




Subestação digital – Lições aprendidas

Pedro Syrio – Desenvolvimento de proteção e controle

Agenda

- 
1. Arquitetura SE Jaguariúna
 2. Testes e resultados SE Jaguariúna
 3. Arquitetura LT 345 kV MFO-ANH
 4. Testes LT 345 kV MFO-ANH
 5. Considerações finais

SUBESTAÇÃO 4.0

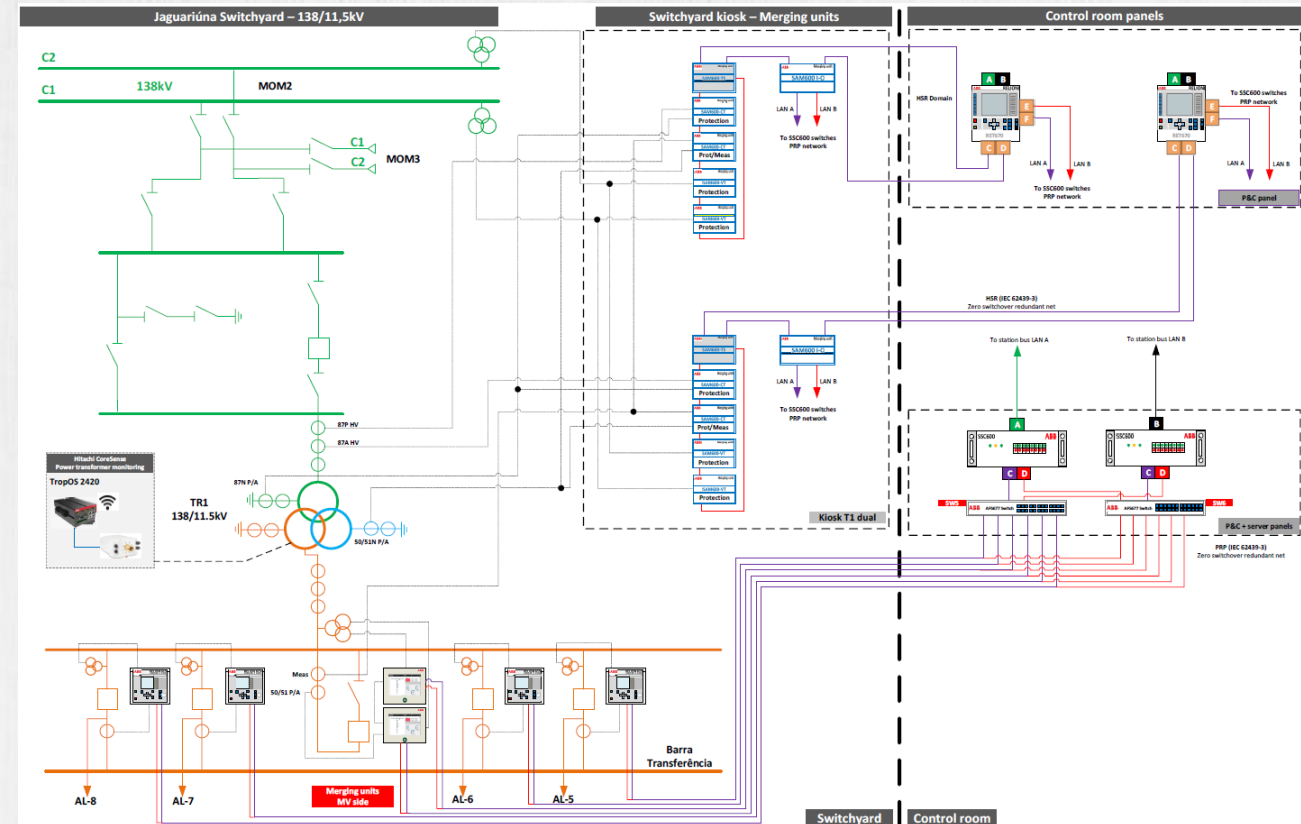
Estudo de Requisitos de Desempenho de um Sistema de Proteção, Controle, Automação e Monitoramento



Arquitetura SE Jaguariúna

SE JAN 138 kV

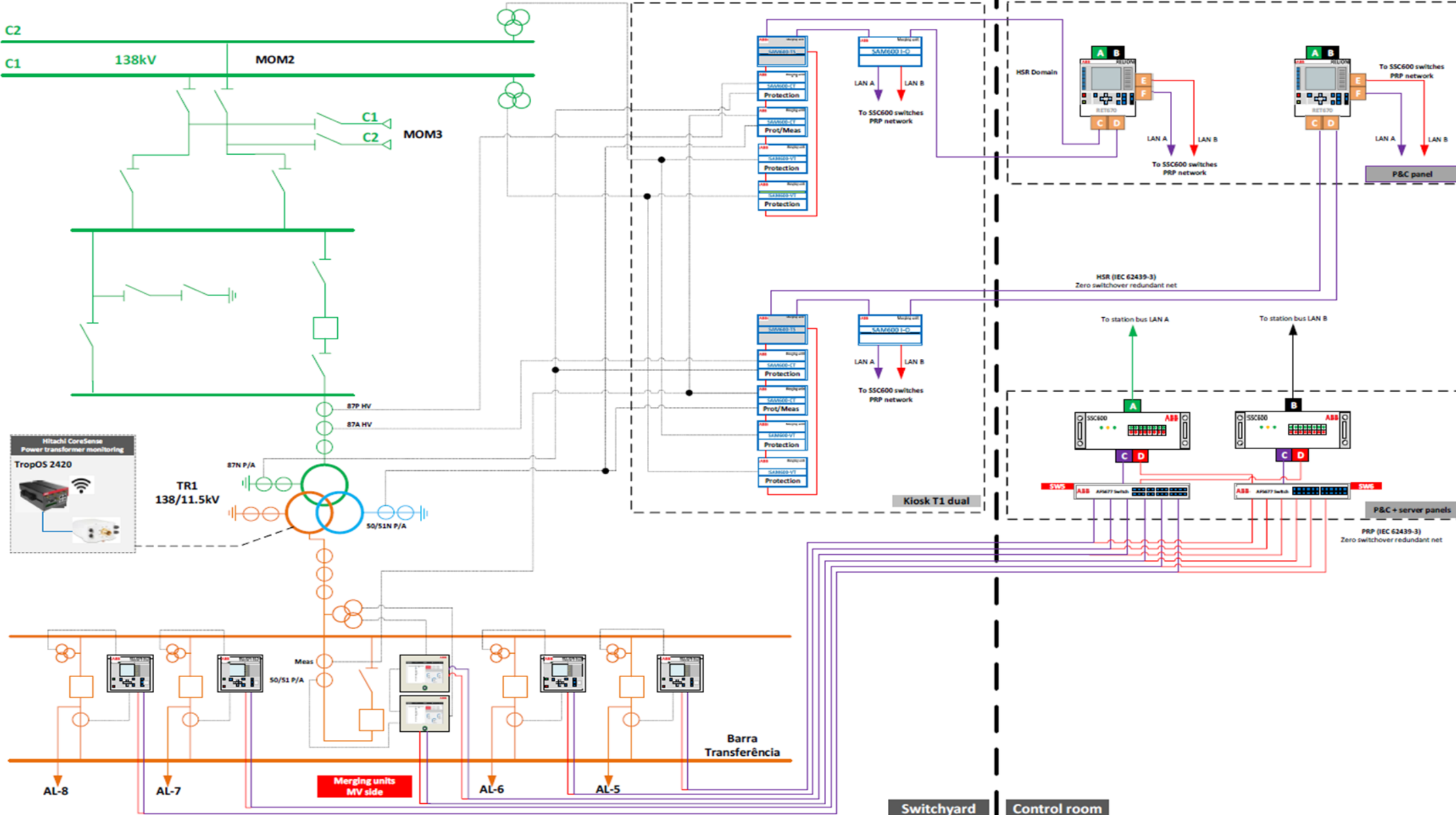
- Duas entradas de linha 138 kV
- Transformador 138/11,5 kV
- 4 alimentadores



Jaguariúna Switchyard – 138/11,5kV

Switchyard kiosk – Merging units

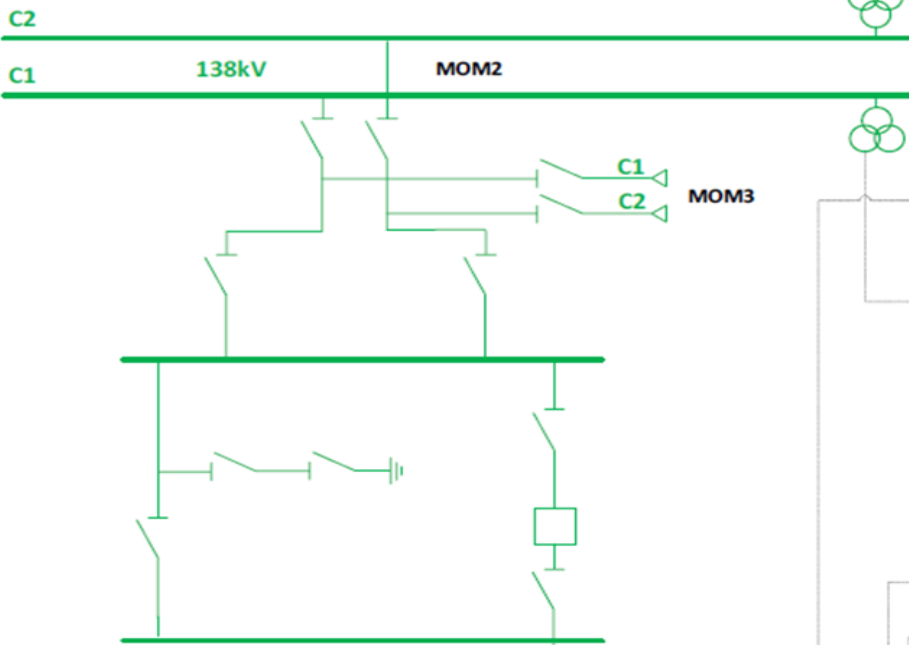
Control room panels



Jaguariúna Switchyard – 138/11,5kV

Switchyard kiosk – Merging units

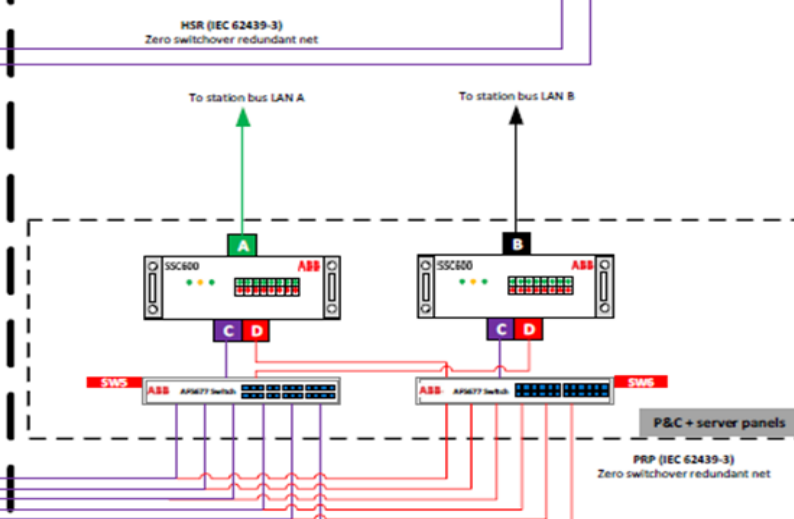
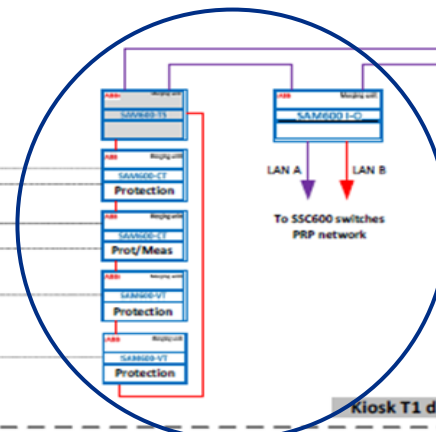
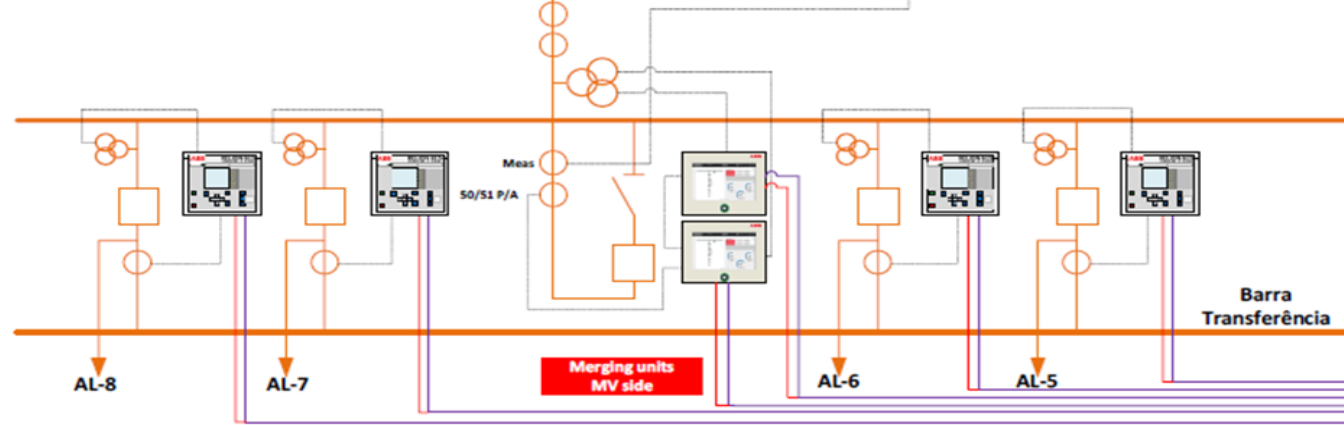
Control room panels



TR1
138/11.5kV

87N P/A

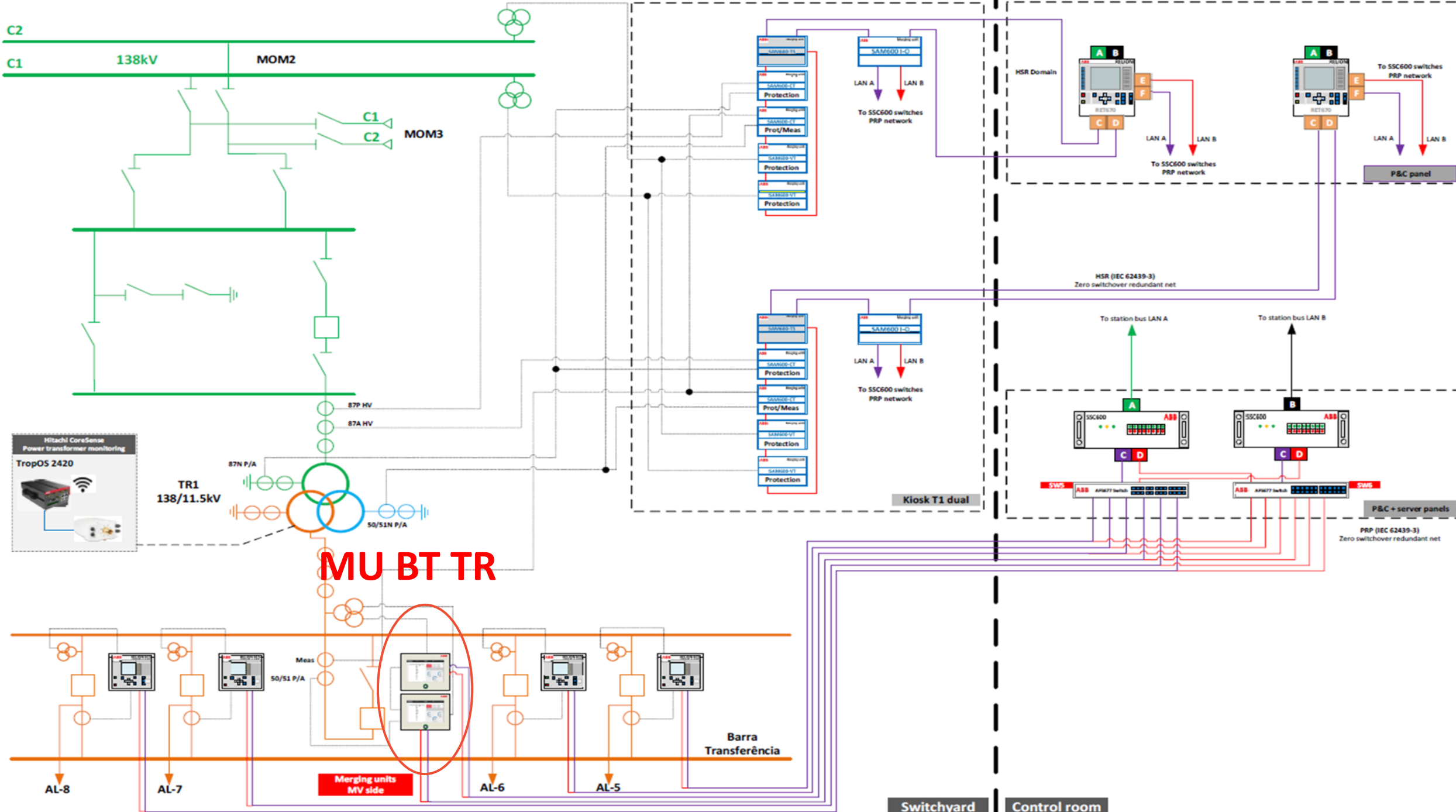
50/51N P/A



Jaguariúna Switchyard – 138/11,5kV

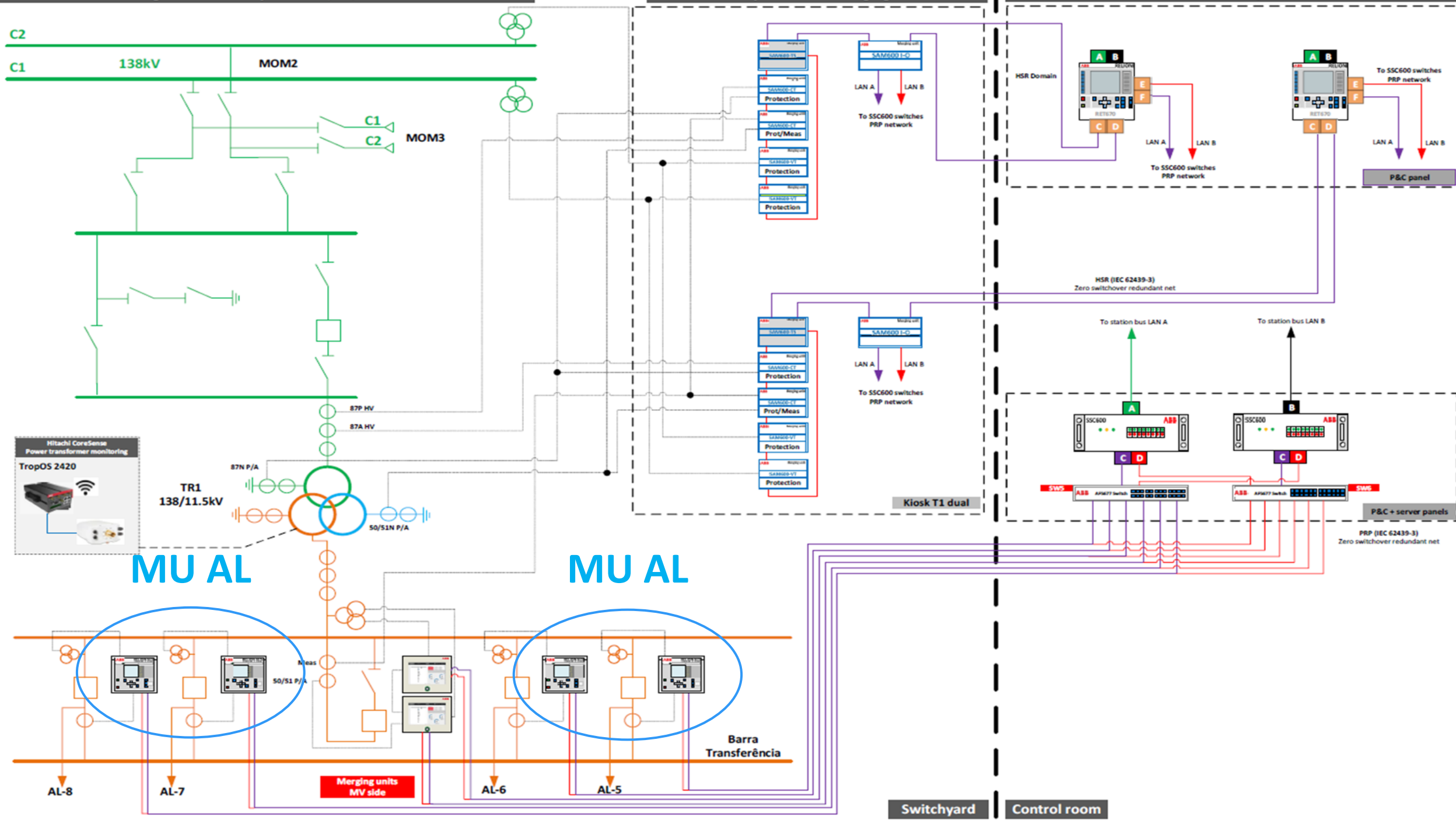
Switchyard kiosk – Merging units

Control room panels



MU BT TR

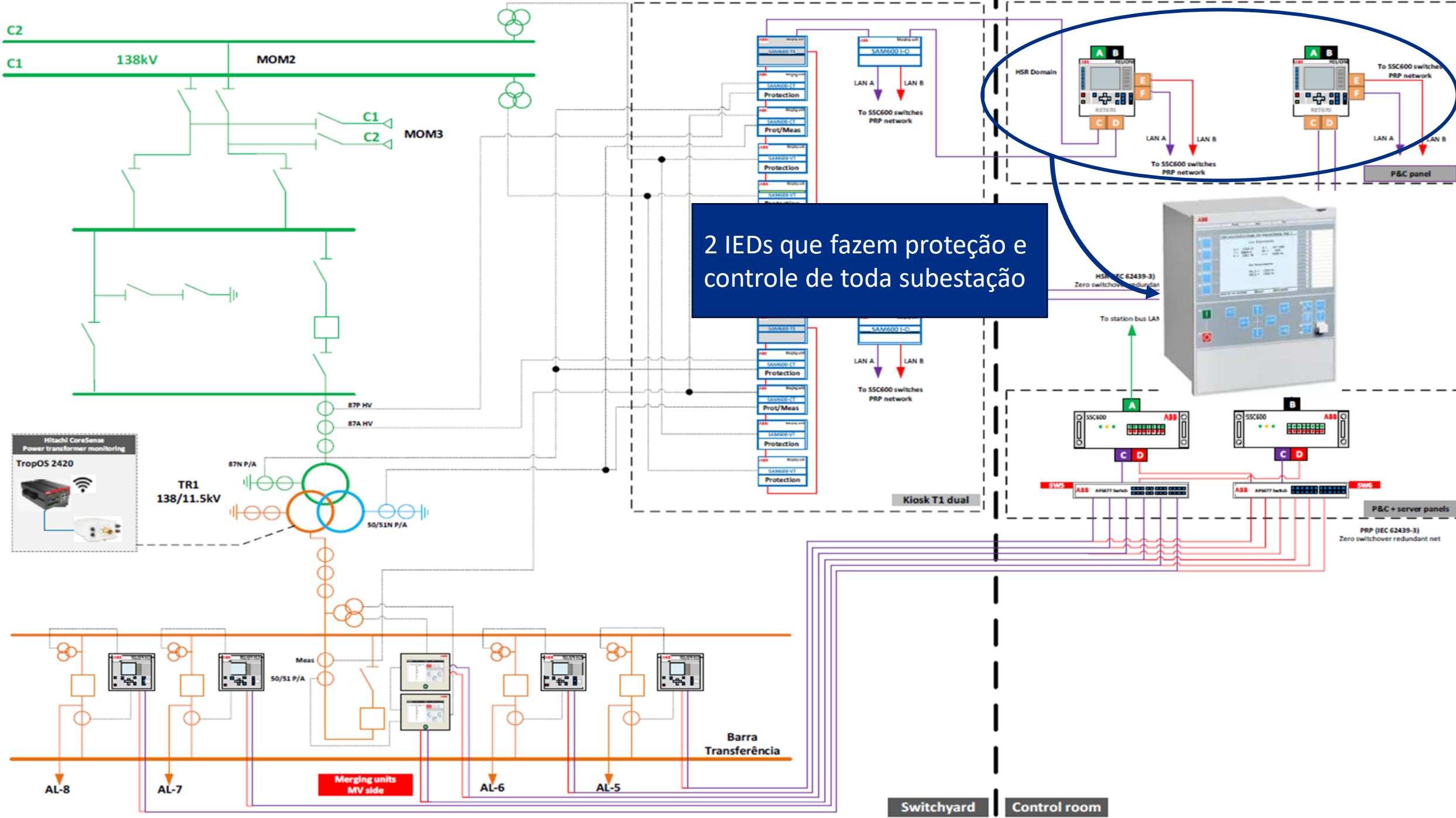
Control room panels



Jaguariúna Switchyard – 138/11,5kV

Switchyard kiosk – Merging units

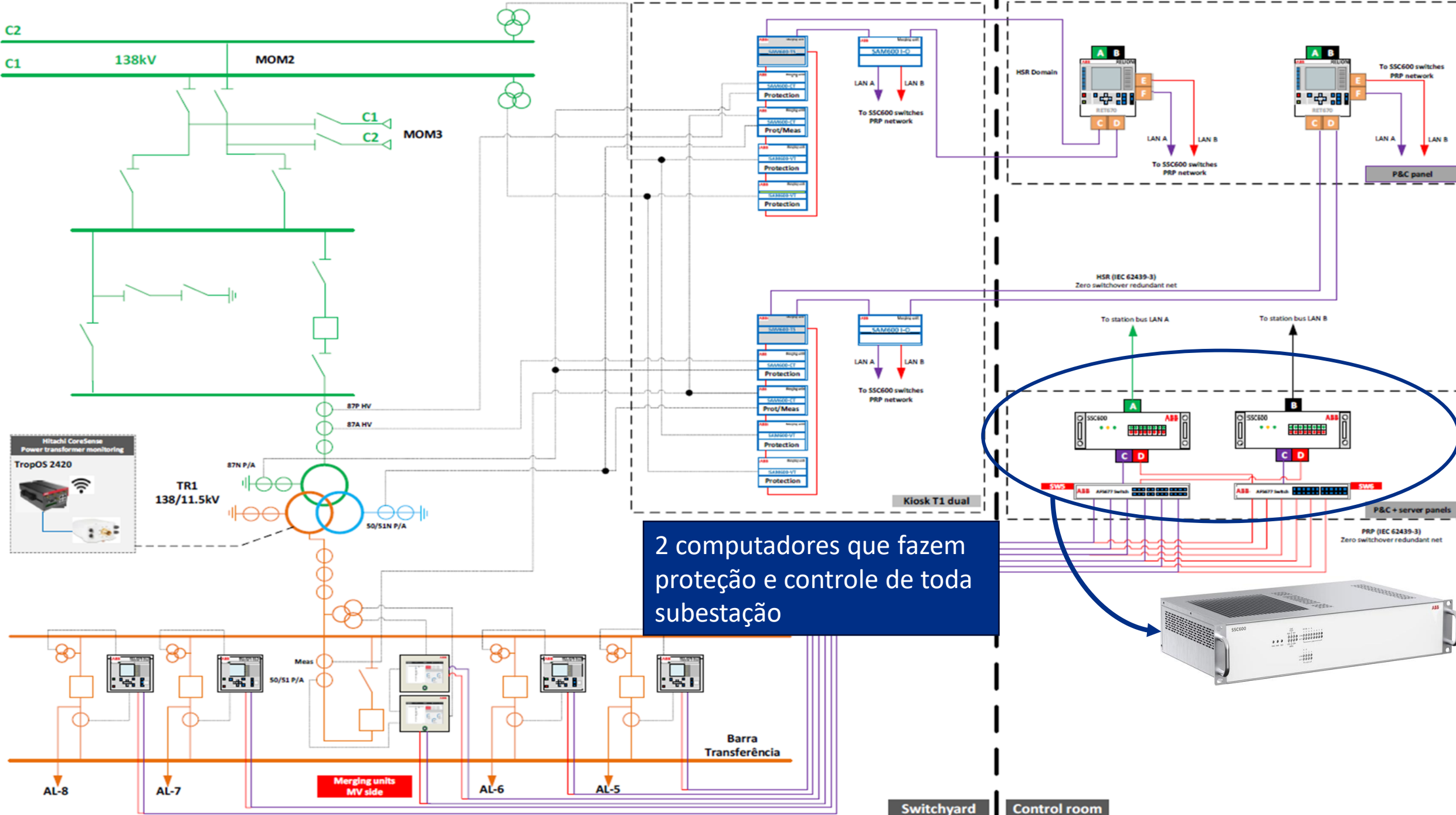
Control room panels



Jaguariúna Switchyard – 138/11,5kV

Switchyard kiosk – Merging units

Control room panels



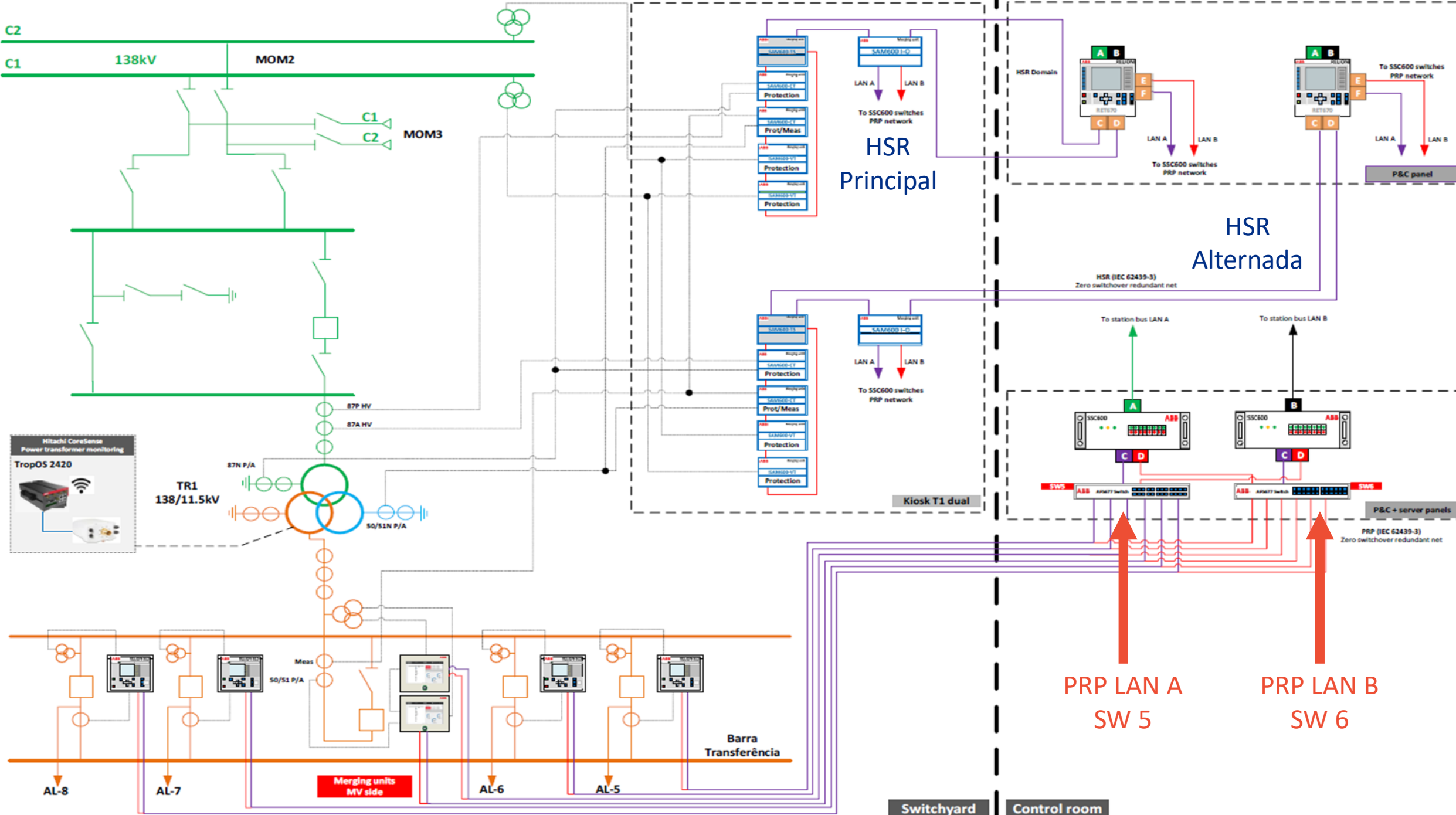
2 computadores que fazem proteção e controle de toda subestação



Jaguariúna Switchyard – 138/11,5kV

Switchyard kiosk – Merging units

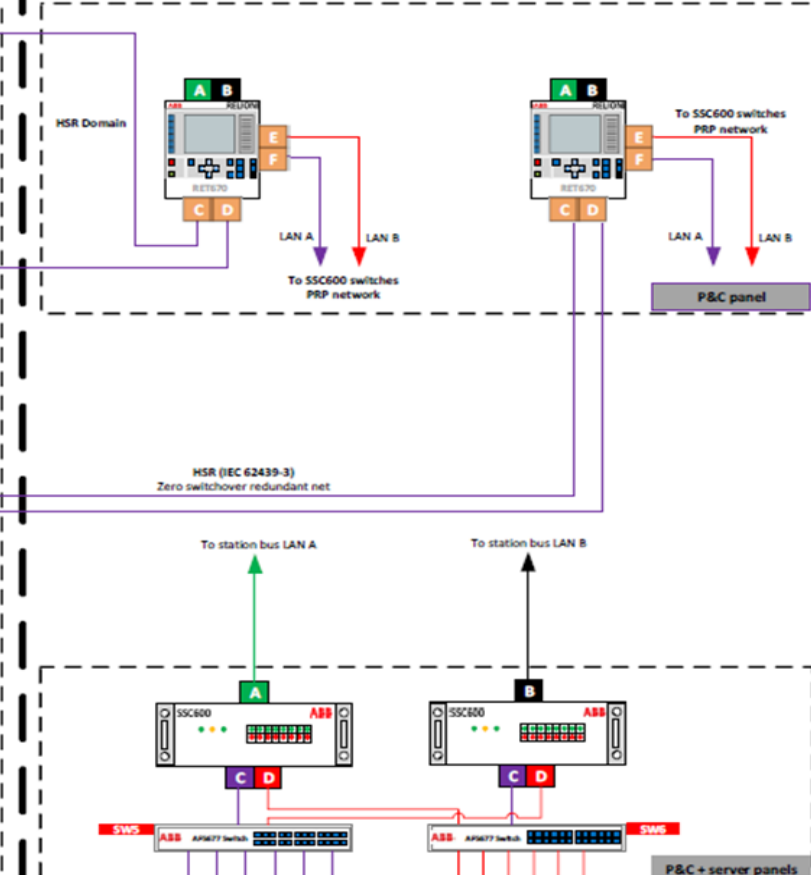
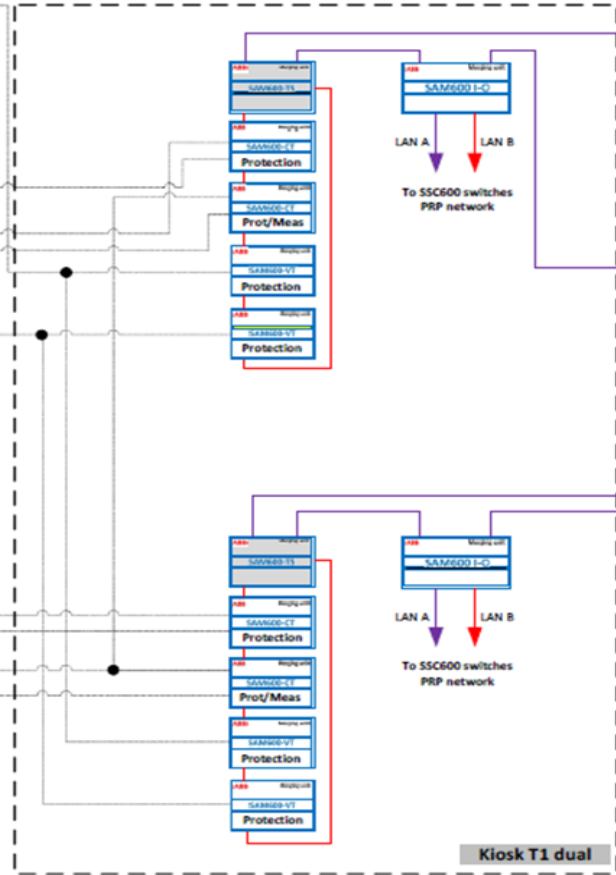
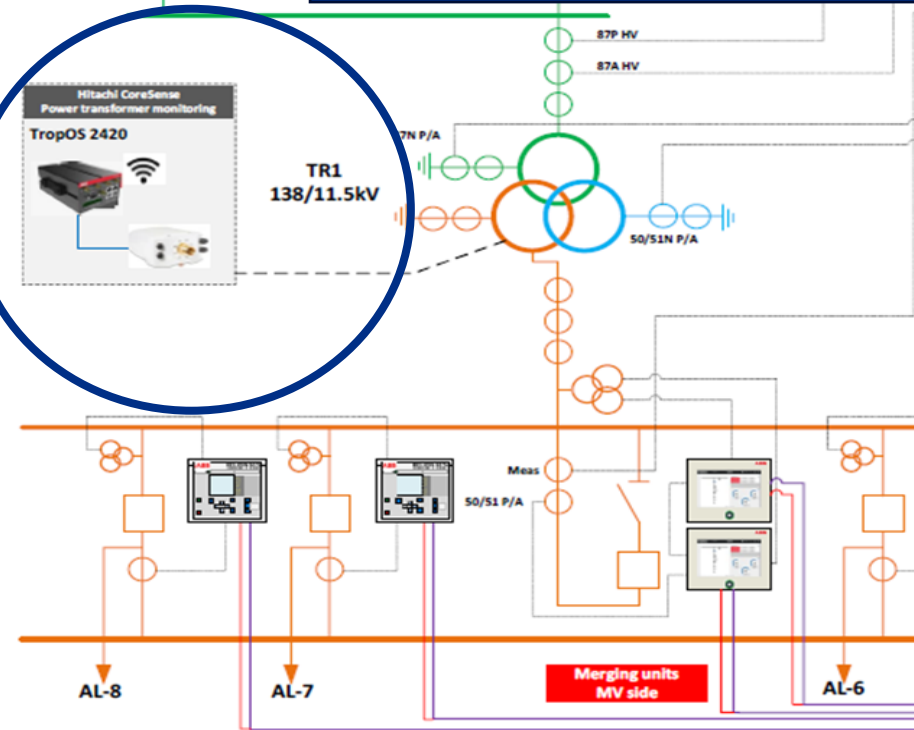
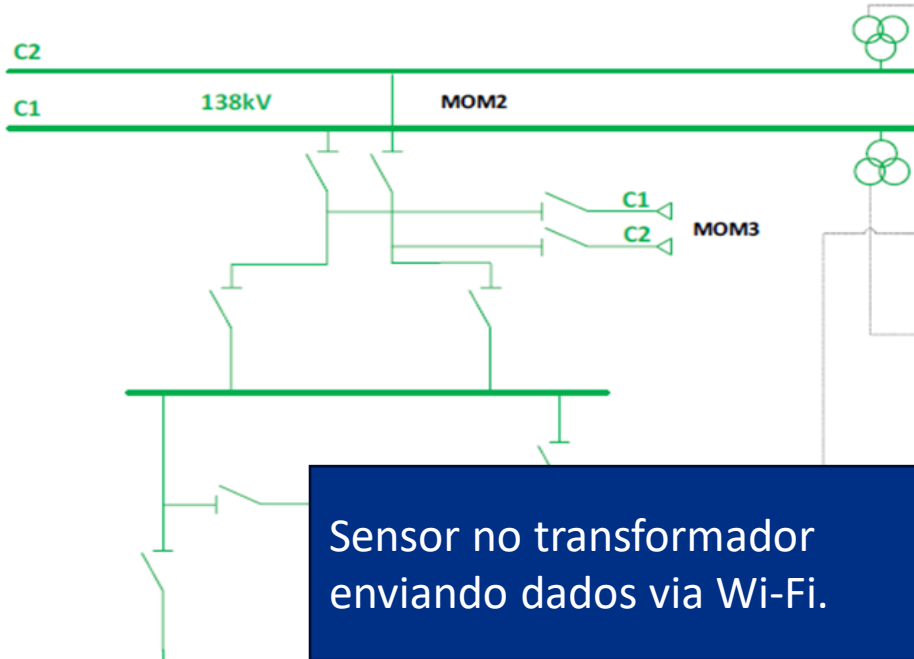
Control room panels



Jaguariúna Switchyard – 138/11,5kV

Switchyard kiosk – Merging units

Control room panels

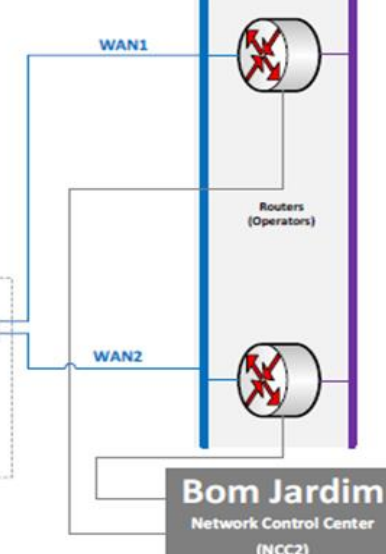
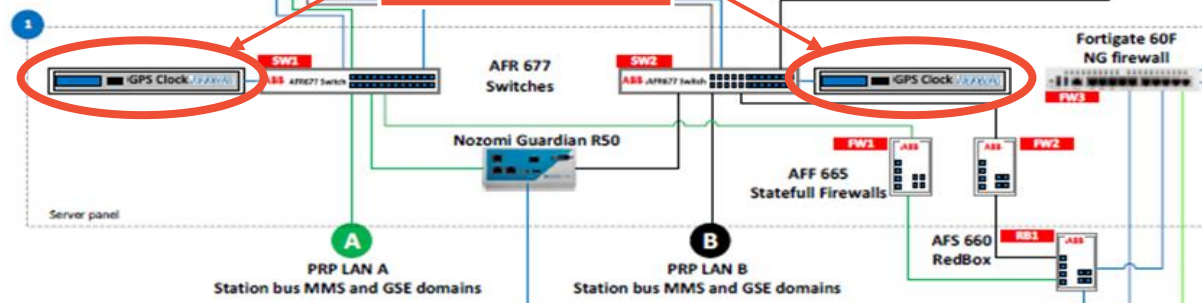


Level 2 – control room

Server layout - Main



Relógios GPS

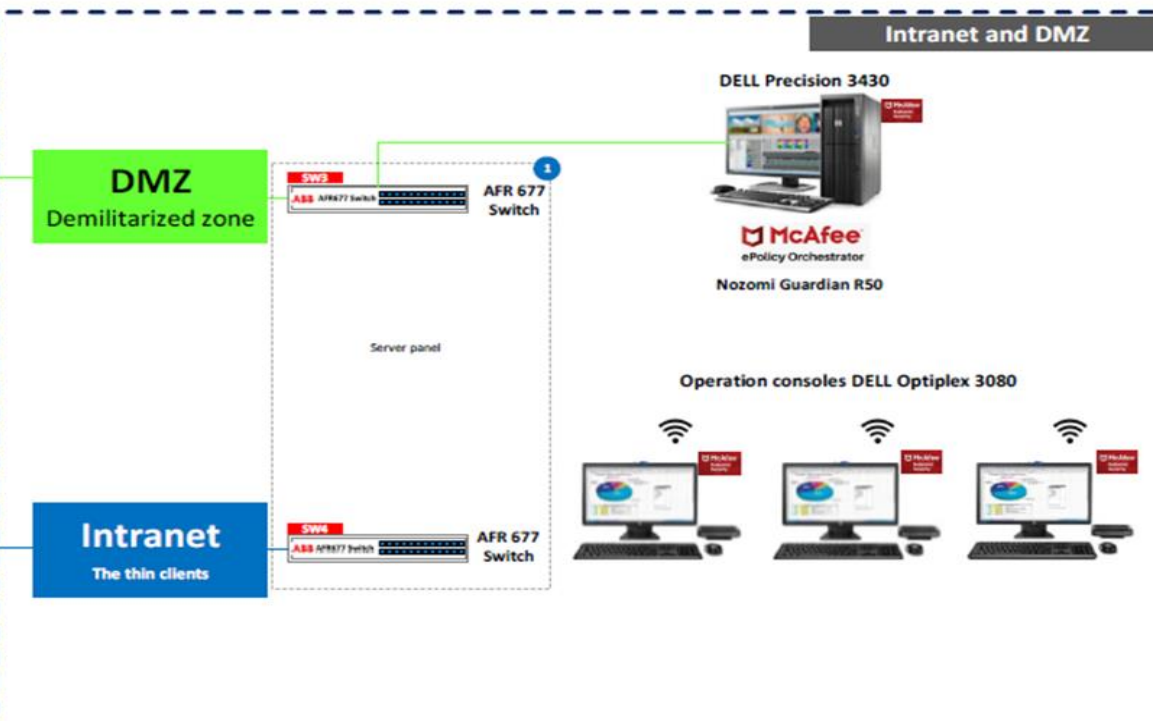
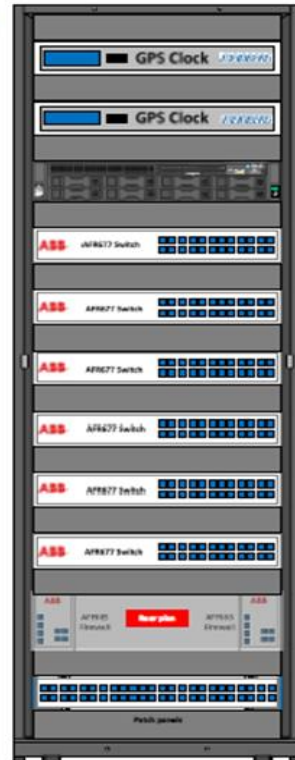
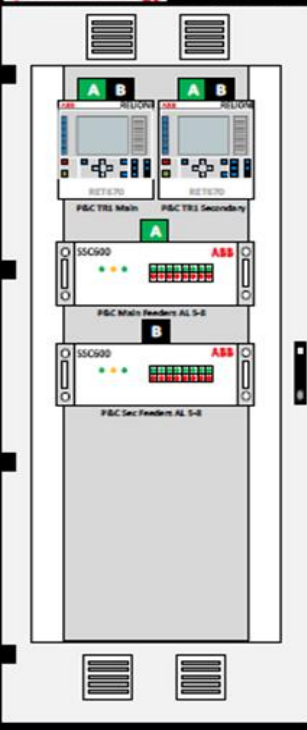


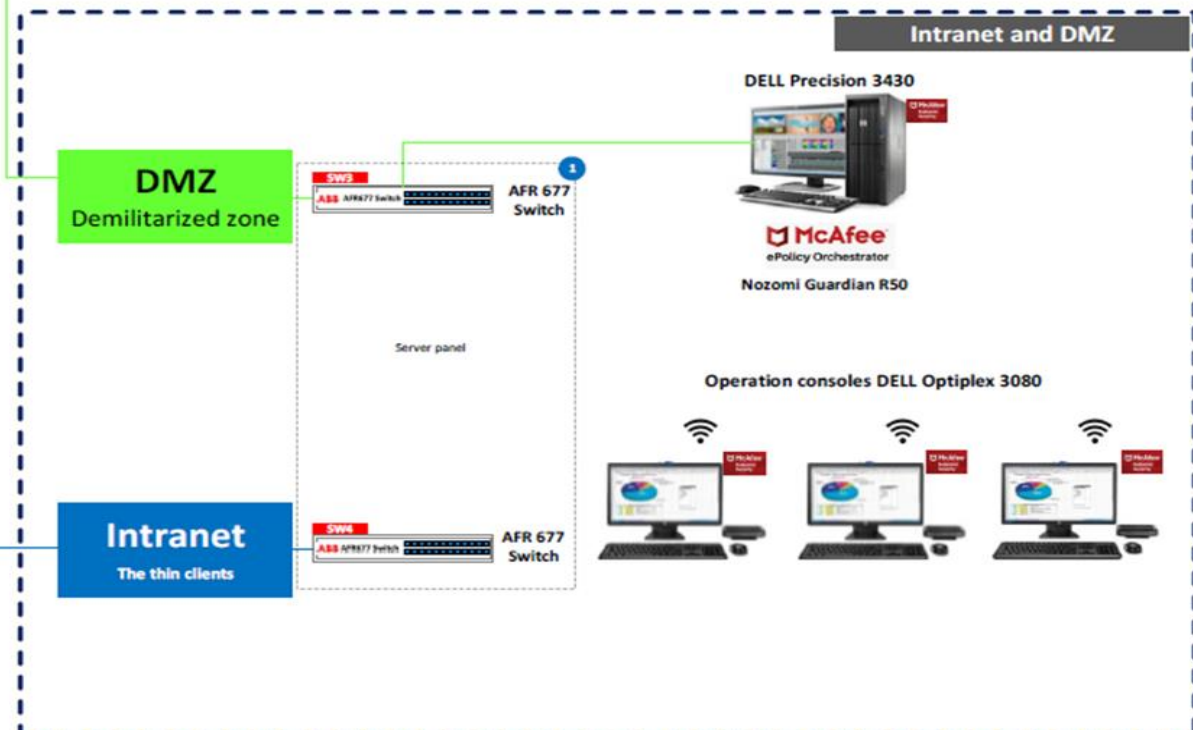
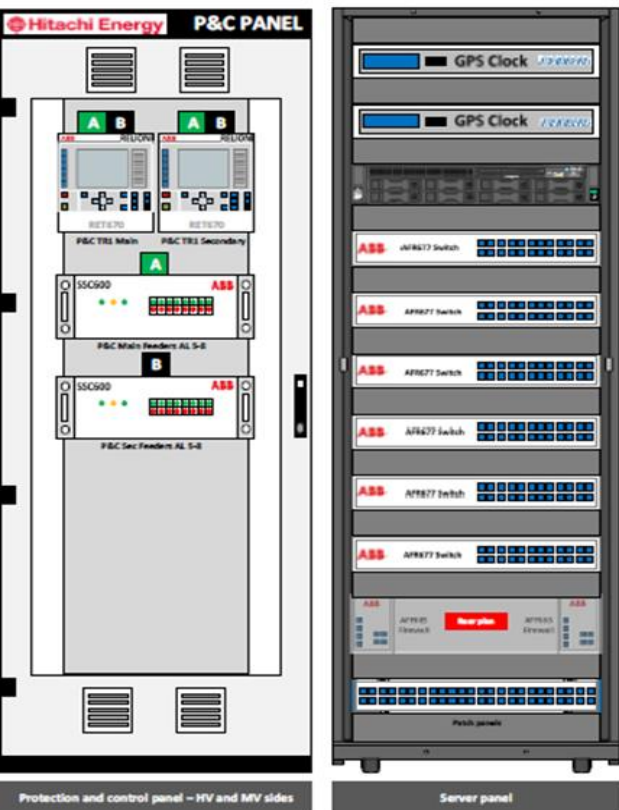
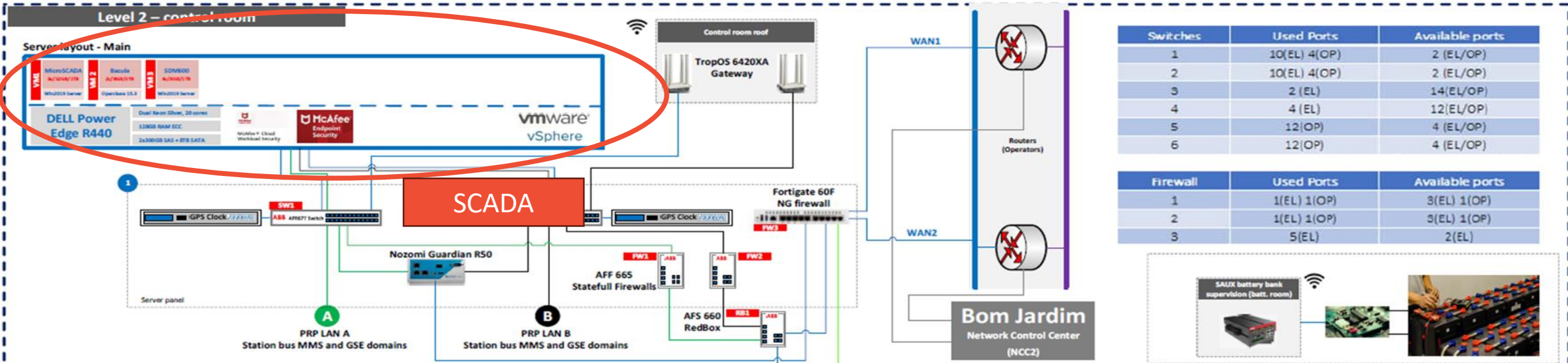
Switches	Used Ports	Available ports
1	10(EL) 4(OP)	2 (EL/OP)
2	10(EL) 4(OP)	2 (EL/OP)
3	2 (EL)	14(EL/OP)
4	4 (EL)	12(EL/OP)
5	12(OP)	4 (EL/OP)
6	12(OP)	4 (EL/OP)

Firewall	Used Ports	Available ports
1	1(EL) 1(OP)	3(EL) 1(OP)
2	1(EL) 1(OP)	3(EL) 1(OP)
3	5(EL)	2(EL)



Hitachi Energy P&C PANEL

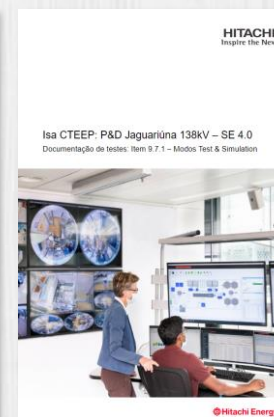
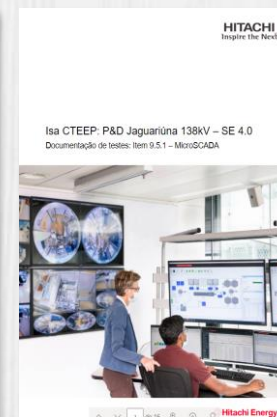
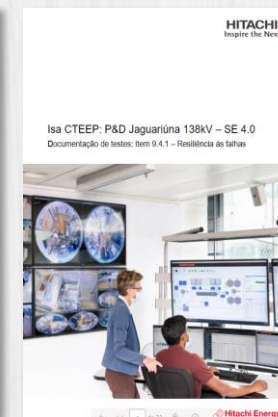




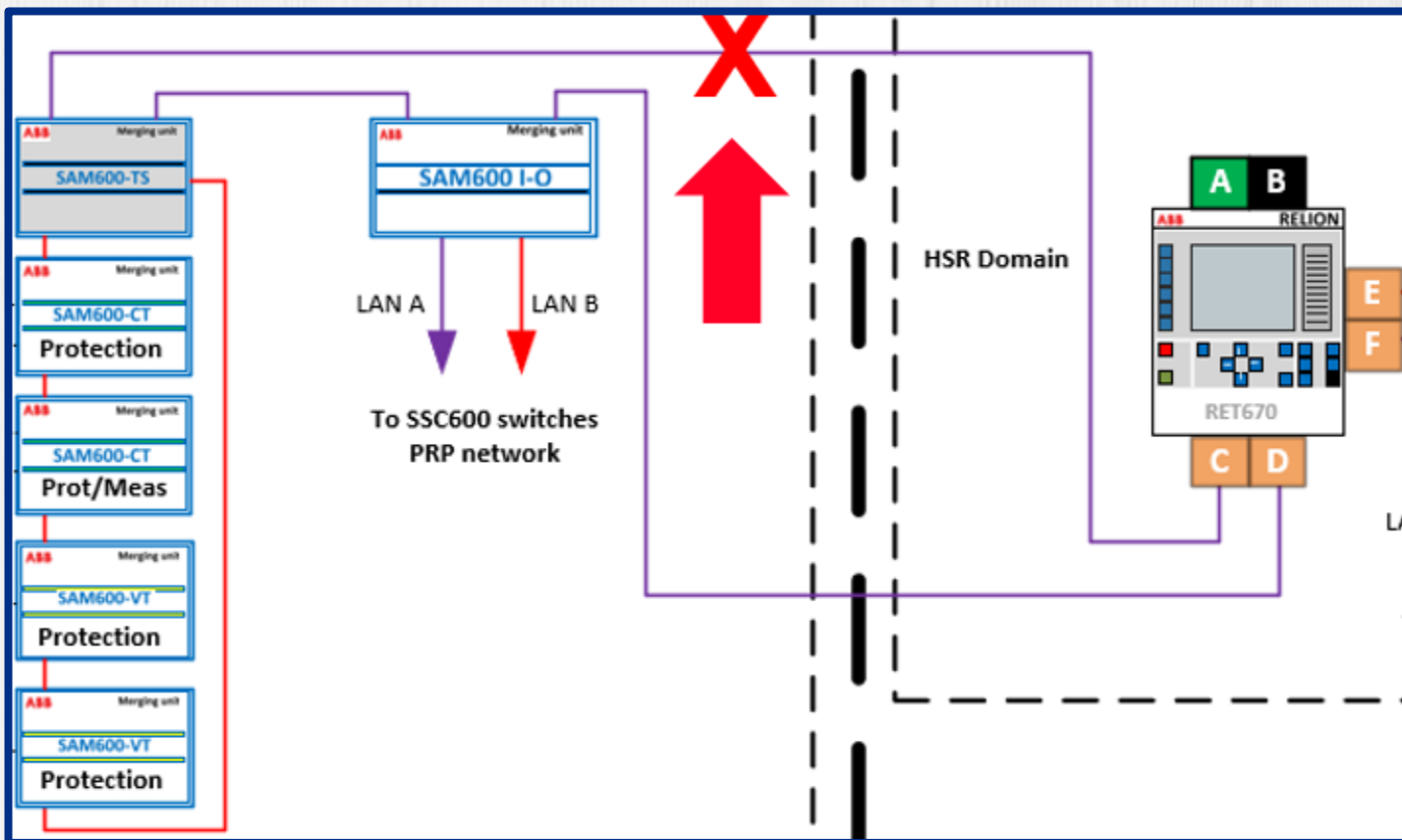
Testes realizados

Foram construídos cadernos de testes, cada um destinado a um dos temas de pesquisa do projeto

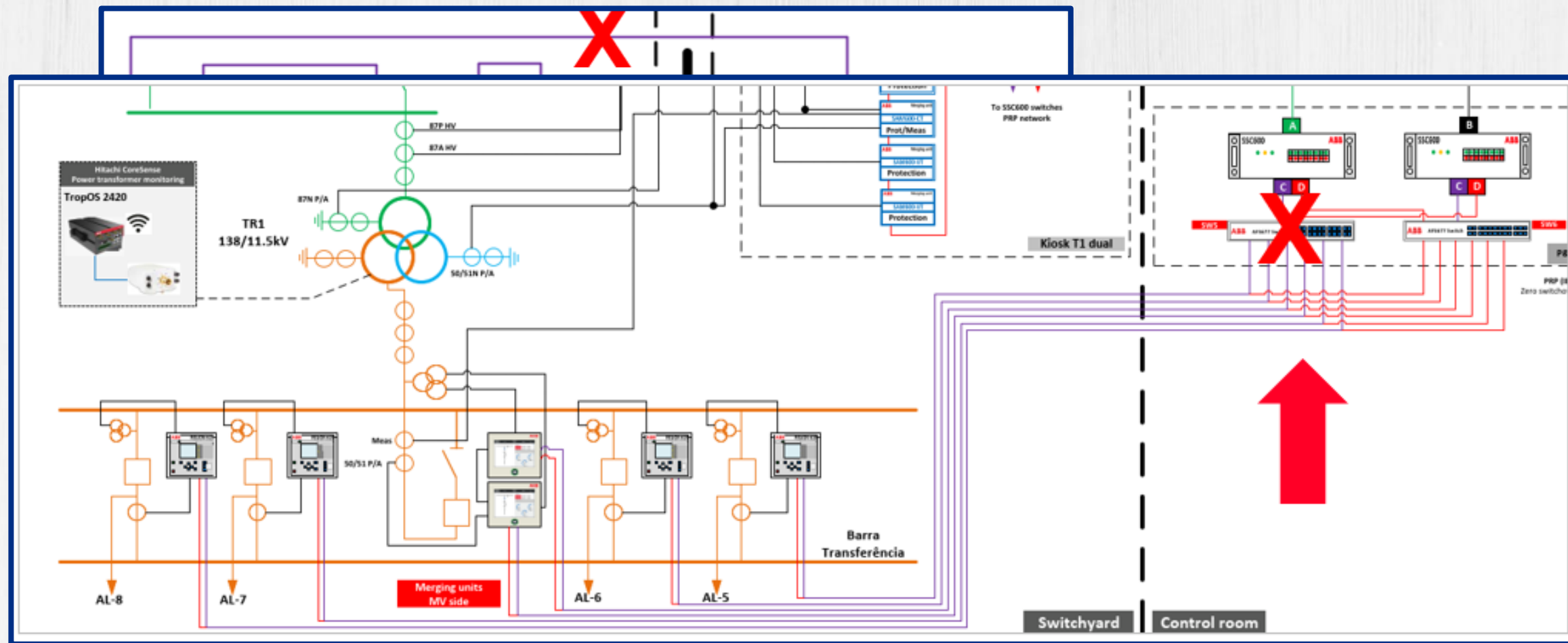
1. Proteção e controle
2. Rede e redundância
3. Performance da rede
4. Resiliência a falhas
5. Sistema SCADA
6. Sincronismo
7. Modo Teste e Simulação
8. Segurança Cibernética
9. Aplicação da norma IEC 61850-90-1
10. Testes em comissionamento



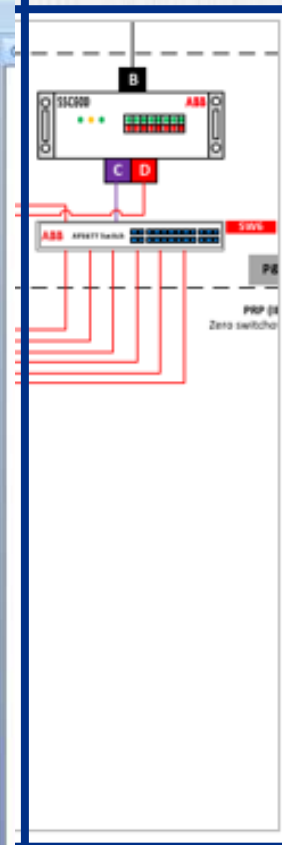
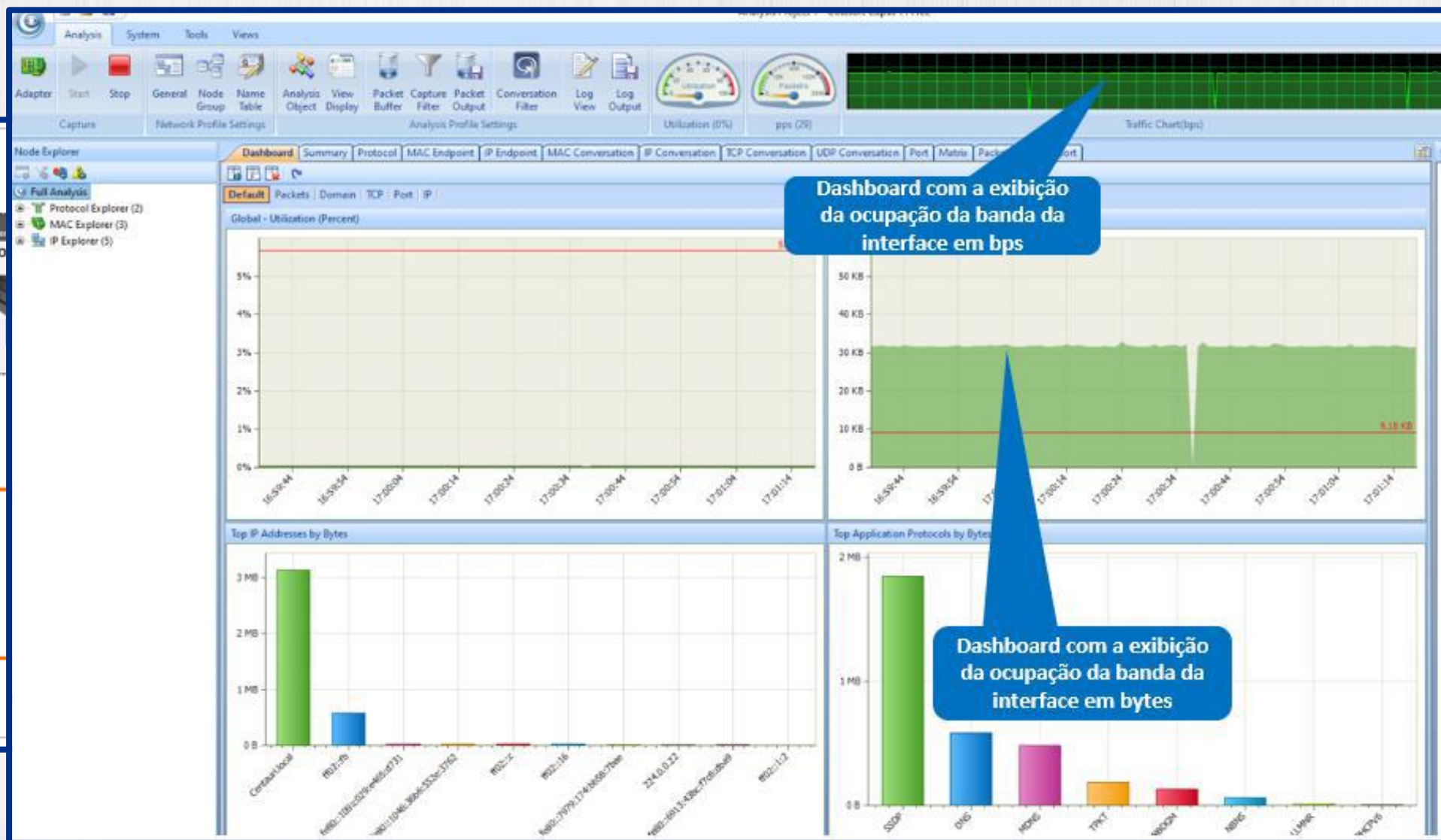
Testes realizados



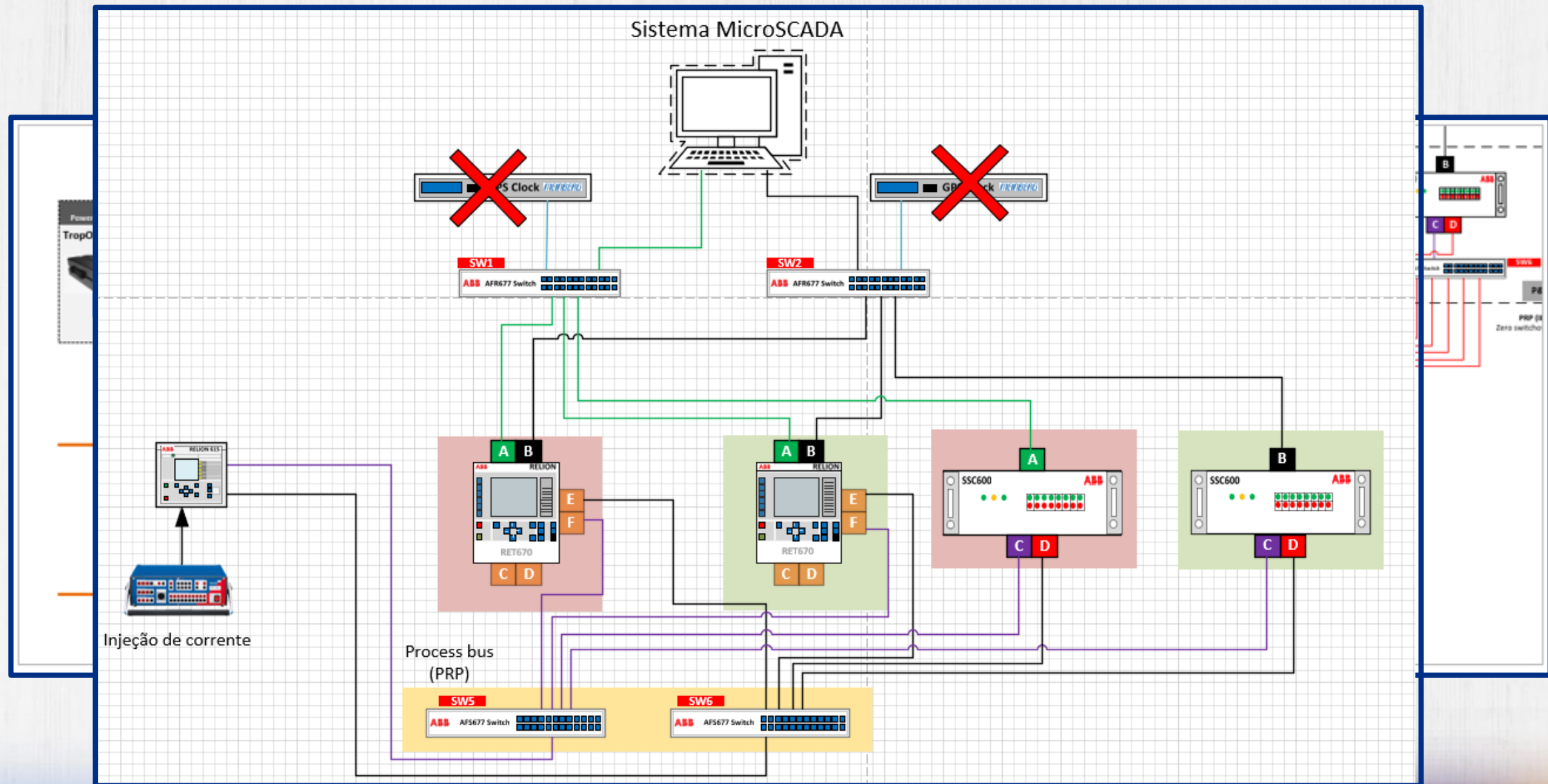
Testes realizados



Testes realizados



Testes realizados



RESULTADOS

Resultados das atuações de proteção

Verificação da atuação da proteção em diferentes condições

- Função 50 no AL-1
- Tempo de atuação parametrizado: 30 ms
- Medições realizadas pela mala de testes
- Tempo médio de 5 disparos
- Medição de tempo de início da falta até sinal de trip na BO das MUs

Condição da rede	IED CPC (ms)	Computador CPC (ms)
Normal	67,3	27,8
Avalanche de binárias	67,2	28,9
30% ICMP no Station Bus	66,3	29,0
70% ICMP no Station Bus	66,6	28,9
30% MMS no Station Bus	67,5	29,1
70% MMS no Station Bus	67,1	28,7
30% GOOSE no Station Bus	67,6	X
90% GOOSE no Station Bus	70,7	X
40% SV no Process Bus HSR	65,8	X
90% SV no Process Bus HSR	30995,5	X
30% GOOSE no Process Bus PRP	67,3	28,5
90% GOOSE no Process Bus PRP	68,3	28,6
30% SV no Process Bus PRP	67,8	29,0
90% SV no Process Bus PRP	Sem atuação	29,2

Resultados das atuações de proteção

Verificação da atuação da proteção em diferentes condições

- Função 50 no AL-1
- Tempo de atuação parametrizado: 30 ms
- Medições realizadas pela mala de testes
- Tempo médio de 5 disparos
- Medição de tempo de início da falta até sinal de trip na BO das MUs

Condição da rede	IED CPC (ms)	Computador CPC (ms)
Normal	67,3	27,8
Avalanche de binárias	67,2	28,9
30% ICMP no Station Bus	66,3	29,0
70% ICMP no Station Bus	66,6	28,9
30% MMS no Station Bus	67,5	29,1
70% MMS no Station Bus	67,1	28,7
30% GOOSE no Station Bus	67,6	X
90% GOOSE no Station Bus	70,7	X
40% SV no Process Bus HSR	65,8	X
90% SV no Process Bus HSR	30995,5	X
30% GOOSE no Process Bus PRP	67,3	28,5
90% GOOSE no Process Bus PRP	68,3	28,6
30% SV no Process Bus PRP	67,8	29,0
90% SV no Process Bus PRP	Sem atuação	29,2

Resultados dos comandos no disjuntor

Verificação de comando em diferentes condições

- Comando no disjuntor do AL-1
- Medições realizadas pela estampa de tempo do SCADA
- Tempo médio de 5 comandos
- Medição realizada entre o tempo do comando e o feedback do estado no SCADA

Condição da rede	IED CPC (ms)	Computador CPC (ms)
Normal	679,6	113,6
Avalanche de binárias	922,8	121,0
30% ICMP no Station Bus	420,8	115,6
70% ICMP no Station Bus	636,8	115,8
30% MMS no Station Bus	Sem comunicação	110,4
70% MMS no Station Bus	Sem comunicação	113,8
30% GOOSE no Station Bus	459,8	X
90% GOOSE no Station Bus	Sem comunicação	X
40% SV no Process Bus HSR	335,8	X
90% SV no Process Bus HSR	355,6	X
30% GOOSE no Process Bus PRP	Sem comando	119,4
90% GOOSE no Process Bus PRP	Sem comando	118,2
30% SV no Process Bus PRP	432,8	114,0
90% SV no Process Bus PRP	Sem comando	130,6

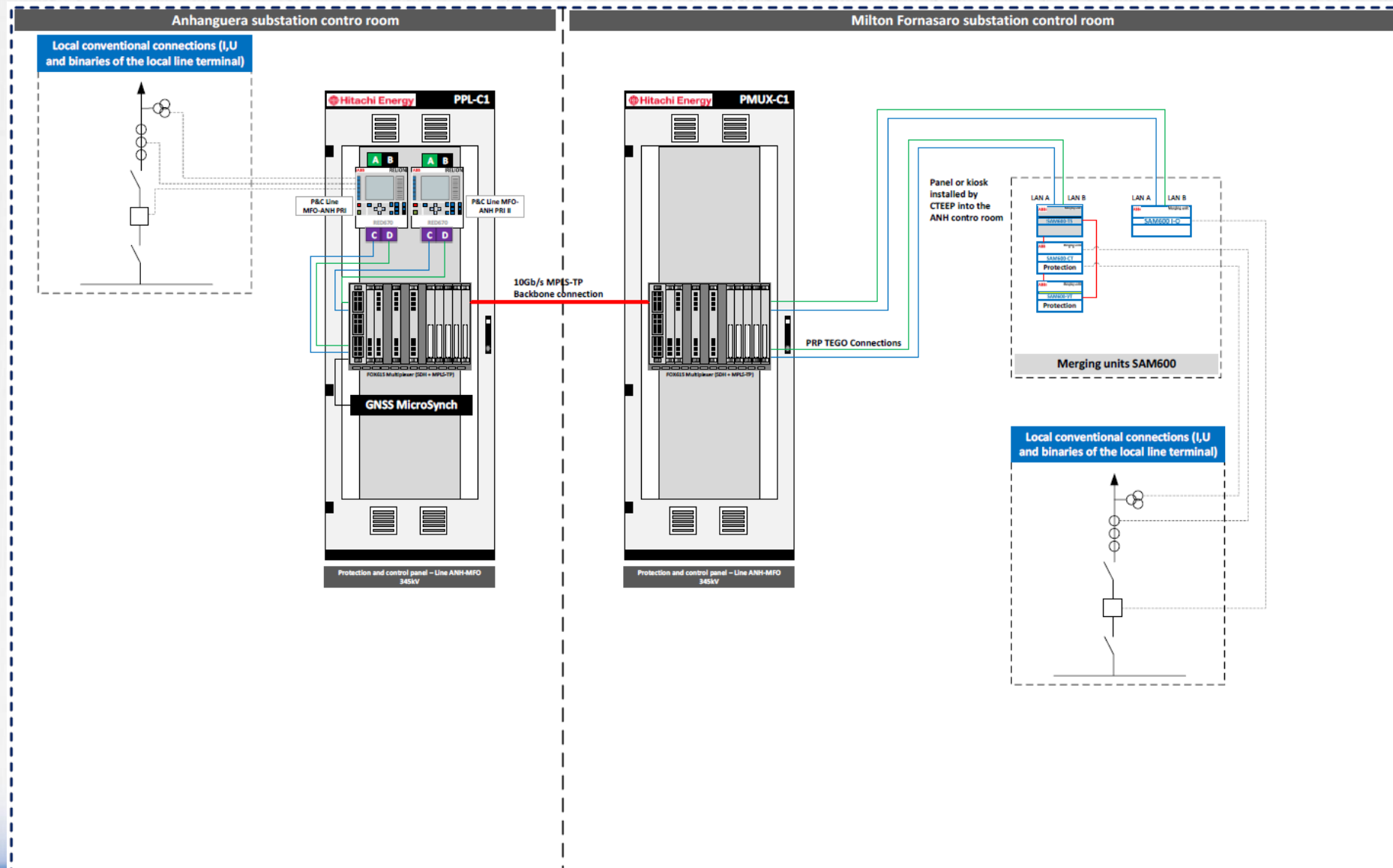


LT 345 kV Milton Fornasaro - Anhanguera

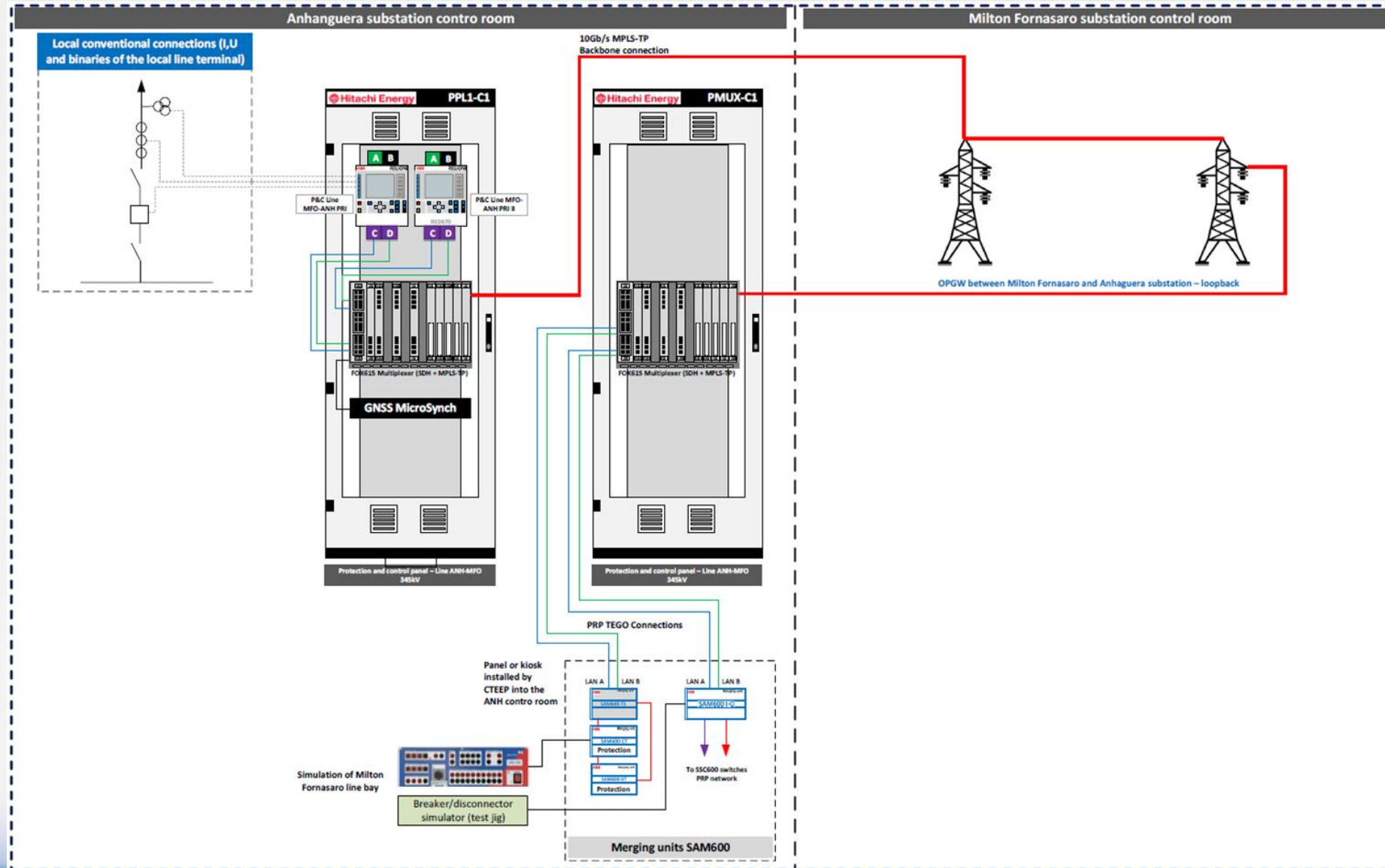
MPLS-TP + IEC 61850-90-1 no barramento de processo

- Envio de GOOSE e SV de um terminal a outro da linha
- Link MPLS-TP de 10 Gb/s gerenciado em tempo real pelos multiplexadores nas pontas
- Tráfego criptografado pelos multiplexadores

Condição de operação

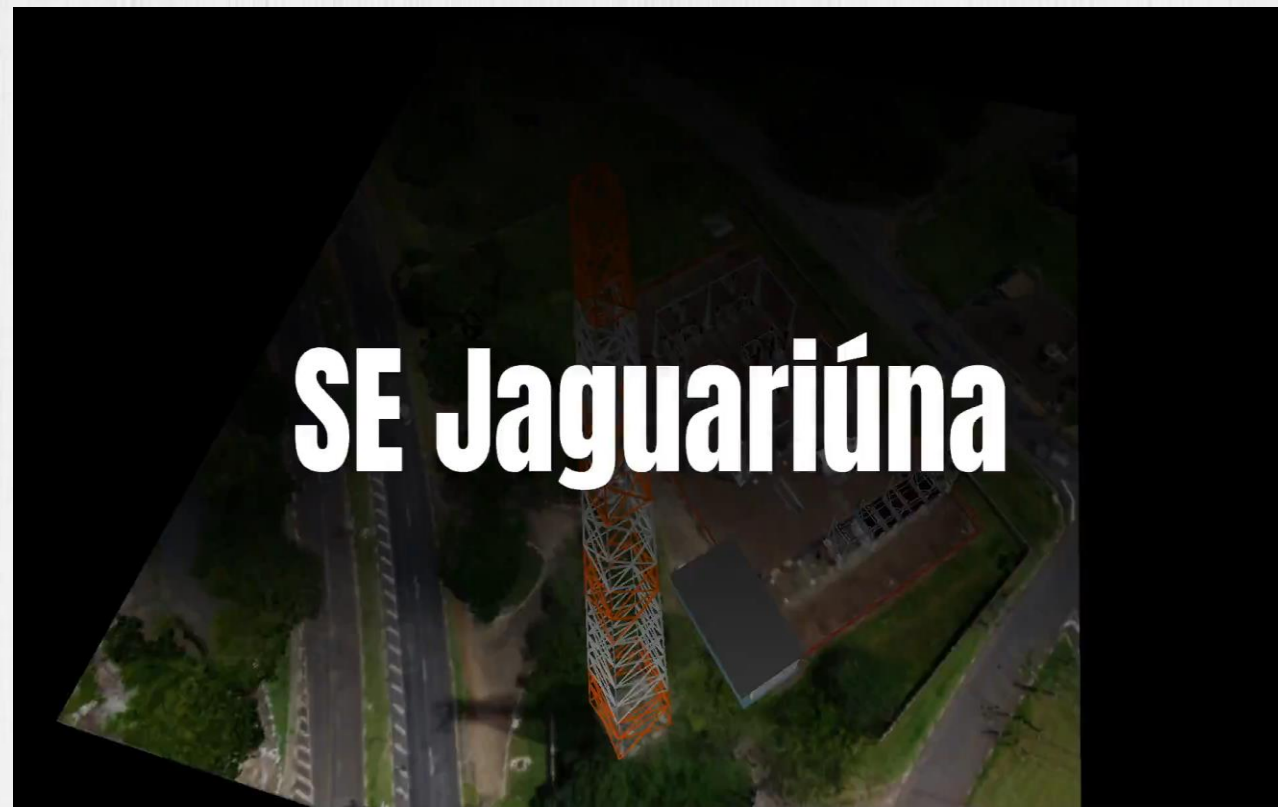


Cenário de teste



Plataforma Virtual para Capacitação em Subestações Tradicionais e Digitais


Por meio dos recursos, os alunos puderam ver o que é e onde é instalado um TP ou TC, transformadores, barras, disjuntores, seccionadoras, canaletas para passagem de condutores secundários e cabos de controle.





Considerações finais

- Importância de configuração / segregação / dimensionamento da rede
- Configuração correta de IEDs e Merging Units
- Verificação do conceito de *digital twin*
- Facilidade de implementação em campo



Pedro Syrio
pmsyrio@isactEEP.com.br

isa
CTEEP