas de aplicação dos nove IEDs,

Para realizar a unificação, tomando como base qualquer um dos supervisórios, deve-se seguir os seguintes passos:

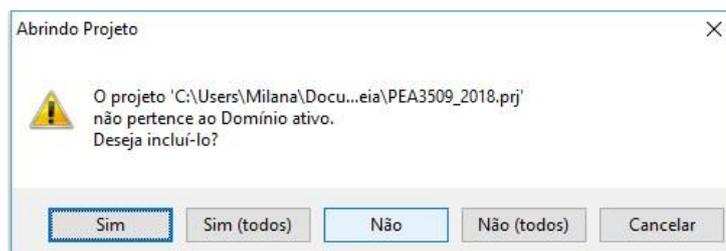
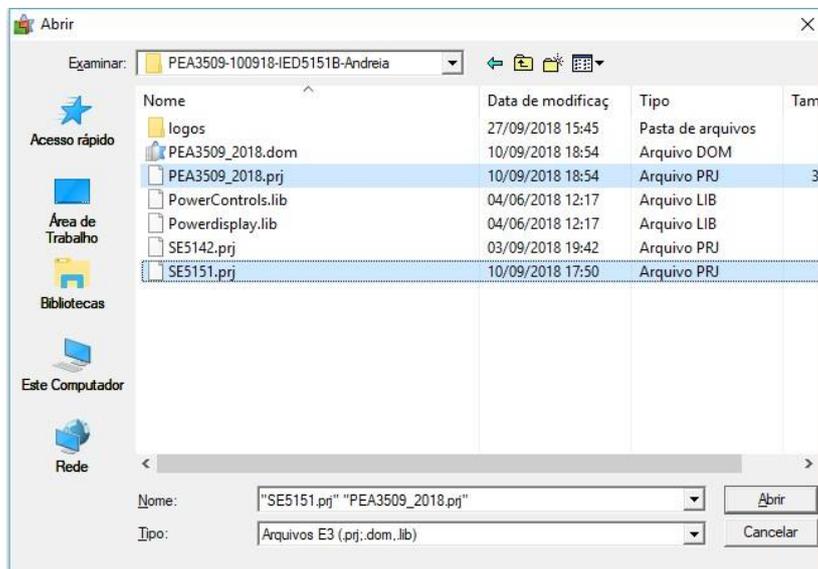
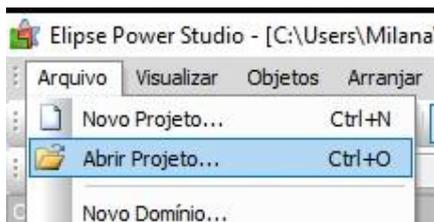
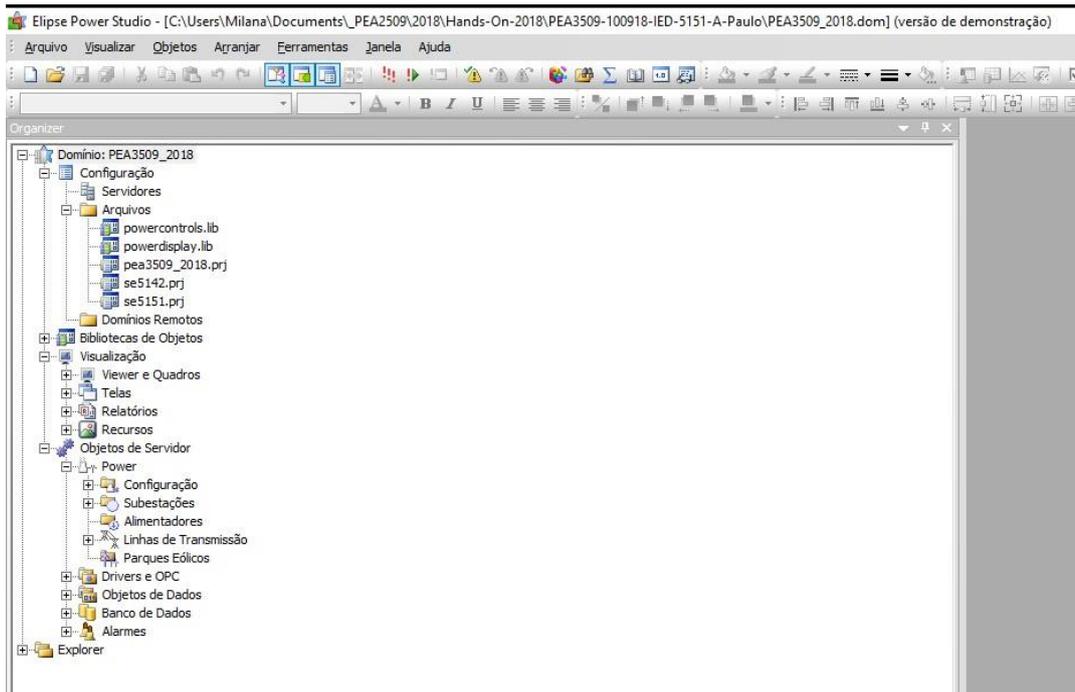
1. Vamos considerar, como exemplo, que se tomou como base o supervisor feito para o IED 5151A, devendo-se acrescentar a ele as configurações do 5151B, C, D, T, 5142A, B, C, T. O aluno fictício Paulo fez a configuração do 5151A, e a aluna fictícia Andréia fez a configuração do 5151B.

2. A aplicação base, do qual todos os alunos partiram, já tinha, configurados, todos os servidores MMS, que são os IEDs. Dessa forma, não será preciso acrescentá-los ao driver.

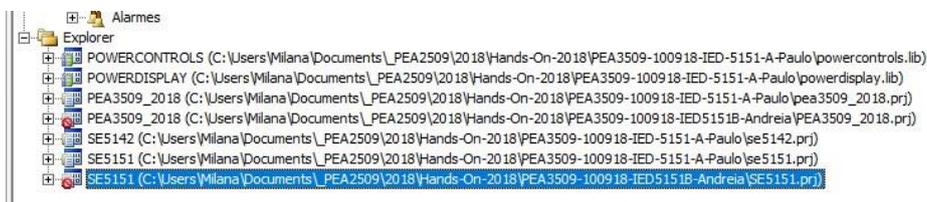
3. Para simplificar o procedimento, vamos remover, da aplicação do Paulo, todos os disjuntores que ele não configurou: 5151B até 5151T, na SE 5151; e 5142A até 5142T, na SE 5142.



4. A partir do domínio aberto (arquivo .dom) do Paulo, deve-se abrir os arquivos de **projeto** (.prj) relativo à aplicação da Andréia. Os arquivos de interesse são PEA3509_2018.prj e 5151.prj. Será perguntado se se deseja incluir esse arquivo no domínio ativo. Deve-se responder “não”.



5. Os arquivos de projeto ficarão listados na pasta “Explorer”, que mostra os arquivos de configuração acessíveis em tempo de edição. Esses arquivos que você acabou de buscar terão uma marcação diferenciada, que indica que eles não estão acessíveis em tempo de execução.



6. A partir do Explorer, pode-se acessar, de forma offline, as telas, objetos, tags e outras configurações das aplicações. Dessa forma, deve-se copiar as configurações dos demais IEDs para o supervisor base. Realizando-se essa operação para todos os demais oito IEDs, o supervisor fica completo.