



Unidade I – Proteção e Controle

1. Fundamentos e Tecnologias de Subestação

Disciplina: THP 7222 Estudos Especiais em Engenharia Elétrica I - Proteção Automação e Controle em Subestações e Sistemas de Distribuição Inteligentes

Prof. Raimundo Furtado Sampaio. e-mail: rfurtado@dee.ufc.br



Introdução a Subestação de Energia Elétrica

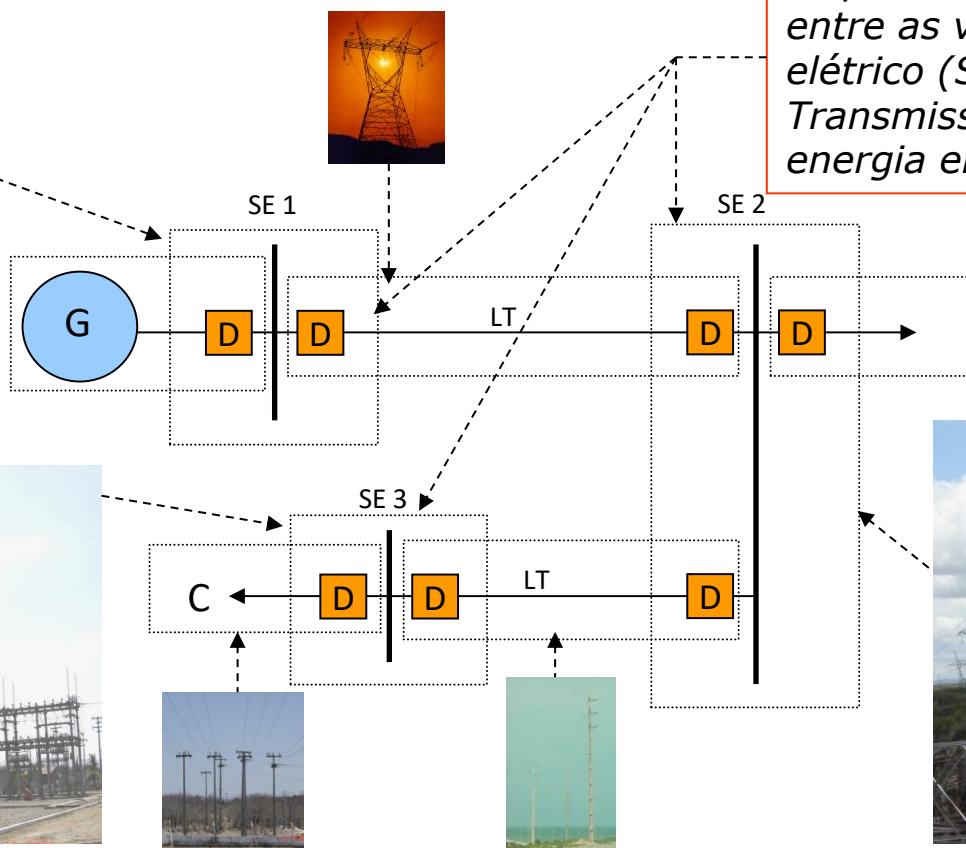
Subestação de Energia Elétrica (SE)

- **Definição:** Conjunto de instalações elétricas em média ou alta tensão que agrupa os equipamentos, condutores e acessórios, destinados à proteção, medição, manobra e transformação de grandezas elétricas (Módulo 1- Prodlist).

SE Coletora



SE Distribuidora



Subestação: é o componente responsável pela interconexão entre as várias partes do sistema elétrico (Sistemas de Geração, Transmissão e Distribuição de energia elétrica).

SE da Transmissão



Subestação de Energia Elétrica (SE)

- **Tipos de Subestações:** SE coletora, SE elevadora, SE abaixadora, SE distribuidora, SE seccionadora,, SE móvel, etc.



SE Transmissora



SE Distribuidora



SE semi-abrigada



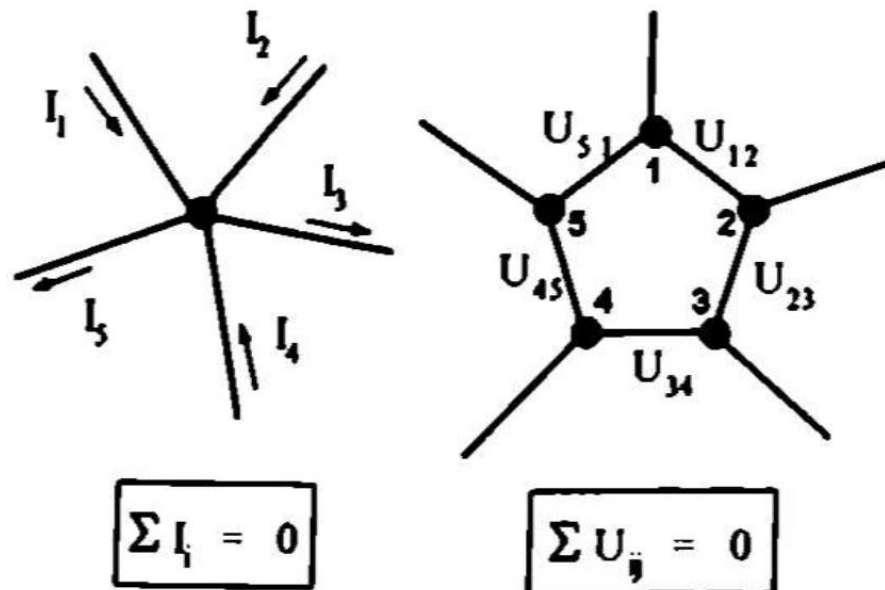
SE isolada e compacta



SE Móvel

Subestação de Energia Elétrica (SE)

- Subestação no sistema elétrico de potência (SEP):
 - ✓ É o nó no SEP que conectam linhas e condutores para transmissão e distribuição de energia elétrica.
- Leis de Kirchhoff aplicadas aos nós do SEP:



Subestação de Energia Elétrica (SE)

➤ Arranjos:

- ✓ São compostos por conjuntos de elementos, com funções específicas no sistema elétrico, denominados vãos (bays).

➤ Vão ou Bays:

- ✓ São subpartes da subestação intimamente ligadas e com funcionalidades comuns.
- ✓ Define a característica modular da subestação.

✓ Vãos predominantes nas subestações:

- ✓ Vão de entrada de linha;
- ✓ Vão de saída de linha;
- ✓ Vãos de Barramentos de alta e média tensão;
- ✓ Vãos de transformação;
- ✓ Vão de Banco de capacitor ou vão de regulação;
- ✓ Vão de saída de alimentador.

Subestação de Energia Elétrica (SE)

➤ Principais Funções:

- ✓ Monitorar as grandezas elétricas, visando o controle, proteção, supervisão e automação do SEP;
- ✓ Proporcionar recursos operacionais ao SEP;
- ✓ Efetuar a regulação de tensão;
- ✓ Modificar o nível de tensão;
- ✓ Realizar a conversão da energia (SE conversora – CA/CC e CC/CA)

➤ Característica Física:

- ✓ Modularidade

Estudos necessários para um estudo de proteções elétricas:

- Estudo de curto-circuito
- Estudo de fluxo de potência

Subestação de Energia Elétrica (SE)

➤ Equipamentos de Proteção e Controle de uma SE

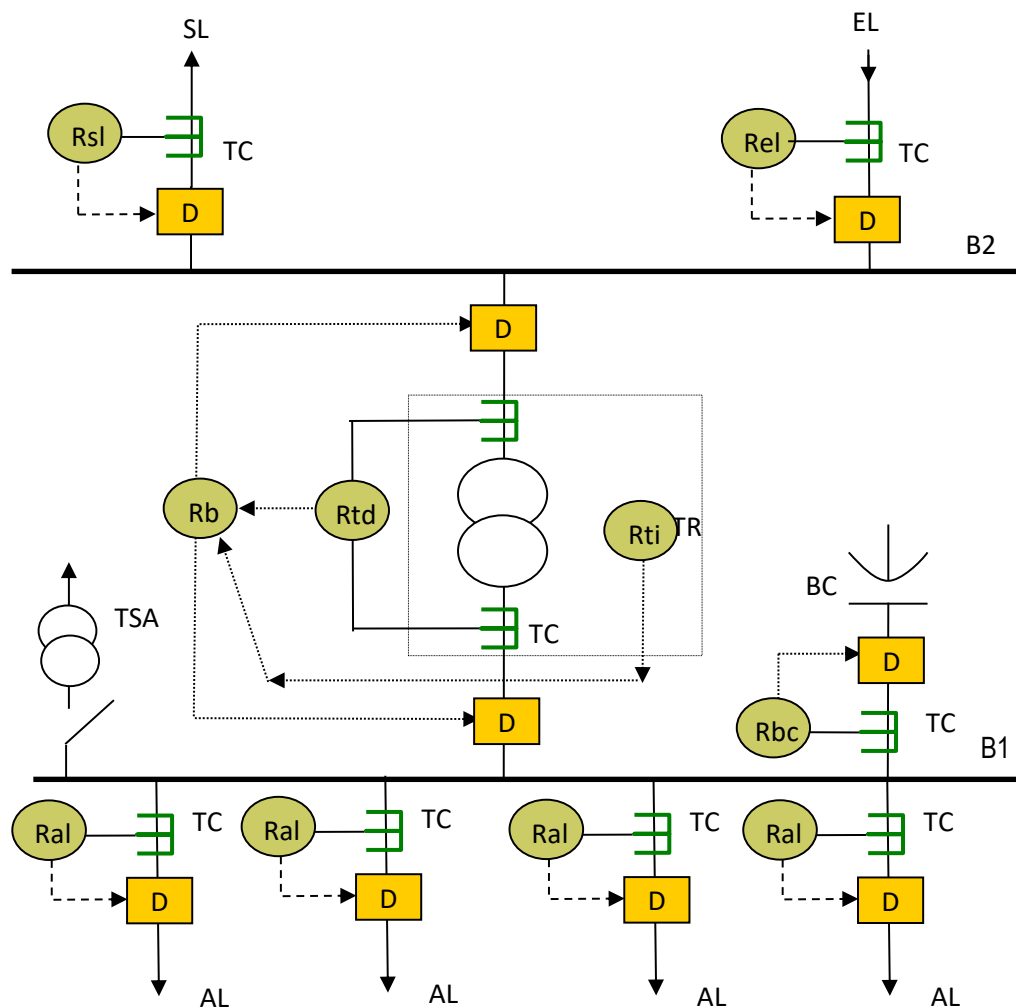
- ✓ Pára-raios;
- ✓ Relés;
- ✓ Disjuntores;
- ✓ Religadores;
- ✓ Secionadores fusíveis ou chaves fusíveis;
- ✓ Chave de Aterramento Rápido.

➤ Transformadores para Instrumentos

- ✓ Transformador de Potencial (TPC e TPI);
- ✓ Transformador de Corrente (TC).

Subestação de Energia Elétrica (SE)

➤ Diagrama simplificado de Proteção e Controle de uma SE



LEGENDA:

EL – Vão de entrada de linha

SL – Vão de saída de linha

B1 – Barramento média tensão

B2 – Barramento alta tensão

TR – Vão de transformador

TSA – Trafo de Serviço Auxiliar

BC – Vão de regulação

AL – Vão de alimentação

D – Disjuntor

TC – Transformador de Corrente

TP – Transformador de Potencial

Rel – Proteção de EL

Rsl – Proteção de SL

Rtd – Proteção diferencial do TR

Rti – Proteção intrínseca do TR

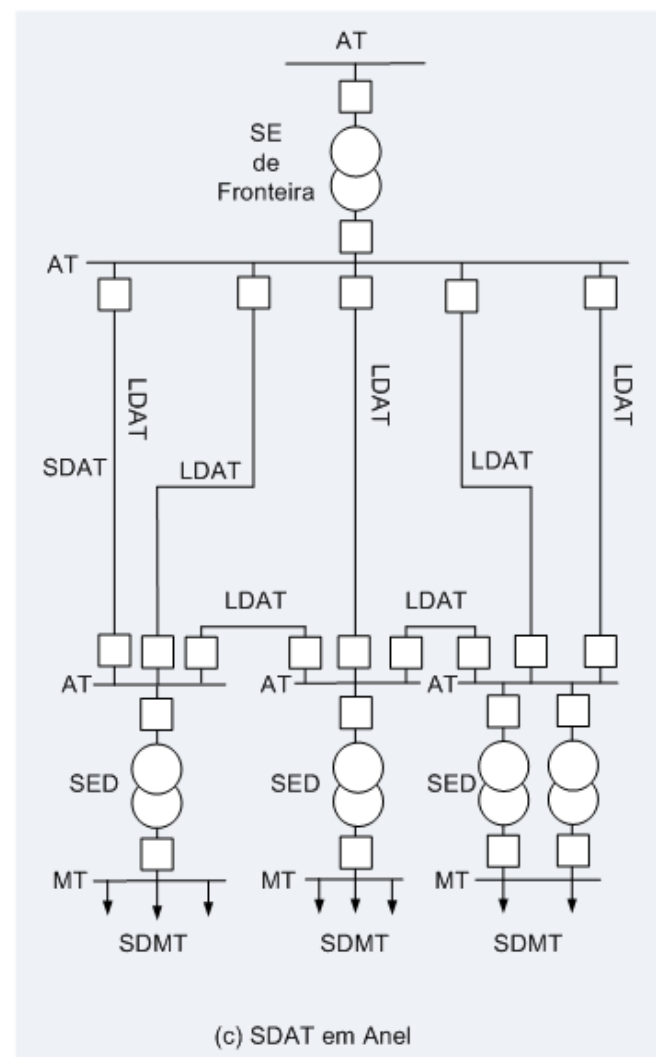
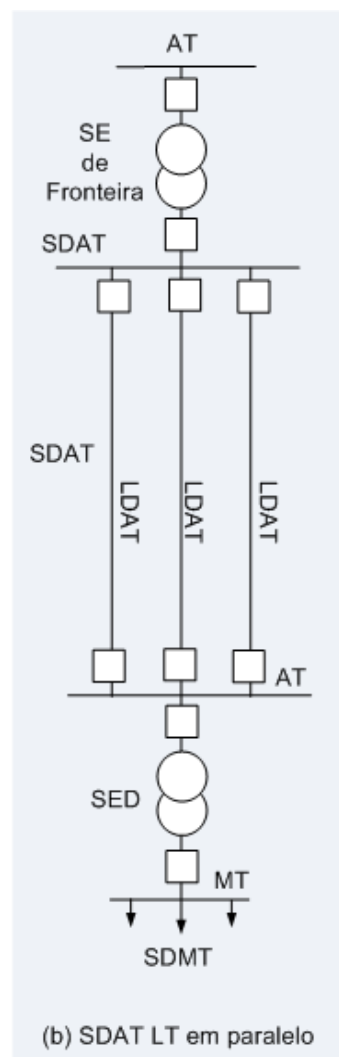
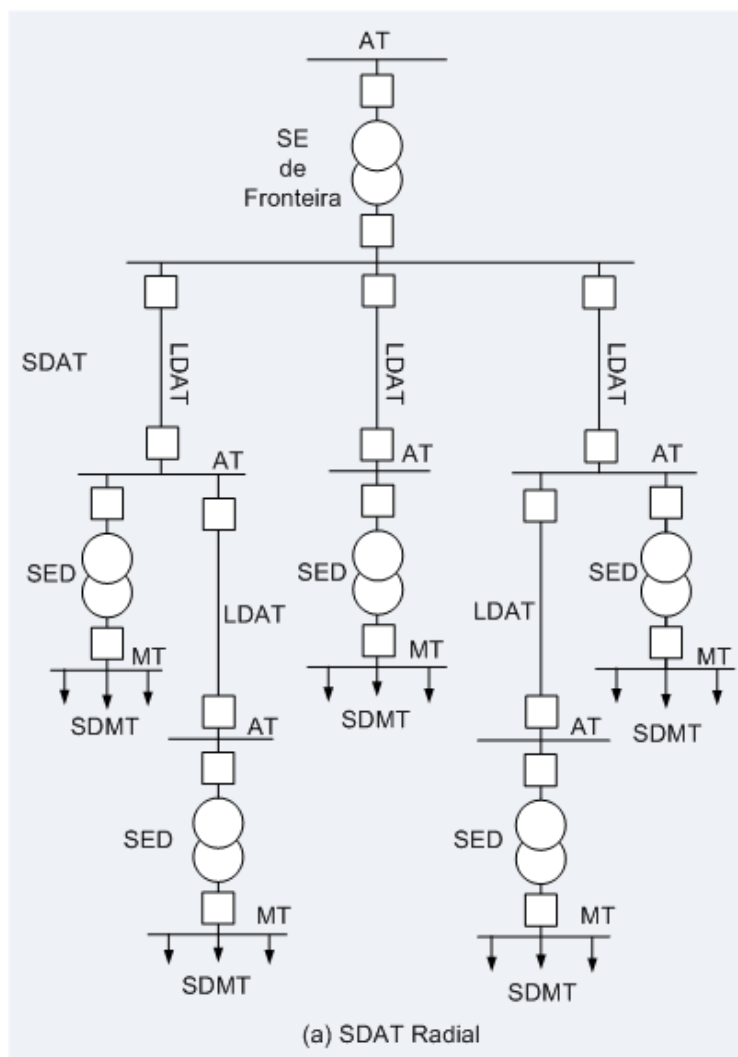
Rb – Relé de bloqueio

Rbc – Proteção do BC

Ral – Proteção do AL

Introdução à Subestação de Energia Elétrica (SE)

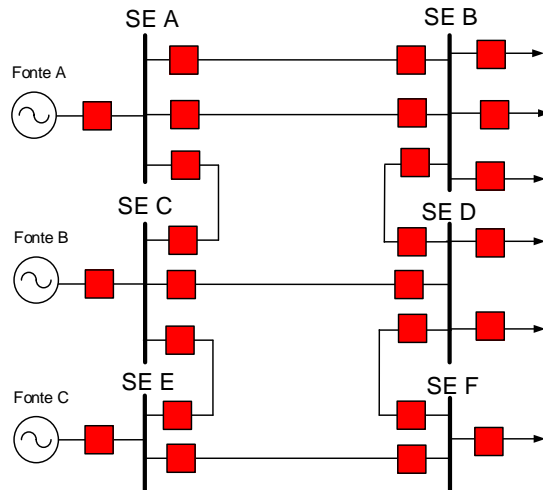
□ Topologias típicas de STAT e de SDAT:



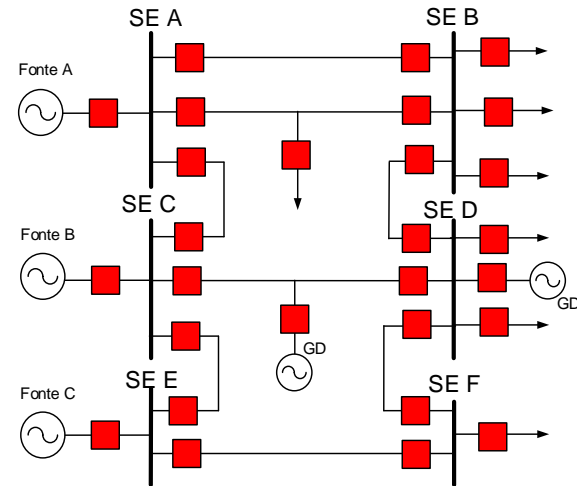
Vãos de Entrada e Saída de Linha de Transmissão

Sistema de Transmissão

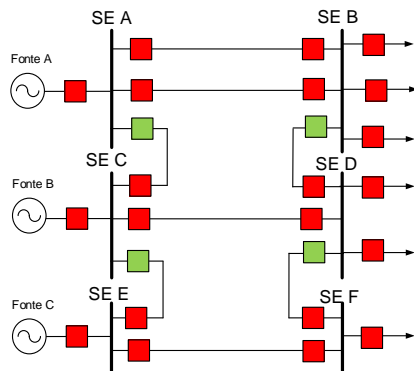
➤ Topologias:



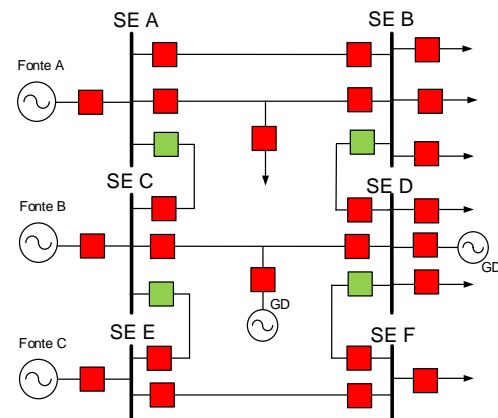
Sistema em Anel



Sistema em Anel com GD



Sistema em anel aberto



Sistema em anel aberto com GD

LEGENDA:

■ Equipamento NF ■ Equipamento NA

P&C de Linhas de Transmissão

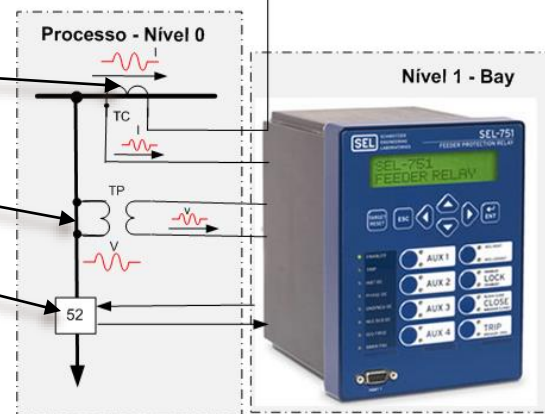
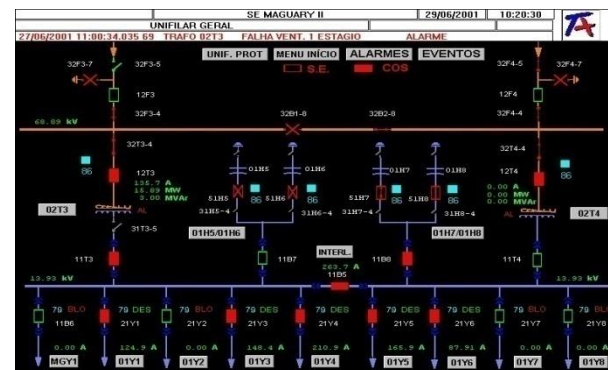
- **Vãos de Entrada de Linha e de Saída de Linha:**
 - ✓ Nas entradas e saídas de linhas das subestações são normalmente instalados para-raios, transformadores de instrumentos, seccionadores e disjuntores.



P&C de Linhas de Transmissão

➤ Entrada e Saída de Linha:

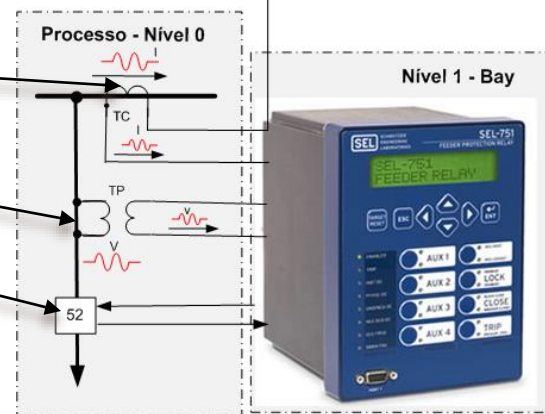
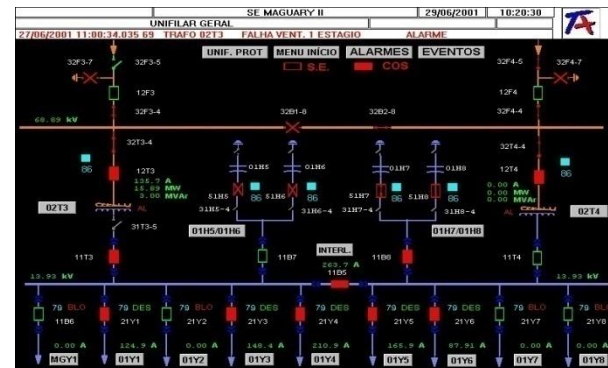
Para-raios TP TC Disjuntor



P&C de Linhas de Transmissão

➤ Entrada e Saída de Linha:

Para-raios TP TC Disjuntor



P&C de Linhas de Transmissão

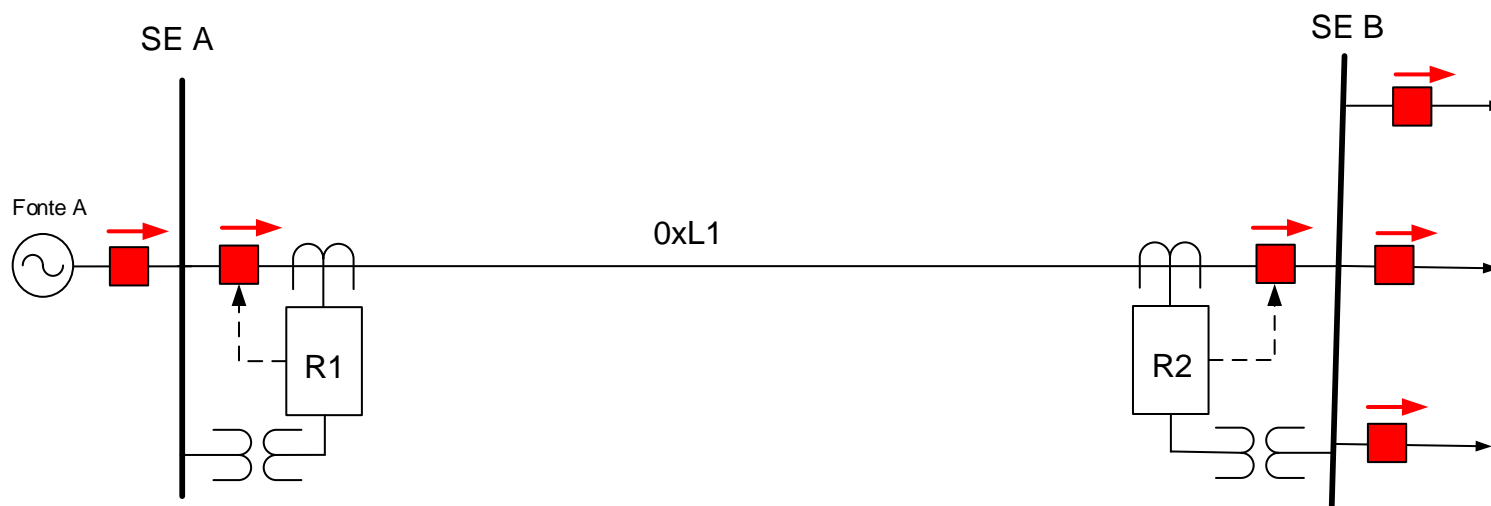
➤ Esquema P&C - Relés de Linhas de Transmissão

- ✓ Relé de sobrecorrente: 50/51, 50/51N, 79, 50BF.
- ✓ Relé de sobrecorrente direcional: 50/51, 50/51N, 67/67N, 79, 50BF.
- ✓ Relé de Distância: 21, 50/51, 85, 50/51N, 67, 67N, 79, 50BF.
- ✓ Relé diferencial de linha: 87L, 21, 85, 67, 67N, 79, 50BF
- ✓ Esquema de proteções Especiais

P&C de Linhas de Transmissão

➤ Esquemas de Proteção de Linha de Transmissão:

- ✓ Topologia radial;
- ✓ Linha curta;
- ✓ Canto de carga urbano de grande porte.

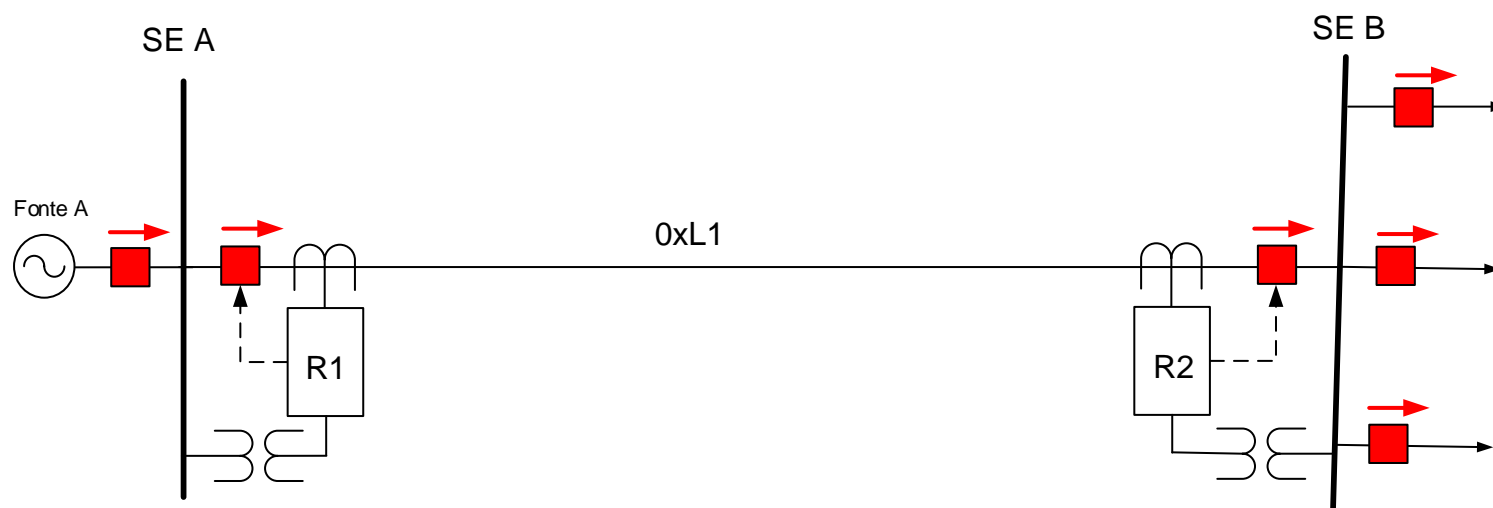


VÃO	RELÉ	TIPO DE RELÉ	FUNÇÕES DE PROTEÇÃO
Saída de linha da SED A	R1	Relé de sobrecorrente	50/51; 50N/51N; 79; 50BF.
		Diferencial de linha	87L; 50/51; 50N/51N; 79; 50BF.
Entrada de linha da SED B	R2	Relé de sobrecorrente	50/51; 50N/51N; 79; 50BF.
		Diferencial de linha	87L; 50/51; 50N/51N; 79; 50BF.

P&C de Linhas de Transmissão

➤ Esquemas de Proteção de Linha de Transmissão:

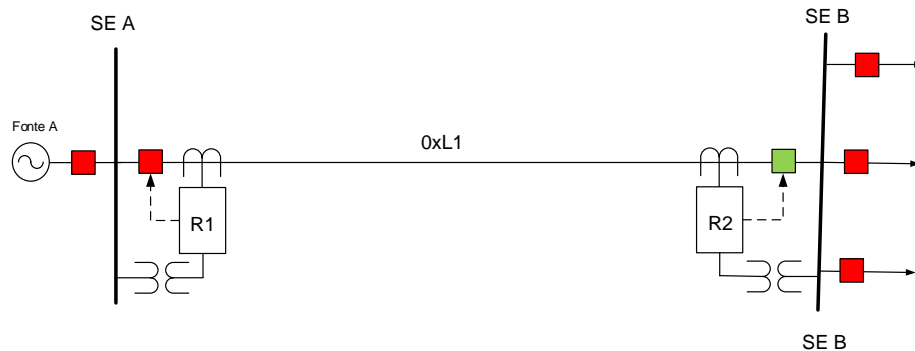
- ✓ Topologia radial;
- ✓ Linha média e longa;
- ✓ Cento de carga rural de médio porte.



VÃO	RELÉ	TIPO DE RELÉ	FUNÇÕES DE PROTEÇÃO
Saída de linha da SED A	R1	Relé de sobrecorrente	50/51; 50N/51N; 79
		Relé de distância	21/21N; 50/51; 50N/51N; 67/67N; 79
Entrada de linha da SED B	R2	Relé de sobrecorrente	50/51; 50N/51N; 79
		Relé de distância	21/21N; 50/51; 50N/51N; 79

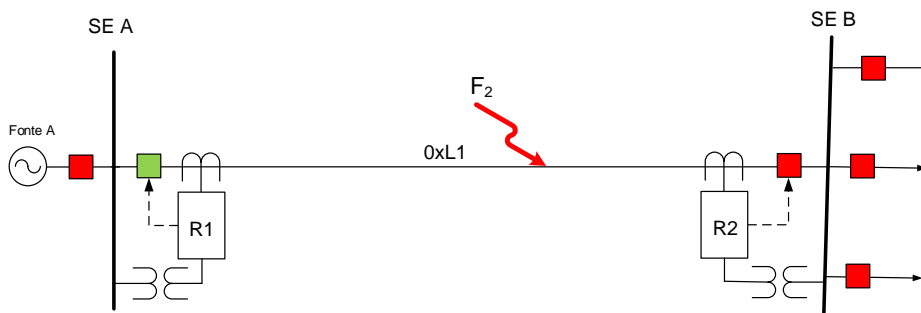
P&C de Linhas de Transmissão com topologia radial

➤ Esquemas de P&C – Proteção de Sobrecorrente



Falta na barra da SE B:

- R2 de sobrecorrente comanda abertura do disjuntor.
- Todos os consumidores fora de serviço.



Falta na LT 0xL1:

- R1 de sobrecorrente comanda abertura do disjuntor.
- Todos os consumidores fora de serviço.

LEGENDA:



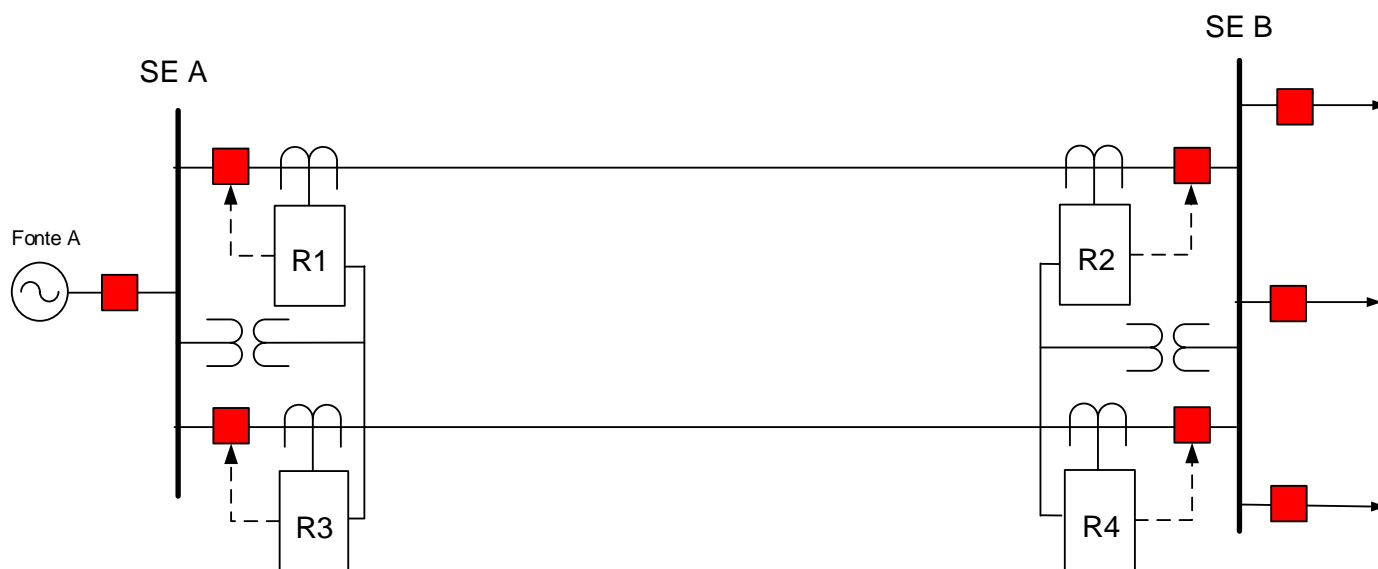
Equipamento NF



Equipamento NA

P&C de Linhas de Transmissão

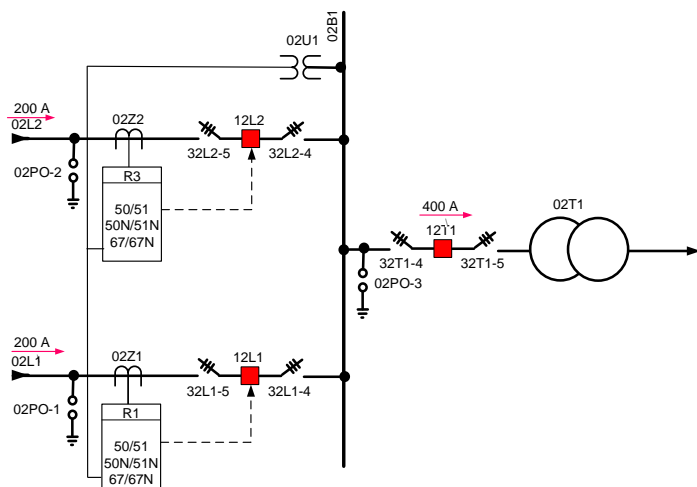
- **Esquemas de P&C – Proteção de Sobrecorrente e Direcional:**
 - ✓ Topologia em anel ou radial com linhas em paralelo.



VÃO	RELÉ	TIPO DE RELÉ	FUNÇÕES DE PROTEÇÃO
Saída de linha da SED A	R1	Relé de sobrecorrente	50/51; 50N/51N
	R2	Relé de sobrecorrente direcional	50/51; 50N/51N; 67/67N
Entrada de linha da SED B	R3	Relé de sobrecorrente	50/51; 50N/51N
	R4	Relé de sobrecorrente direcional	50/51; 50N/51N; 67/67N

P&C de Linhas de Transmissão

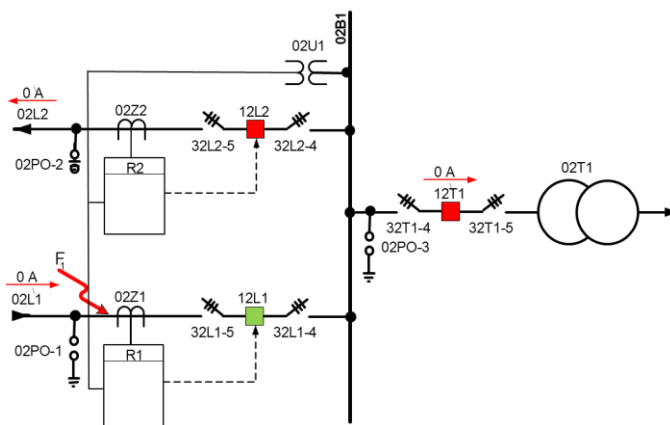
➤ Esquema de P&C em duas LTs suprindo a Subestação:



Operação normal

- SED suprida pelas LTs 02L1 e 02L2
- Proteção de Sobrecorrente Direcional R1 e R3

➤ Arranjo barramento simples em contingência:



Falta F1 na LT 02L1:

- Relé R1 comandam a abertura do disjuntor 12L1
- Falta eliminada, retirando de serviço todos os consumidores.

LEGENDA



Equipamento NF



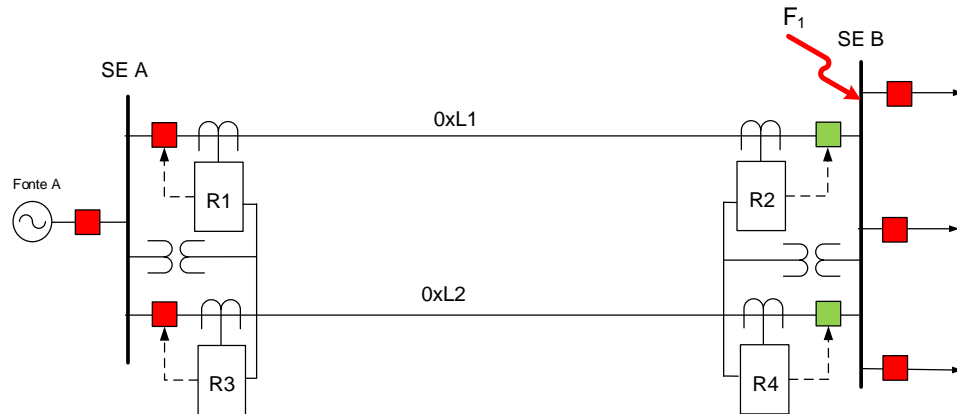
Equipamento NA



Simulação de falta

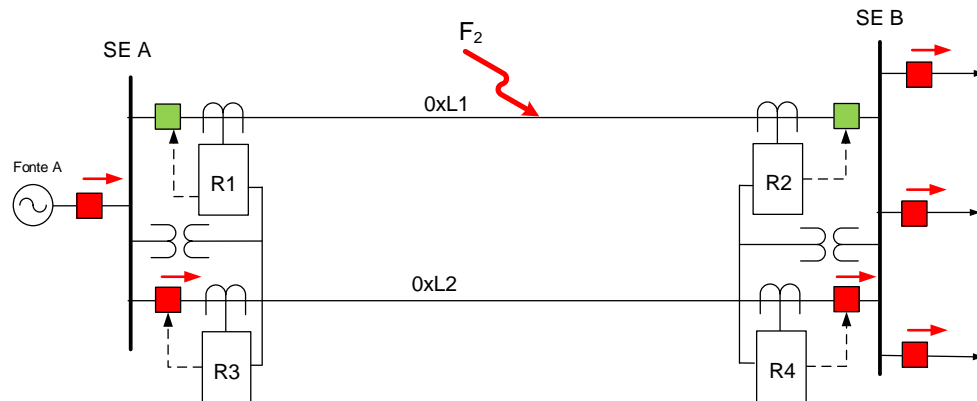
P&C de Linhas de Transmissão com topologia radial

➤ Esquemas de P&C – Proteção de Sobrecorrente e Direcional



Falta na barra da SE B:

- Funções de sobrecorrente dos relés R2 e R3 comandam abertura dos disjuntores.
- Todos os consumidores fora de serviço.



Falta na LT 0xL1:

- Funções de sobrecorrente direcional dos relés R1 e R2 comandam abertura dos disjuntores.
- Todos os consumidores fora de serviço.

LEGENDA:



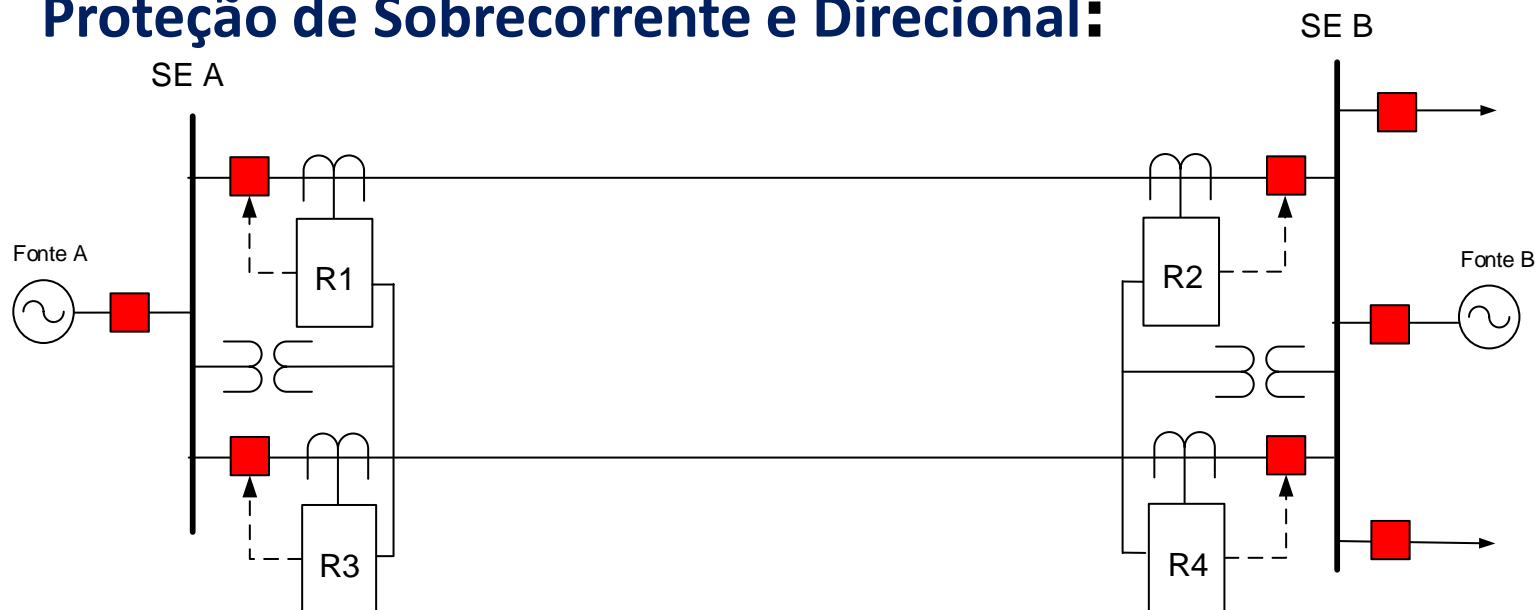
Equipamento NF



Equipamento NA

P&C de Linhas de Transmissão

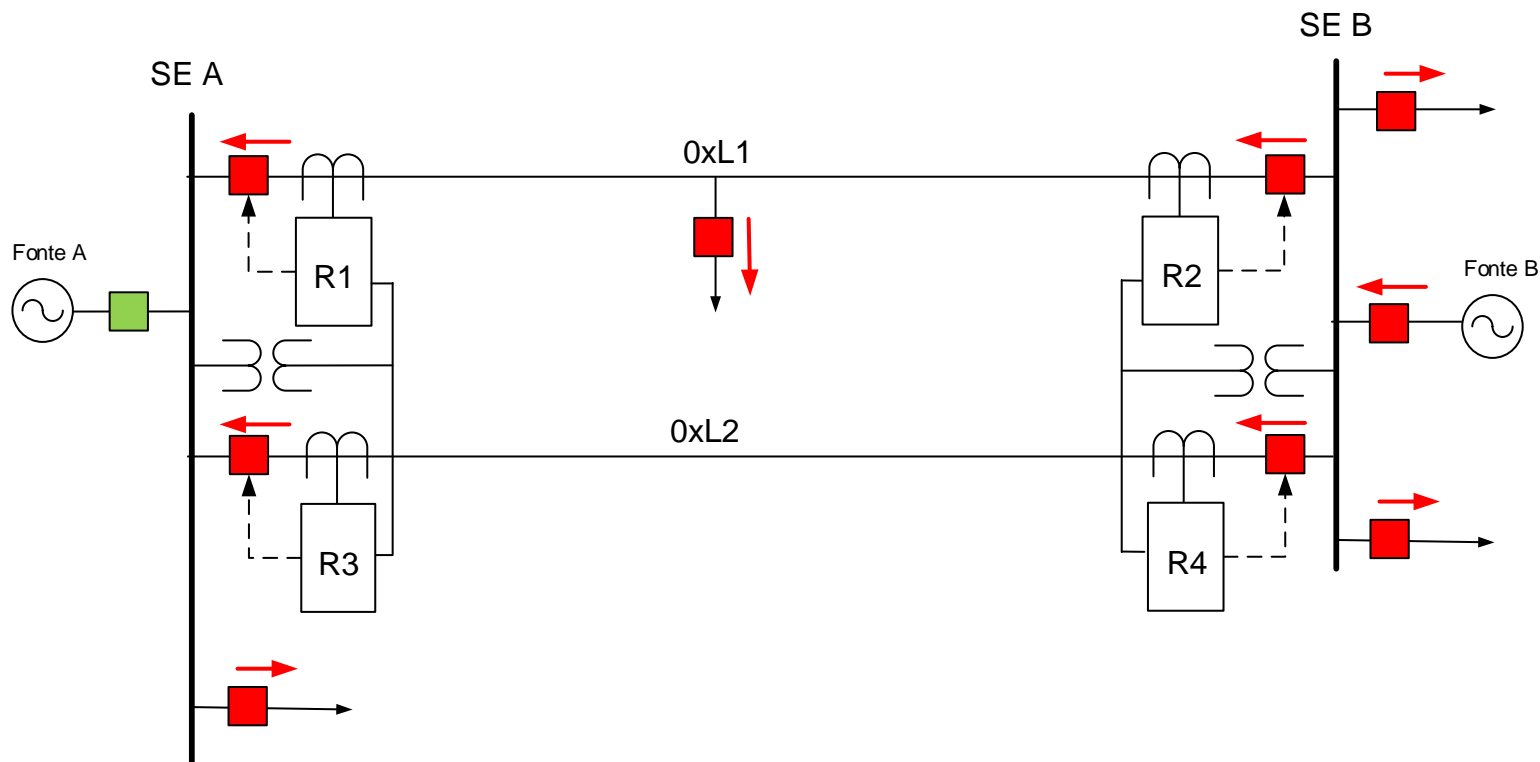
➤ Esquemas de P&C – sistema de transmissão com duas fontes – Proteção de Sobrecorrente e Direcional:



VÃO	RELÉ	TIPO DE RELÉ	FUNÇÕES DE PROTEÇÃO
Saída de linha da SED A	R1	Relé de sobrecorrente	50/51; 50N/51N; 67/67N
	R2	Relé de sobrecorrente direcional	50/51; 50N/51N; 67/67N
Entrada de linha da SED B	R3	Relé de sobrecorrente	50/51; 50N/51N; 67/67N
	R4	Relé de sobrecorrente direcional	50/51; 50N/51N; 67/67N

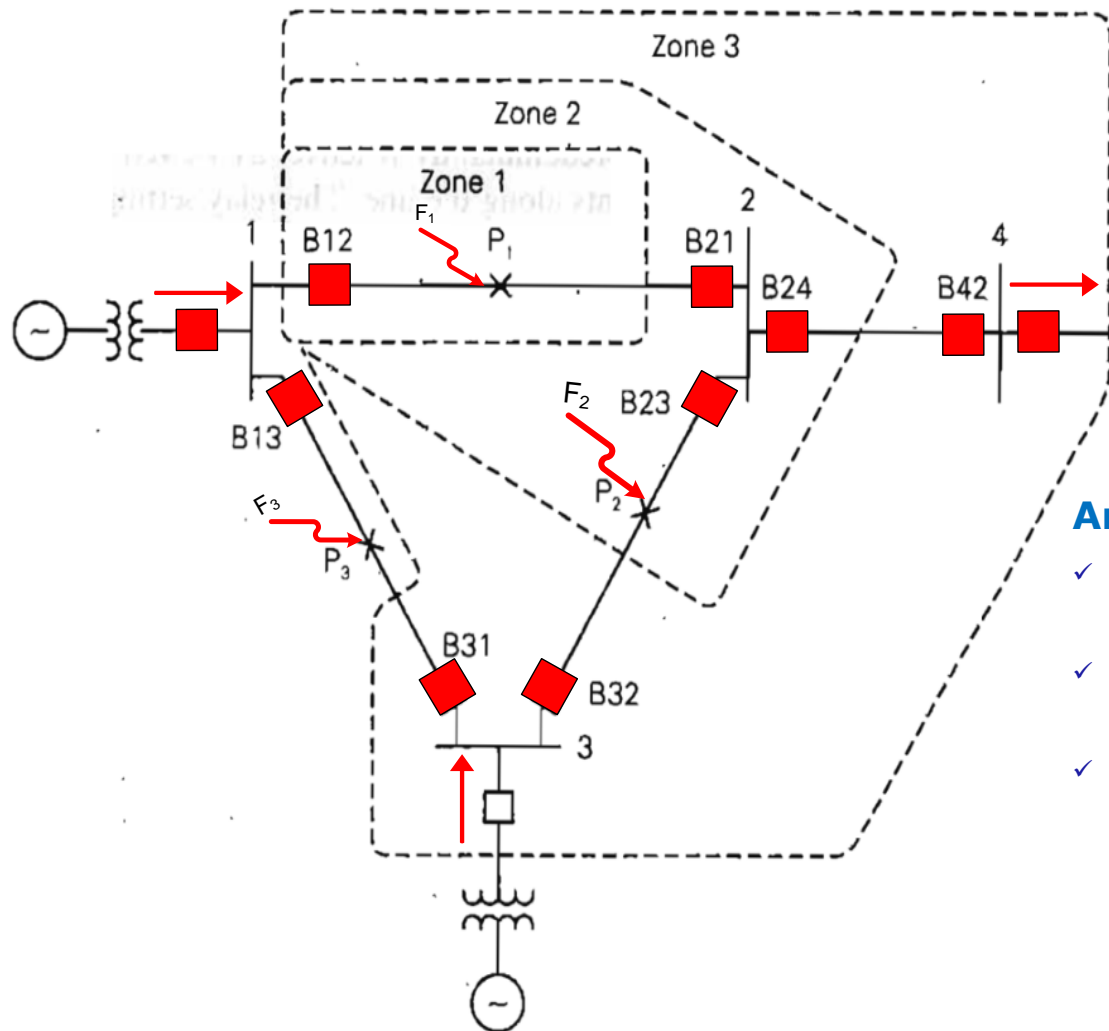
P&C de Linhas de Transmissão com dupla fonte

➤ Esquema de P&C com dupla fonte – Fluxo Reverso:



P&C de Sistema de Transmissão em Anel

➤ Esquemas de P&C de Sistema de Transmissão em Anel:



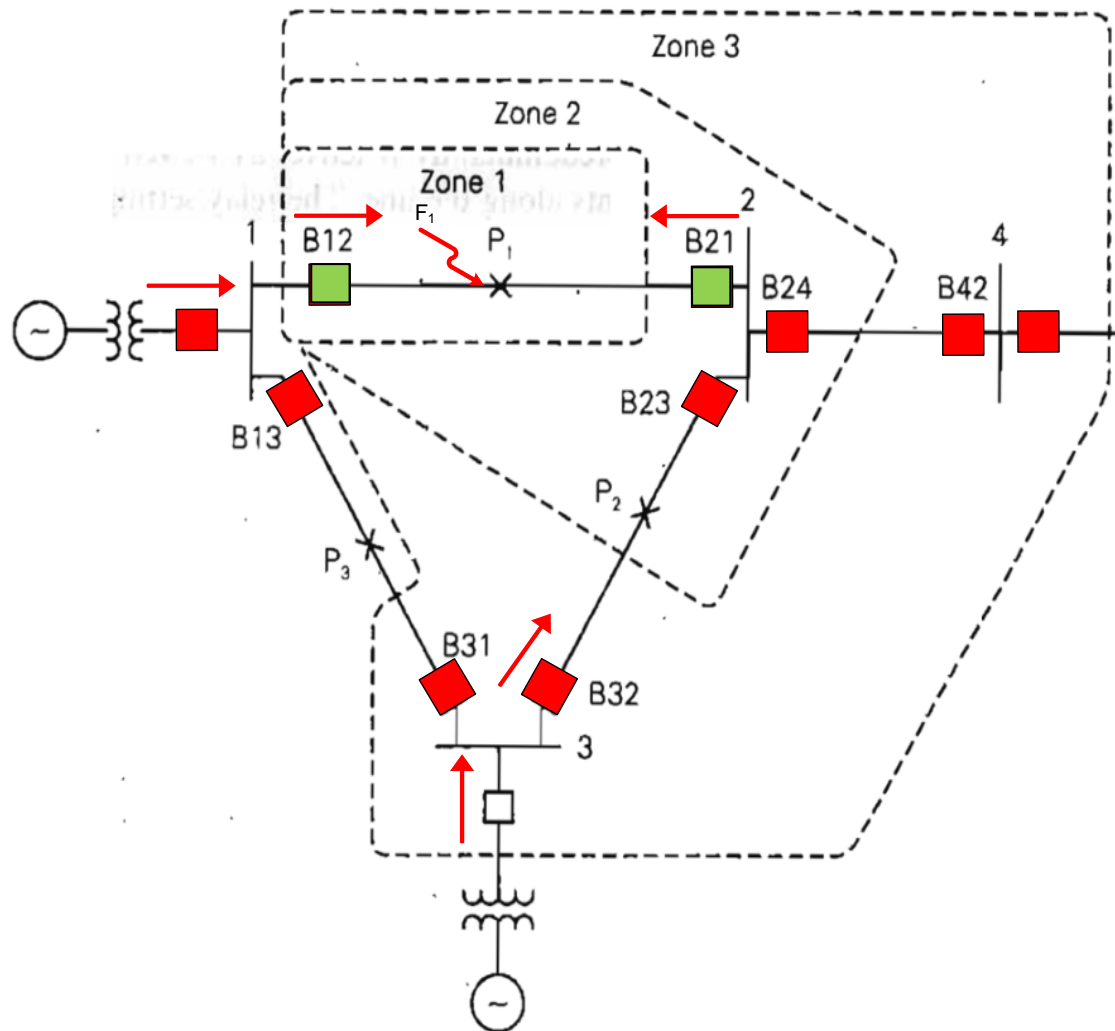
Qual relé escolher,
Distância e Direcional ou
sobrecorrente e
direcional?

Analisando faltas em P1, P2 e P3:

- ✓ Falta em P1 o relé B21 deve operar mais rápido do que o relé B32;
- ✓ Falta em P2 o relé B32 deve operar mais rápido do que o relé B13;
- ✓ Falta em P3 o relé B13 deve operar mais rápido do que o relé B21.

P&C de Sistema de Transmissão em Anel

➤ Esquemas de P&C de Sistema de Transmissão em Anel:

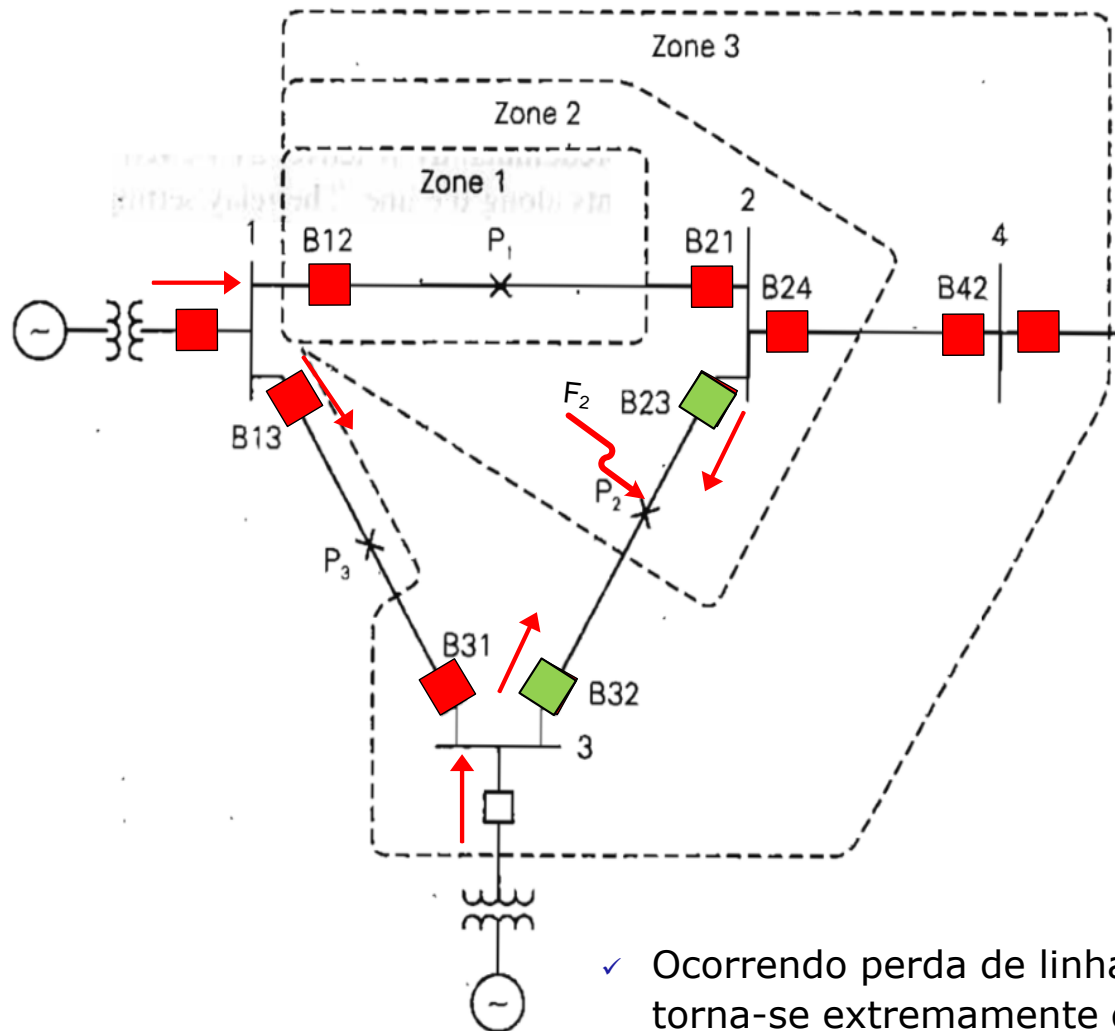


Analizando faltas em P1:

- ✓ Falta em P1
- ✓ Relé associado a B21 deve operar mais rápido do que o relé B32.

P&C de Sistema de Transmissão em Anel

➤ Esquemas de P&C de Sistema de Transmissão em Anel:



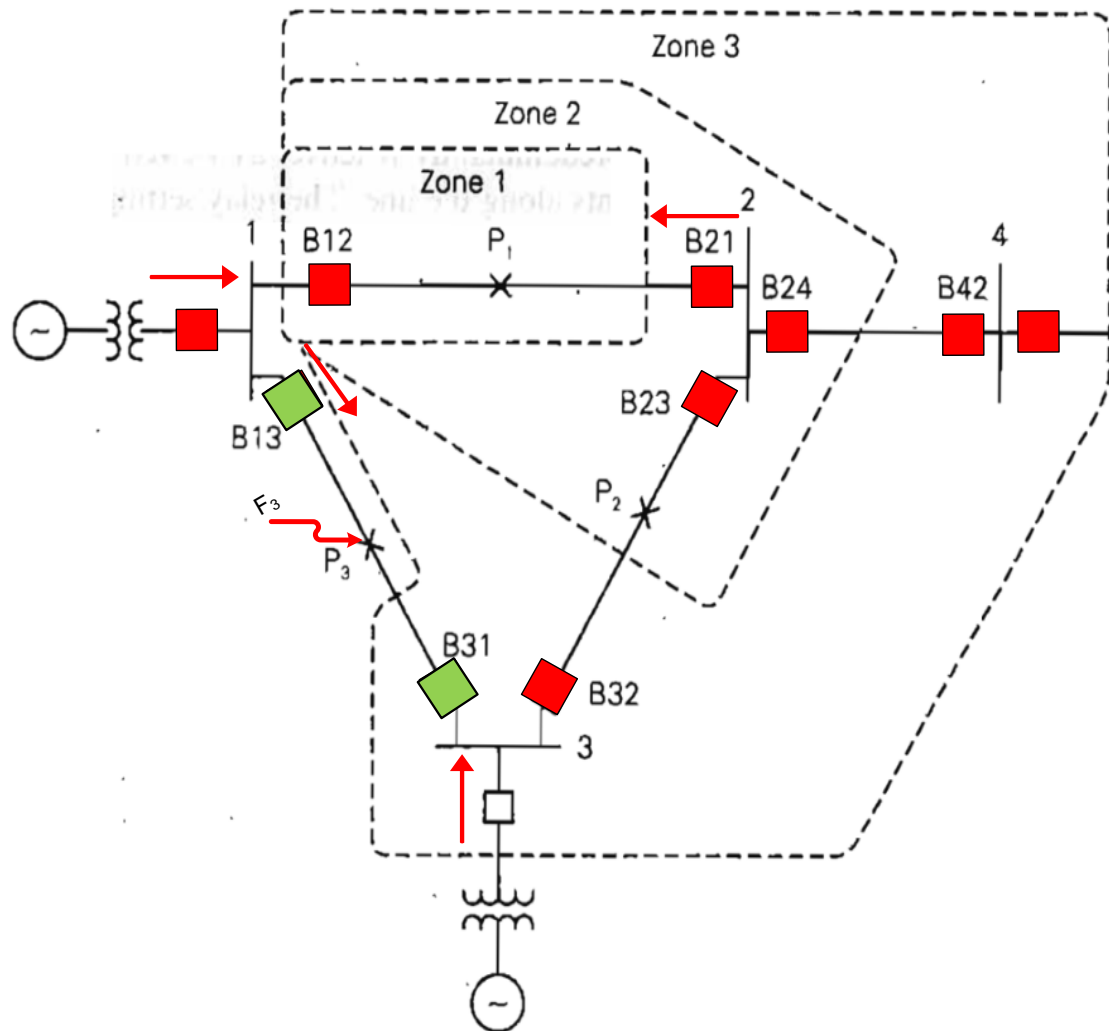
Analizando faltas em P2:

- ✓ Falta em P2 o relé B32 deve operar mais rápido do que o relé B13.

- ✓ Ocorrendo perda de linha ou fonte, a coordenação entre relés torna-se extremamente difícil e complexa.

P&C de Sistema de Transmissão em Anel

➤ Esquemas de P&C de Sistema de Transmissão em Anel:



Analizando faltas em P3:

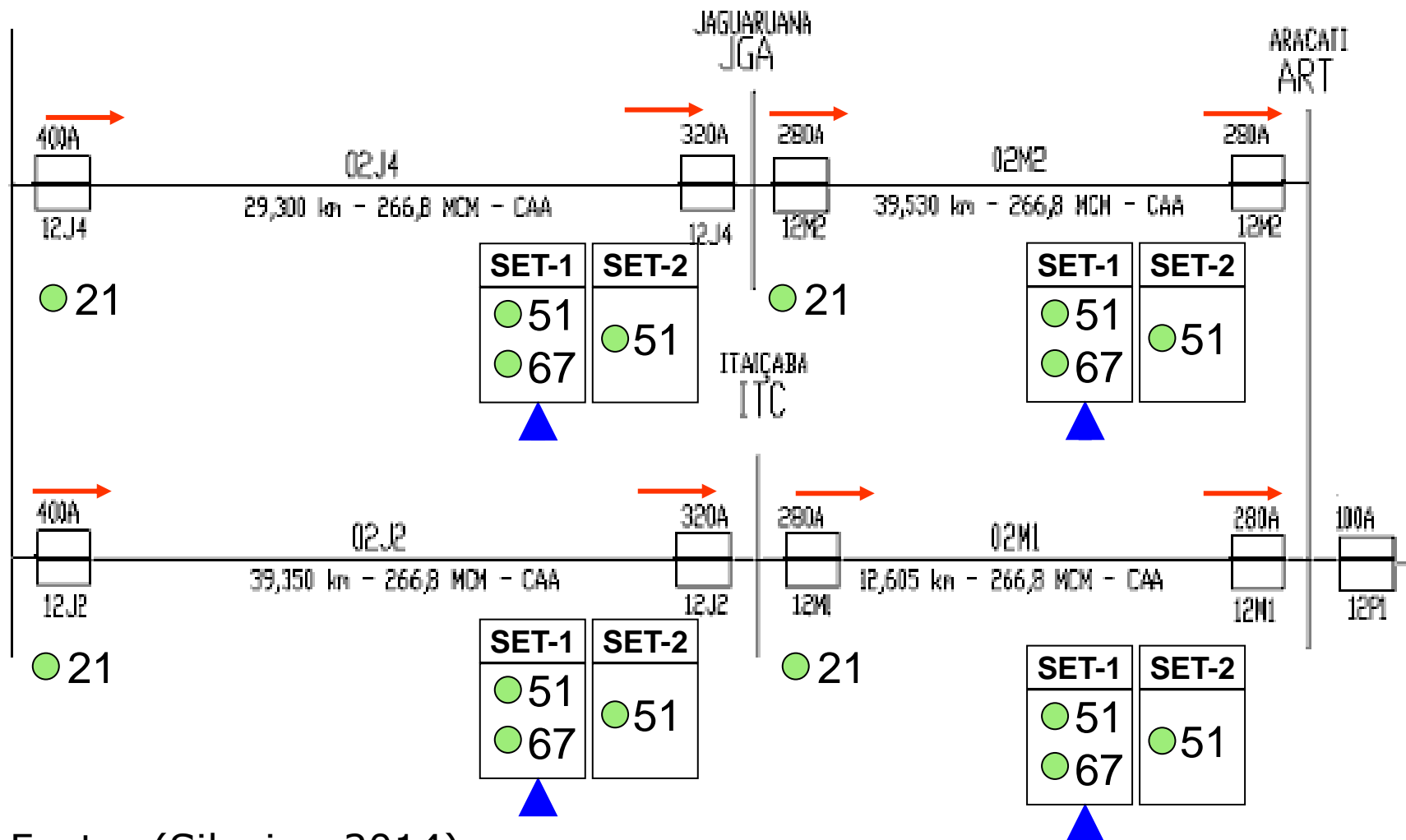
- ✓ Falta em P3 o relé B13 deve operar mais rápido do que o relé B21.

Conclui-se que em sistemas em
anel com múltiplas fontes:

- ✓ Ocorrendo perda de linha ou fonte, a coordenação entre relés baseado em tempo x corrente, como por exemplo, relés de sobrecorrente direcional torna-se difícil.
- ✓ Recomenda-se nesse caso o uso de relés que operam com base na relação da tensão/corrente de falta, como por exemplo relé 21.

P&C de Sistema de Transmissão em Anel

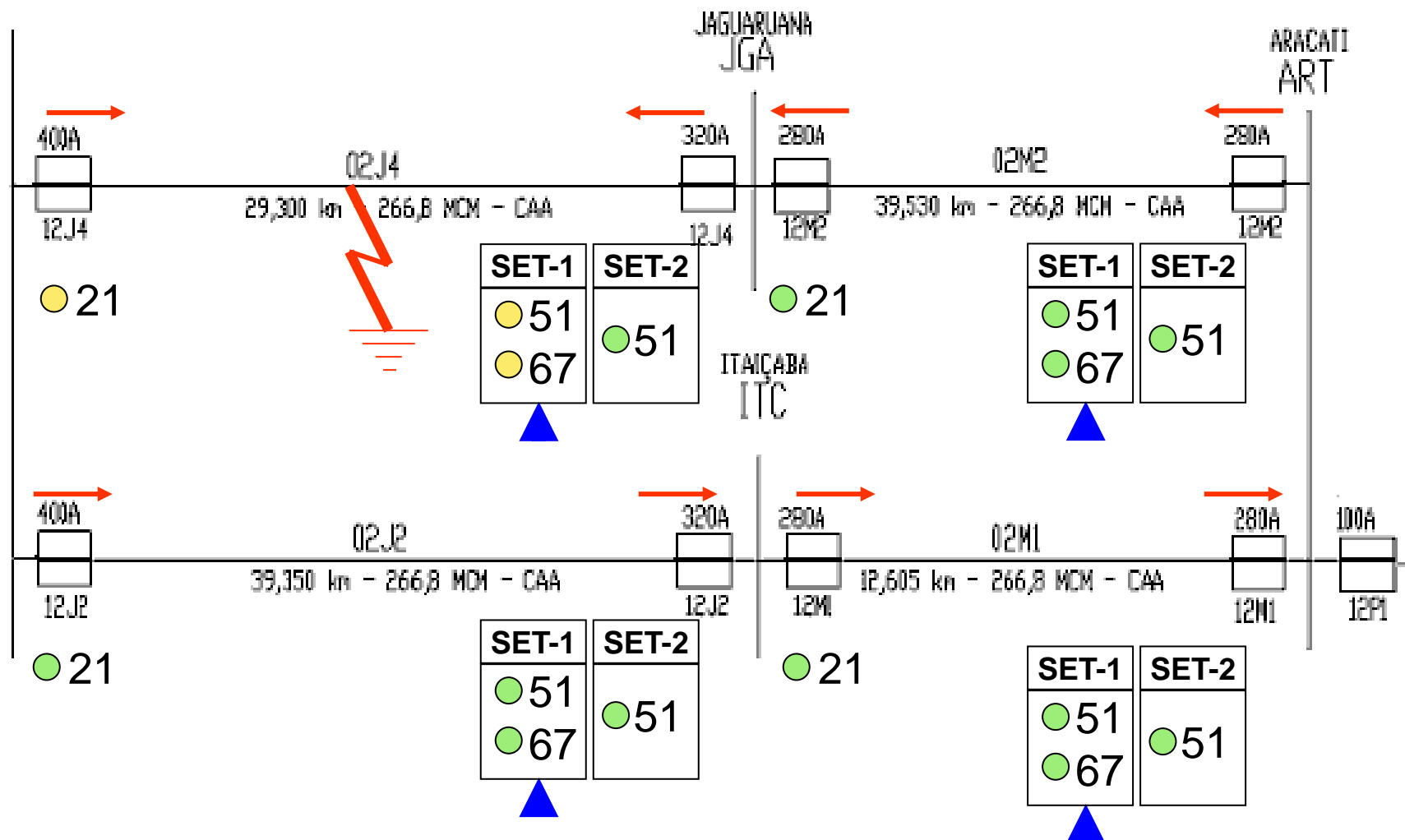
➤ Esquemas de P&C – Relés de sobrecorrente com 2 Grupos de Ajustes:



Fonte: (Silveira, 2014)

P&C de Sistema de Transmissão em Anel

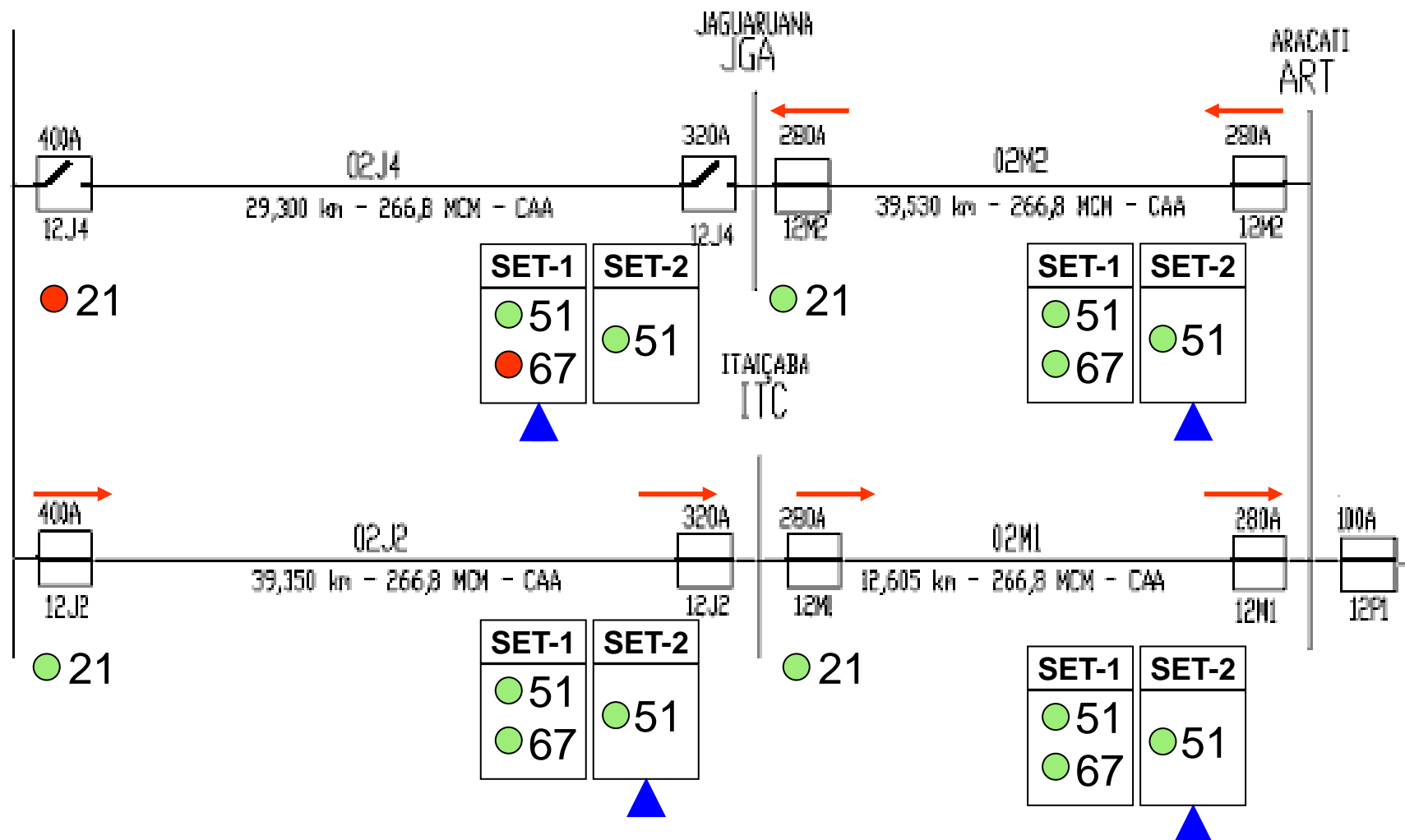
➤ Esquemas de P&C – Relés de sobrecorrente com 2 Grupos de Ajustes:



Fonte: (Silveira, 2014)

P&C de Sistema de Transmissão em Anel

➤ Esquemas de P&C – Relés de sobrecorrente com 2 Grupos de Ajustes:



Fonte: (Silveira, 2014)

Barramentos de Subestações

Barramentos de Subestação

➤ Definição:

- ✓ São **condutores reforçados**, geralmente **sólidos ou tubos** e de **impedância desprezível**.

➤ Função:

- ✓ Definir a configuração do arranjo elétrico da subestação em alta e média tensão.
- ✓ Servem como centros comuns de coleta e redistribuição de circuitos.

➤ Tipos:

- ✓ Barramento simples.
- ✓ Barramento simples seccionados.
- ✓ Barramento principal de transferências.
- ✓ Barramento em anel.
- ✓ Barramento de disjuntor e meio.
- ✓ Barramento duplo.

Barramentos de Subestação

➤ Estruturas de Barramentos:

➤ Estrutura de barramento



Barramento aéreo – Estrutura de Concreto



Barramento aéreo – Estrutura Metálica

➤ Estrutura de barramento



Barramento aéreo – Estrutura de Concreto



Barramento abrigado – Switchgear

Barramento Simples

➤ **Arranjo:**

- Baixo custo, com poucos recursos operacionais, sem recurso de manobra para manutenção e baixa confiabilidade.

➤ **Aplicação:**

- Subestações 69-13,8 kV de pequeno e médio porte.

➤ **Sistema de Proteção e Controle (P&C):**

➤ **Esquema de proteção:**

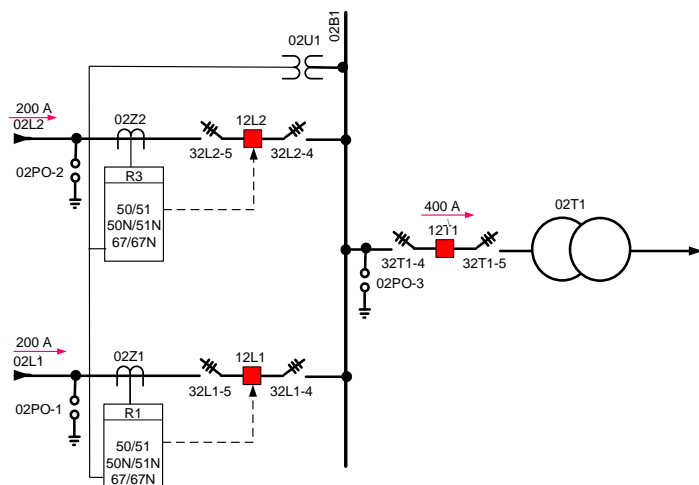
- Depende da filosofia de proteção da empresa
- Predomina uso de relés de sobrecorrente não direcional.

➤ **Esquema de controle:**

- Intertravamentos simples, envolvendo chaves e disjuntores.

P&C de Barramento Simples

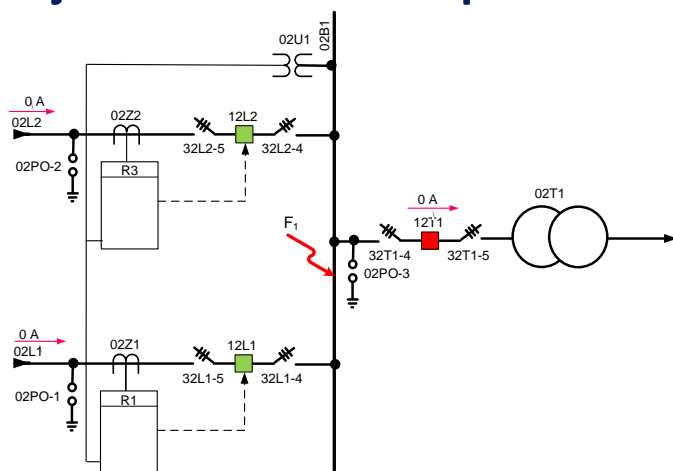
➤ Esquema P&C em condição normal:



Operação normal

- SED suprida pelas LTs 02L1 e 02L2

➤ Arranjo barramento simples em contingência:



Falta F1 na barra 01B1:

- Relé R1 e R3 comandam a abertura dos disjuntores 12L1 e 12L2
- Falta eliminada, desligando todos os consumidores.

LEGENDA



Equipamento NF



Equipamento NA



Simulação de falta

Barramento Simples Seccionado

- **Arranjo:**

- Baixo custo, com poucos recursos operacionais, sem recurso de manobra para manutenção e baixa confiabilidade.

- **Aplicação:**

- Arranjo para instalações 69-13,8 kV de pequeno e médio porte.

- **Sistema de Proteção Automação e Controle (P&C):**

- **Esquema de proteção:**

- Depende da filosofia de proteção da empresa
 - Predomina uso de relés de sobrecorrente não direcional.

- **Esquema de controle:**

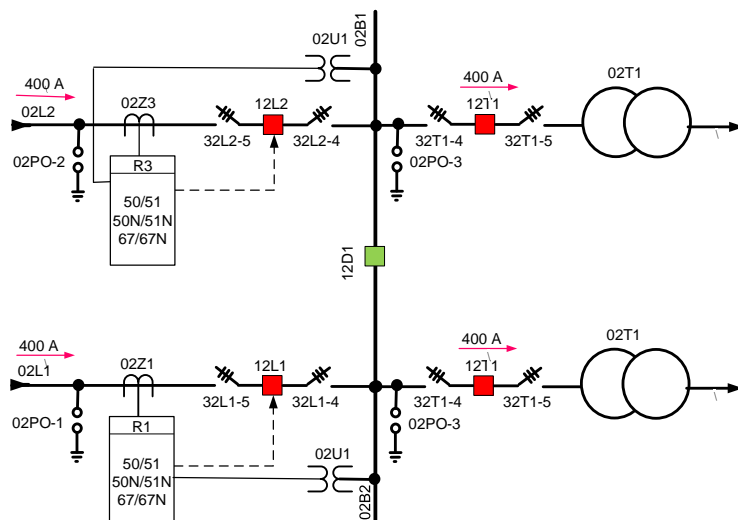
- Intertravamentos simples, envolvendo chaves e disjuntores.

- **Sistema de automação:**

- Poucos dados

P&C de Barramento Simples Seccionado

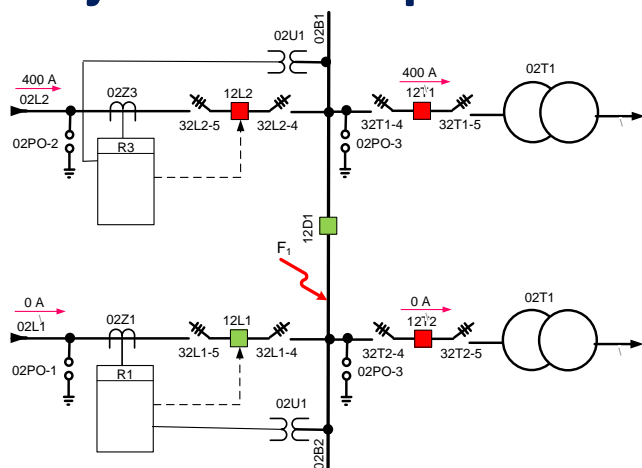
➤ Esquema P&C - barra aberta:



Operação normal

- SED suprida pelas LTs 02L1 e 02L2

➤ Arranjo barra simples aberta seccionada em contingência:



Falta F1 na barra 02B2:

- Relé R1 comanda a abertura do disjuntor 12L1, desenergizando 02B2, 02T2 e todos os consumidores.
- Consumidores supridos por 02B1 continuam com suprimento

LEGENDA



Equipamento NF



Equipamento NA



Simulação de falha

Barramento Principal de Transferência

➤ **Arranjo:**

- Complexa, de custo elevado e flexibilidade operacional para manutenção dos disjuntores dos vários vãos com a manutenção do sistema de proteção.

➤ **Aplicação:**

- Arranjo para instalações de grande porte de 69 kV ou superior.

➤ **Sistema de Proteção Automação e Controle (PAC):**

- **Esquema de proteção com e sem chave de transferência (43):**
- **Esquema de controle:**
 - Intertravamentos complexo, envolvendo chaves de seccionamento e de bay pass, logicas de chave de transferência de proteção, disjuntores principal e de transferência.
- **Esquema de proteção sem chave de transferência:**
 - Mais complexo.

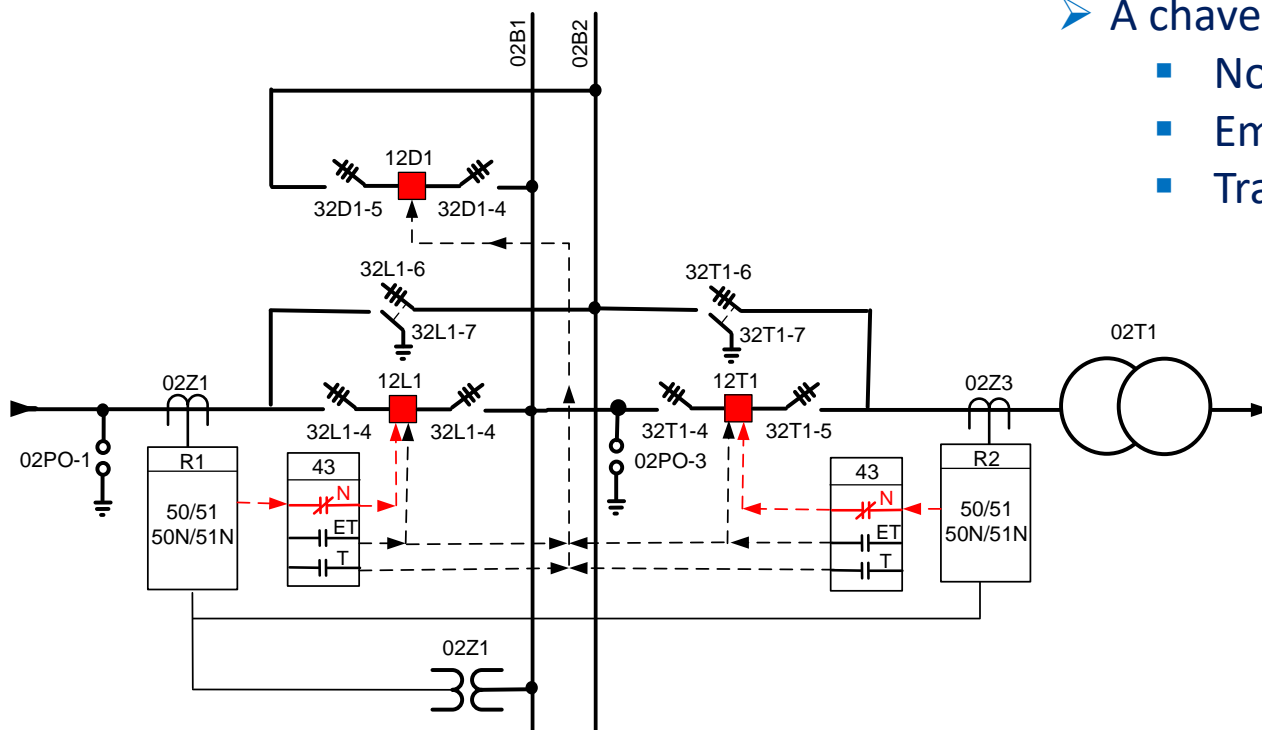
P&C de Barramento Principal de Transferência

➤ Esquema de P&C com chave 43:

- Relé associado ao disjuntor principal e de transferência por meio da chave de transferência, código ANSI 43, ou lógica programável
- Arranjo barra principal e de transferência na condição normal:

➤ A chave 43 assume 3 estados:

- Normal
- Em transferência
- Transferido

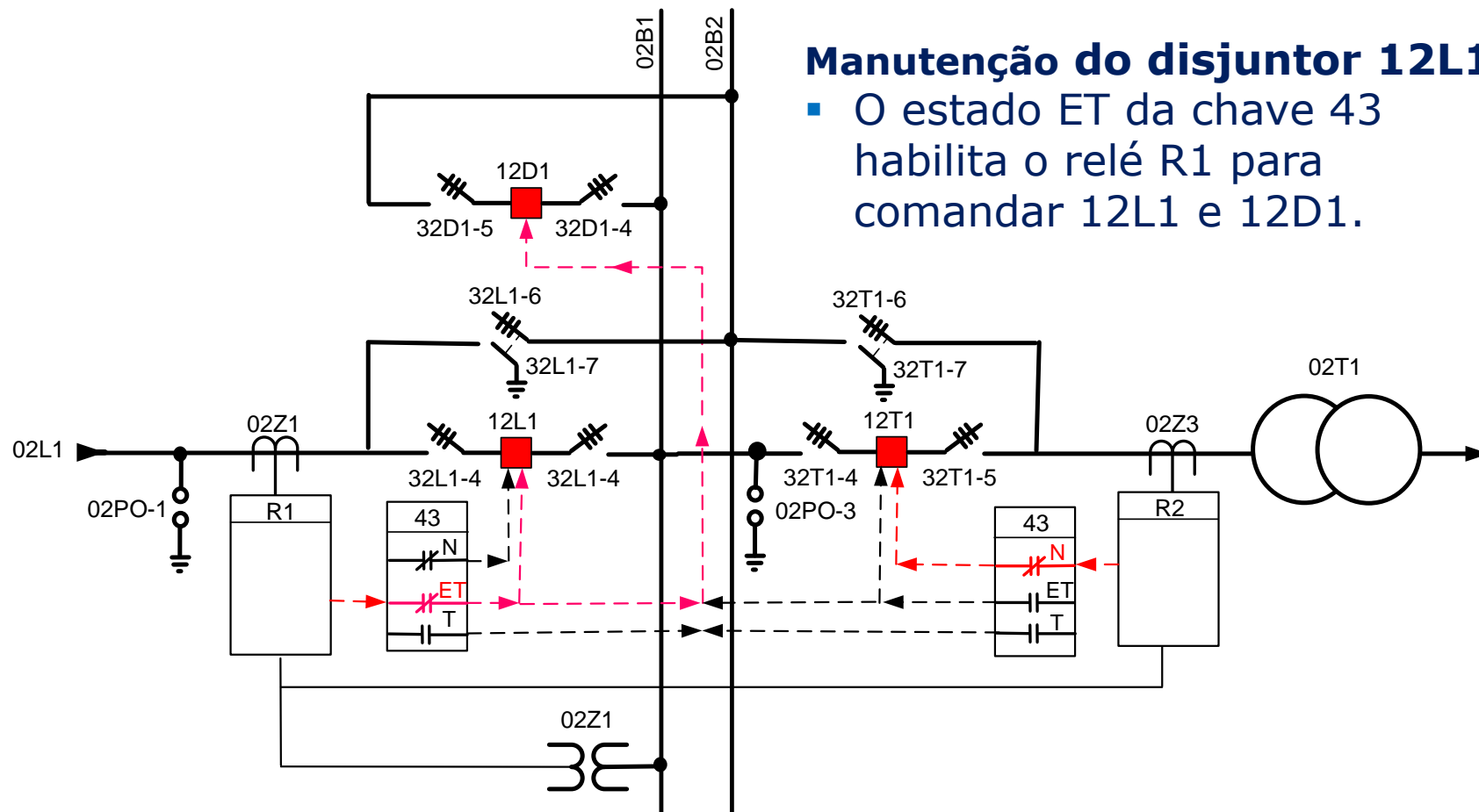


LEGENDA

- Equipamento NF
- Equipamento NA
- Simulação de falta

P&C de Barramento Principal de Transferência

➤ Arranjo barra principal e de transferência em contingência:



Manutenção do disjuntor 12L1:

- O estado ET da chave 43 habilita o relé R1 para comandar 12L1 e 12D1.

LEGENDA



Equipamento NF



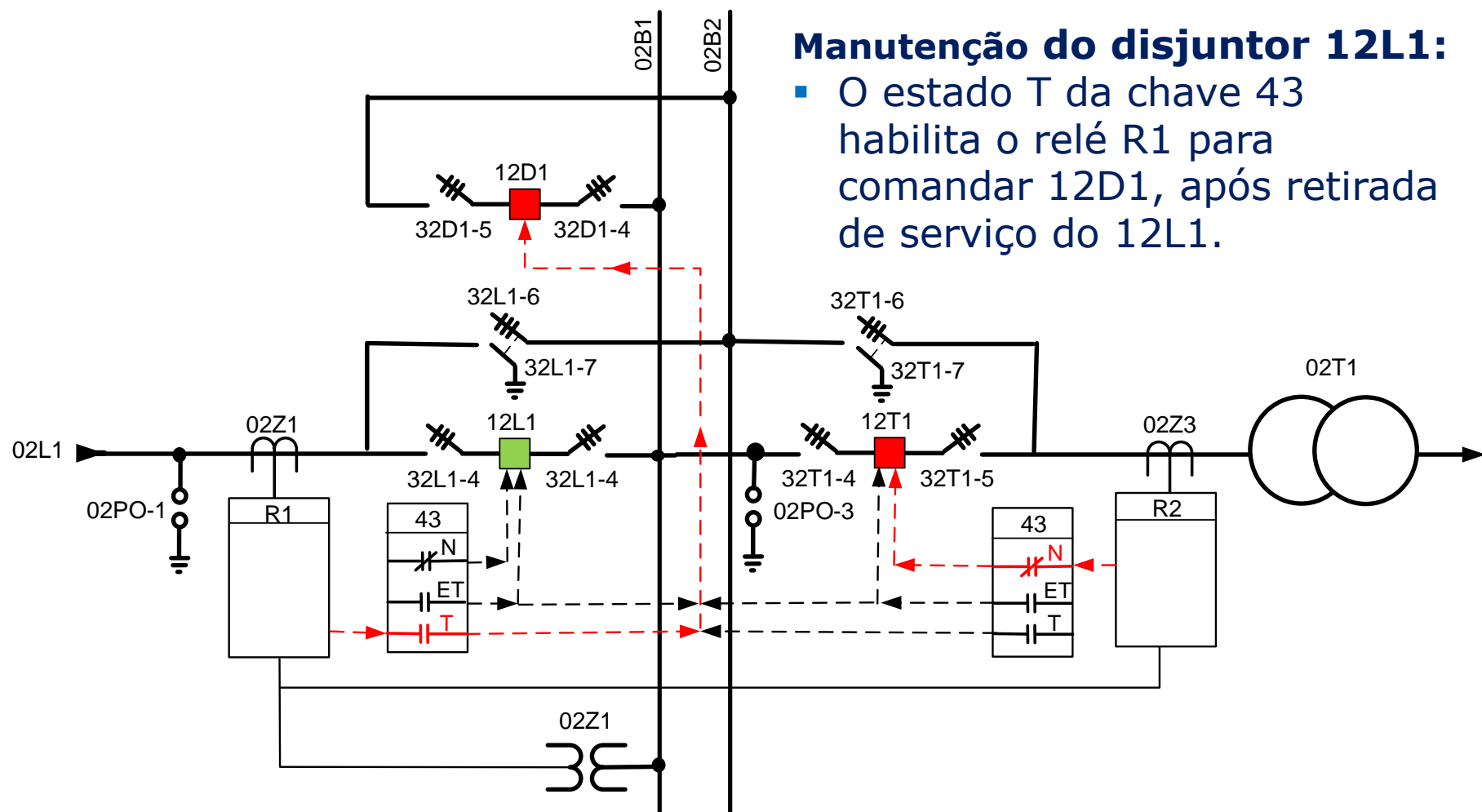
Equipamento NA



Simulação de falta

P&C de Barramento Principal de Transferência

➤ Arranjo barra principal e de transferência em contingência:

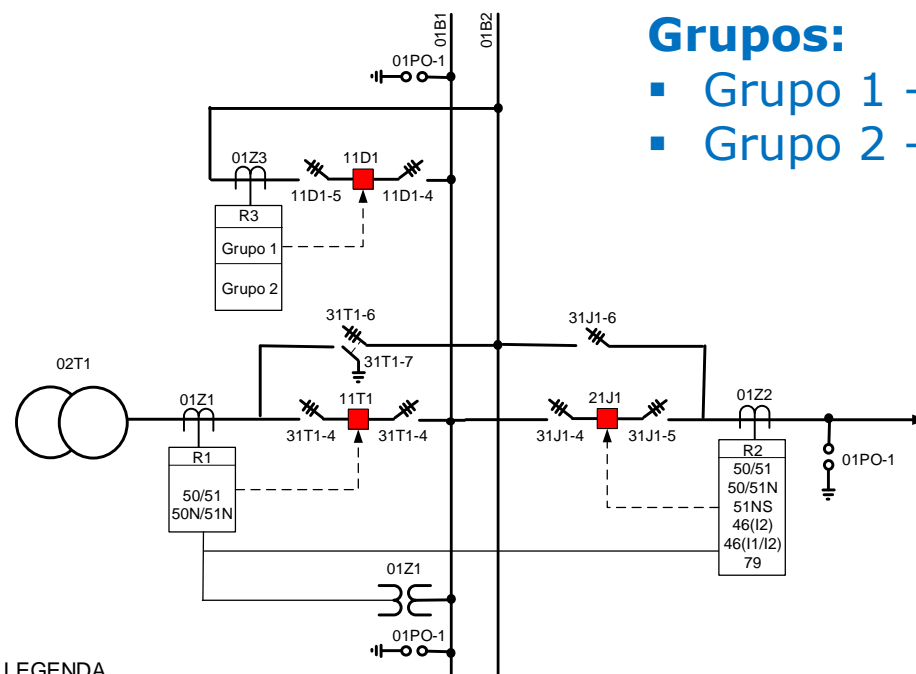


LEGENDA

■ Equipamento NF ■ Equipamento NA ↗ Simulação de falta

P&C de Barramento Principal de Transferência

- Esquema P&C Barramento Principal de Transferência com relé com múltiplos grupos:
 - Relé associado ao disjuntor de transferência com diferentes grupos.
 - Mudança de grupos de ajustes local no relé ou remota no sistema SCADA
- Barramento Principal de Transferência com relé com 2 grupos na condição normal:



Grupos:

- Grupo 1 – manutenção em 21J1
- Grupo 2 – manutenção em 11T1

LEGENDA



Equipamento NF



Equipamento NA



Simulação de falta

➤ **Esquema P&C barramento principal e de transferência na média tensão com relé com dois grupos de ajustes:**



- 11D1 em operação e Relé R3 com grupo 2 ativo.



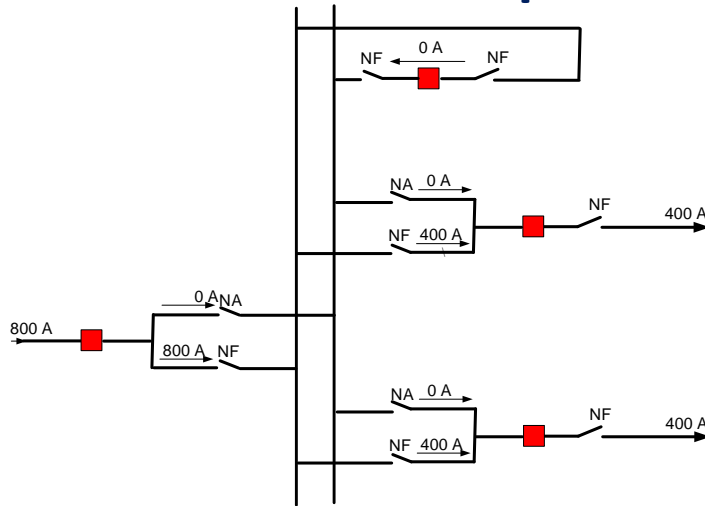
Simulação de falta

Barramento Dublo com Disjuntor de Interligação

- **Arranjo:**
 - Complexa, de custo elevado e flexibilidade operacional para manutenção dos disjuntores dos vários vãos com a manutenção do sistema de proteção.
- **Aplicação:**
 - Arranjo para instalações de grande porte (230 kV) e importante .
- **Sistema de Proteção Automação e Controle (PAC):**
 - **Esquema de proteção:**
 - Complexo
 - **Esquema de controle:**
 - Complexo.

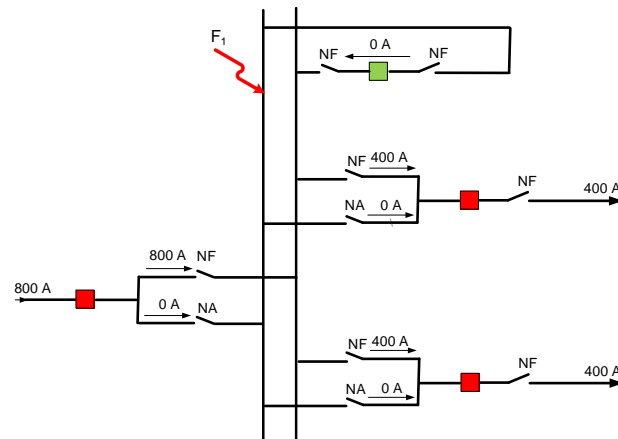
P&C Barramento Dublo com Disjuntor de Interligação

➤ **Esquema P&C barra dupla com Disjuntor de Interligação:**



Condição normal:
Normalmente o disjuntor entre barras é fechado, mantendo a barra 2 com tensão ("quente") e carga dividida entre as barras

➤ **Arranjo barra dupla com Disjuntor de Interligação em contingência:**



LEGENDA

 Equipamento NF

■ Equipamento NA

Simulação de falta

P&C de Barramento Dublo com Disjuntor Duplo

➤ **Arranjo:**

- Complexa, de custo elevado e flexibilidade operacional para manutenção dos disjuntores dos vários vãos com a manutenção do sistema de proteção.

➤ **Aplicação:**

- Arranjo para instalações de grande porte igual ou superior a 230 kV.

➤ **Sistema de Proteção Automação e Controle (PAC):**

➤ **Esquema de proteção:**

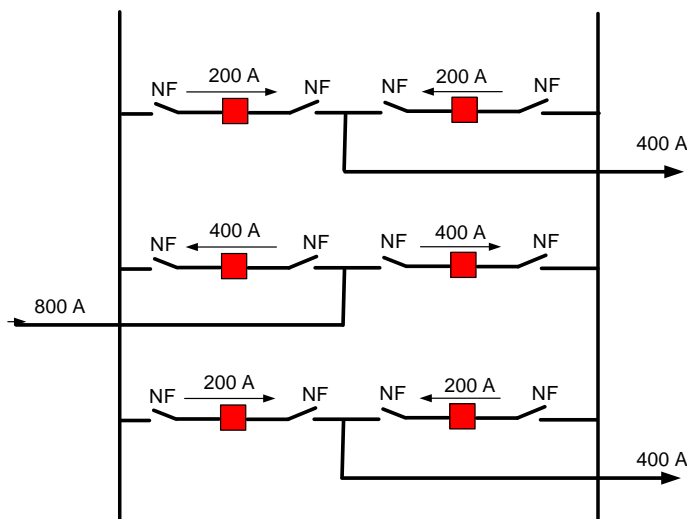
- Cada circuito é protegido por dois ou mais disjuntores.

➤ **Esquema de controle:**

- Complexo.

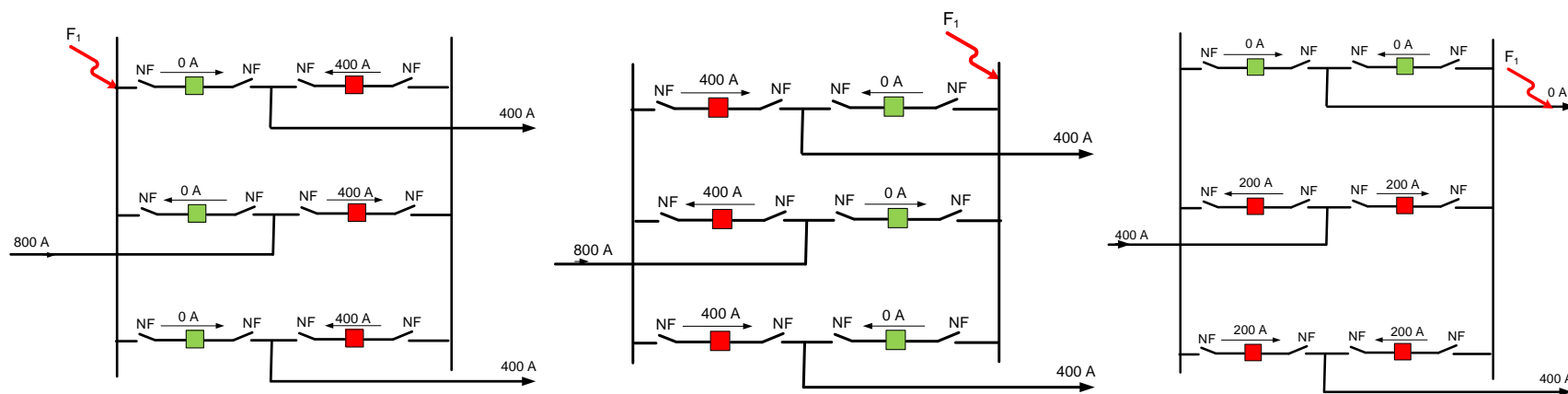
P&C de Barramento Duplo com Disjuntor Duplo

➤ Arranjo Disjuntor e Meio com esquema P&C :



Condição normal:
Cada circuito é protegido por dois ou mais disjuntores.

➤ Arranjo Disjuntor e Meio em contingência:



LEGENDA



Equipamento NF



Equipamento NA



Simulação de falha

Barramento Disjuntor e Meio

➤ **Arranjo:**

- Complexa, de custo elevado e flexibilidade operacional para manutenção dos disjuntores dos vários vãos com a manutenção do sistema de proteção.

➤ **Aplicação:**

- Arranjo para instalações de grande porte igual ou superior a 230 kV.

➤ **Sistema de Proteção Automação e Controle (PAC):**

➤ **Esquema de proteção:**

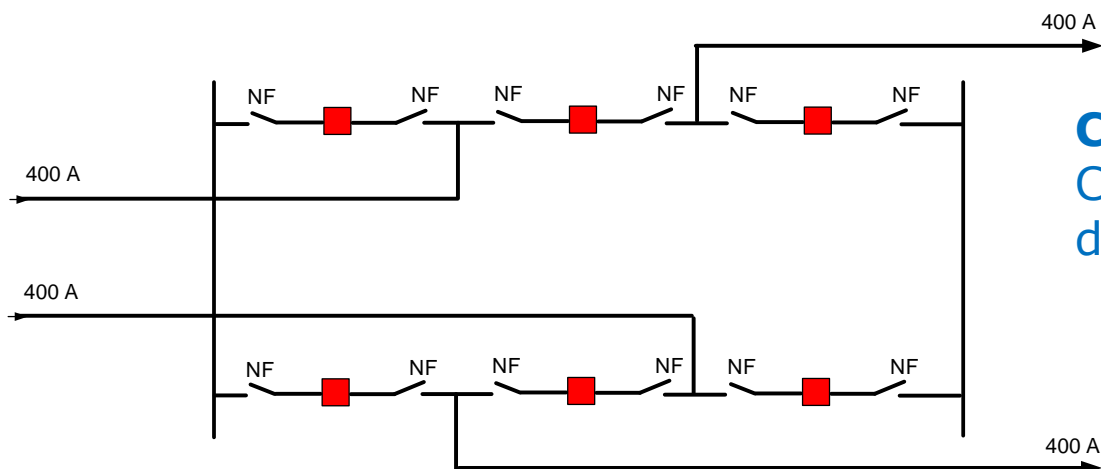
- Cada circuito é protegido por dois disjuntores separados.

➤ **Esquema de controle:**

- Complexo.

P&C de Barramento Disjuntor e Meio

➤ Arranjo Disjuntor e Meio com esquema P&C :



Condição normal:

Cada circuito é protegido por dois disjuntores

LEGENDA



Equipamento NF



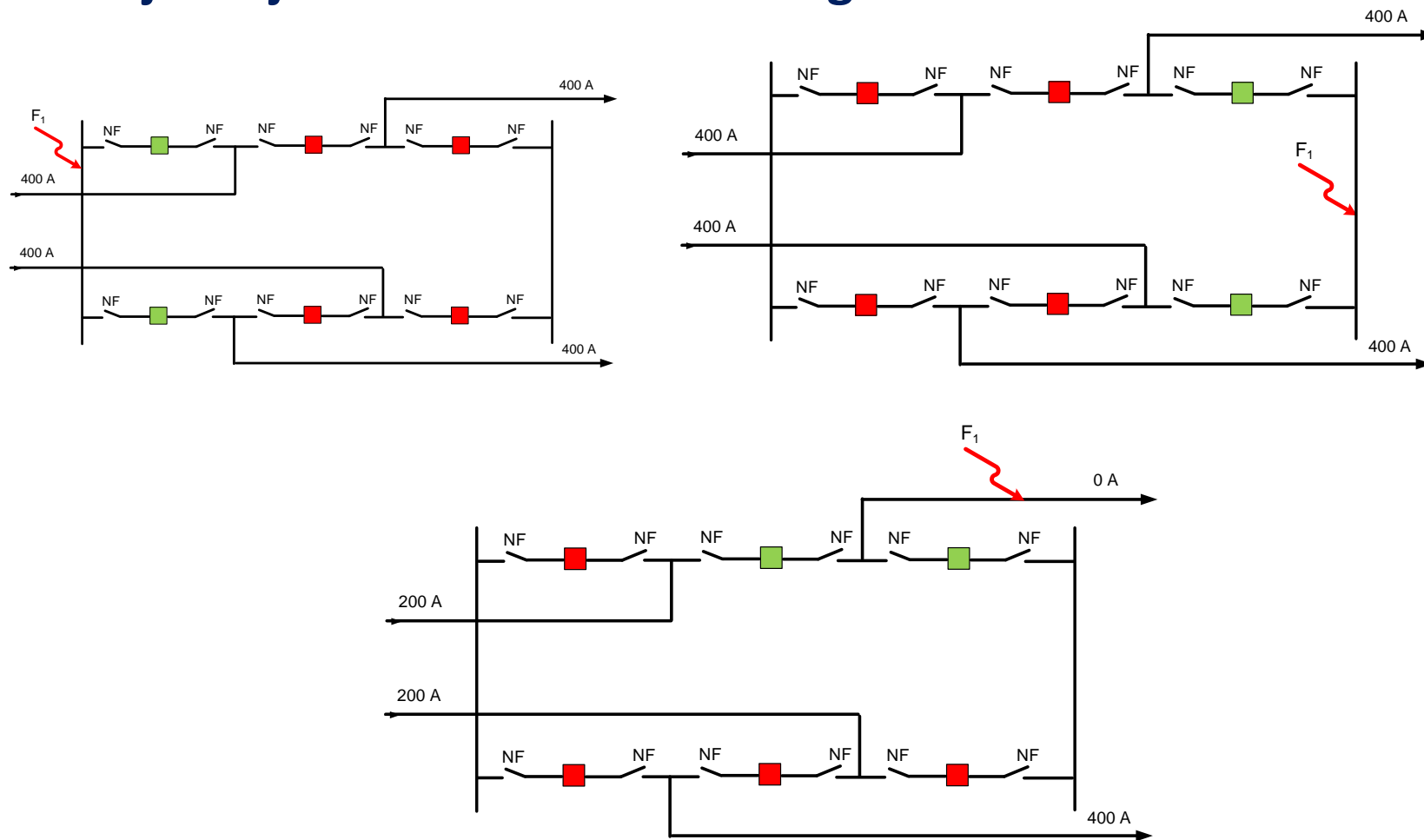
Equipamento NA



Simulação de falta

P&C de Barramento Disjuntor e Meio

➤ Arranjo Disjuntor e Meio em contingência:



LEGENDA



Equipamento NF



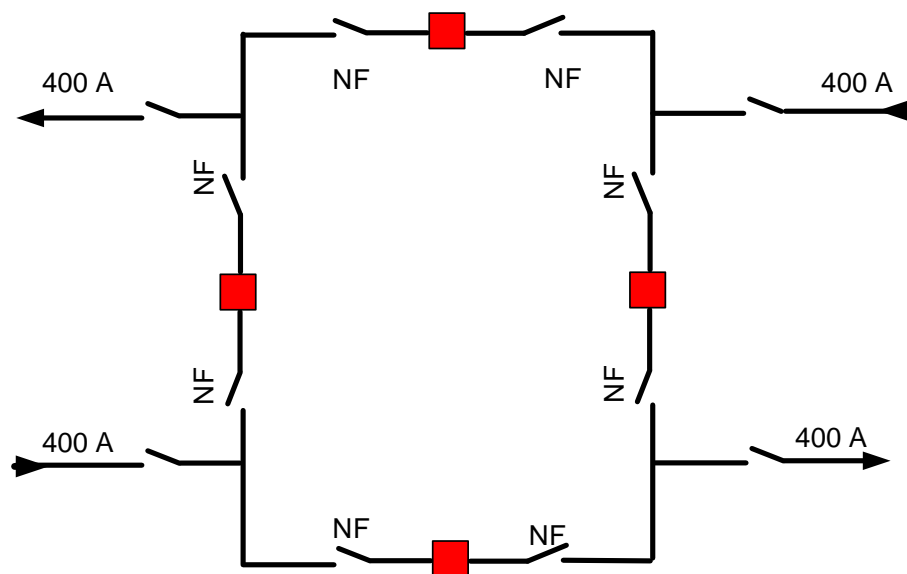
Equipamento NA



Simulação de falta

P&C de Barramento em Anel

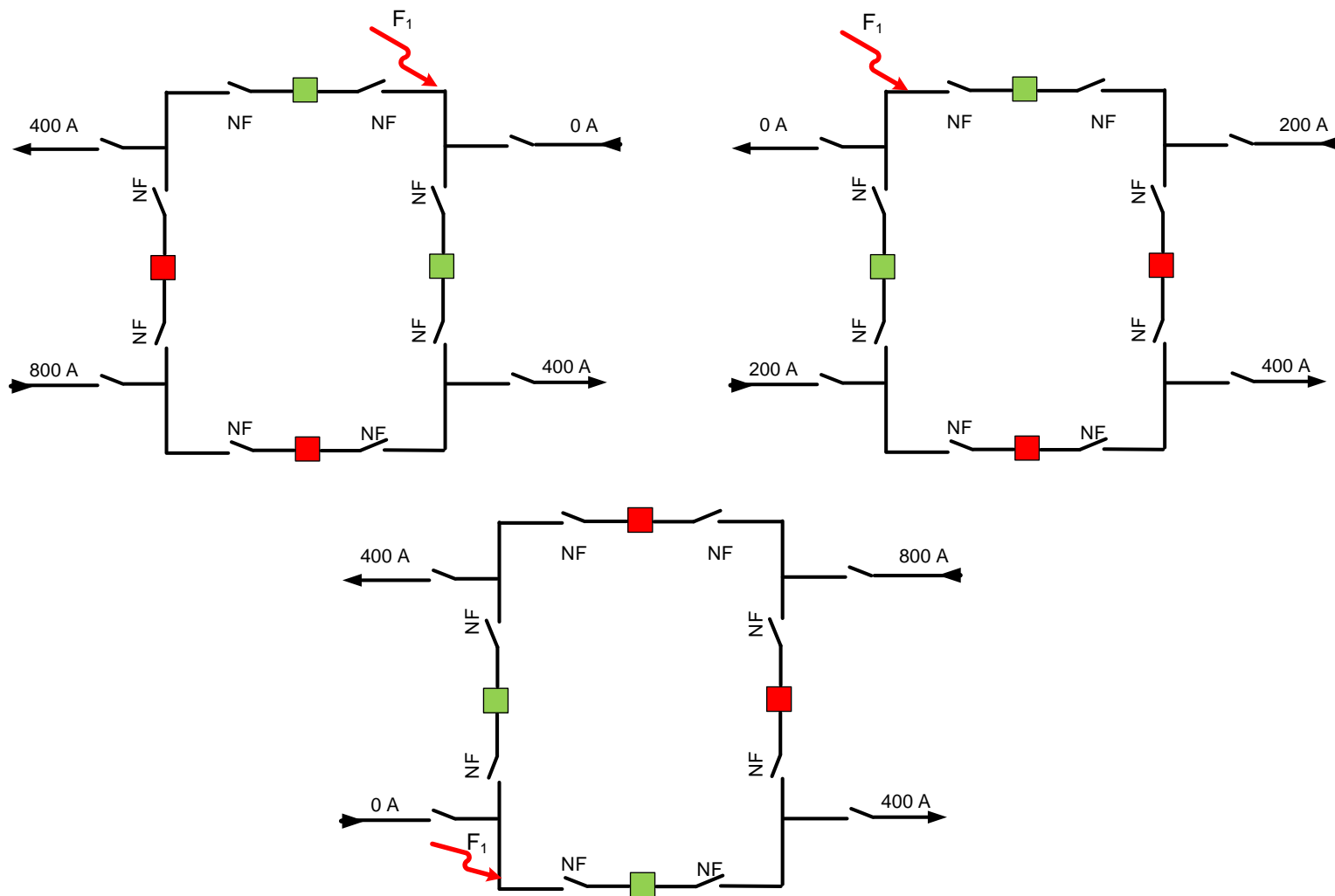
➤ Arranjo Disjuntor e Meio em contingência:



Condição normal:
Cada circuito é protegido
por dois disjuntores

P&C de Barramento em Anel

➤ Arranjo barramento em Anel em contingência:



LEGENDA

■ Equipamento NF ■ Equipamento NA ↗ Simulação de falta

Vão de Transformação de Subestação

Transformadores

➤ Destaques:

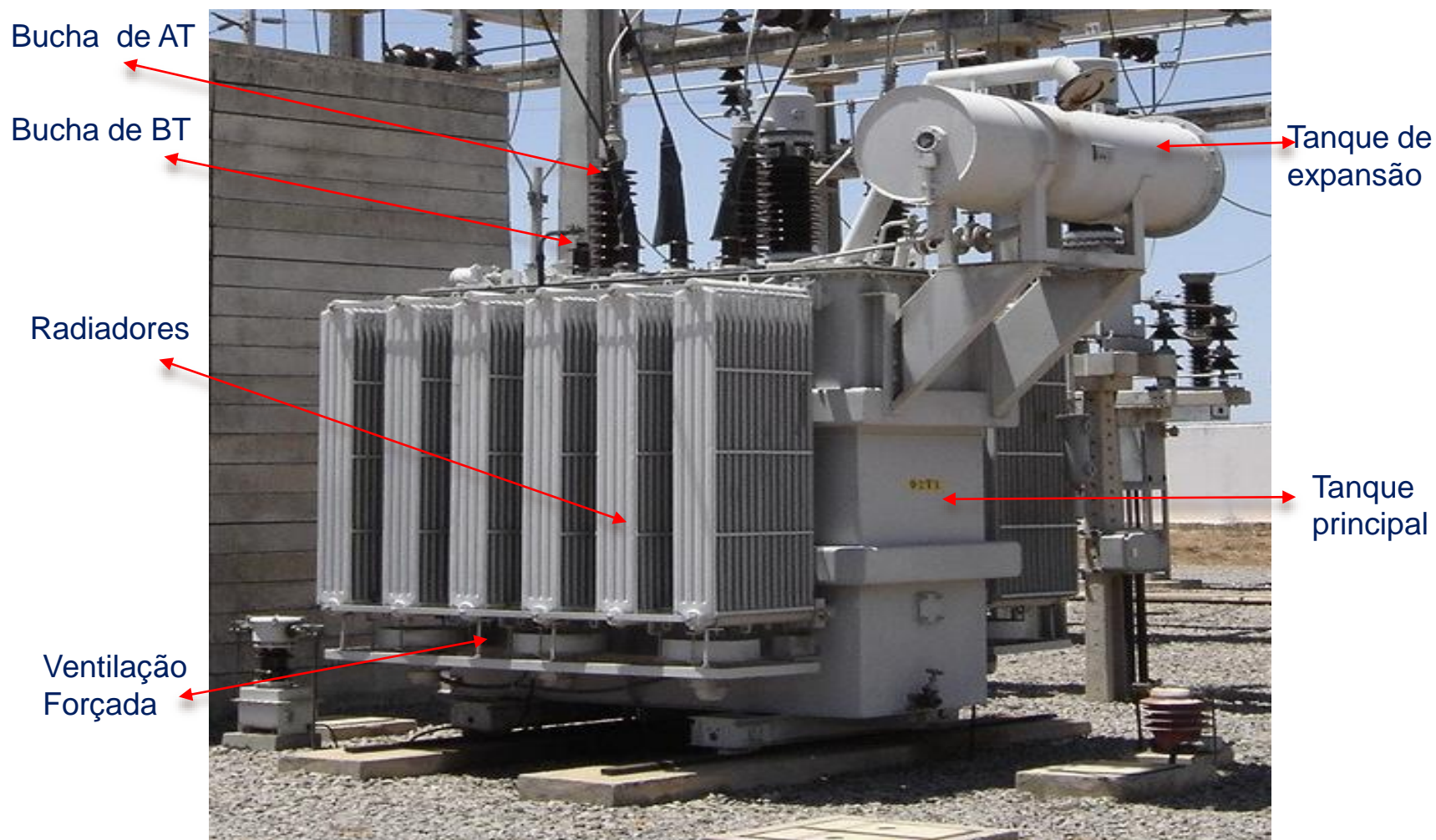
- Equipamento mais caro de uma subestação;
- Falhas podem causar danos irreparáveis
- Retirada de serviço afeta muitos consumidores;
- Tempo de reparo normalmente longo;
- Diferentes tamanhos e tipos:
 - Transformador abaixador;
 - Transformador elevador;
 - Autotransformador;
 - Transformador de aterramento;
 - Transformador de potência;
 - Transformador tipo distribuição.

Transformadores de Potência

- **Sistema de refrigeração de transformadores de potência:**
 - Métodos de resfriamento pode aumentar a potência fornecida a carga.
 - Refrigeração forçada por meio dentiladores:.
 - ONAN/ONAF
 - ONAN/ONAF/ONAF
 - Refrigeração forçada por meio de bombas de circulação de óleo
 - ONAN/OFAF
 - ONAN/ONAF/OFAF

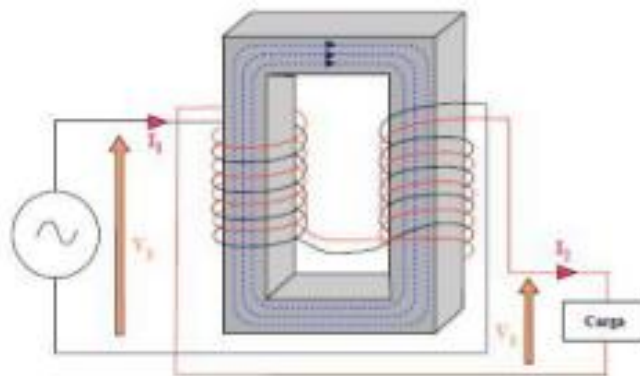
Transformador de Potência

➤ Vão de Transformação

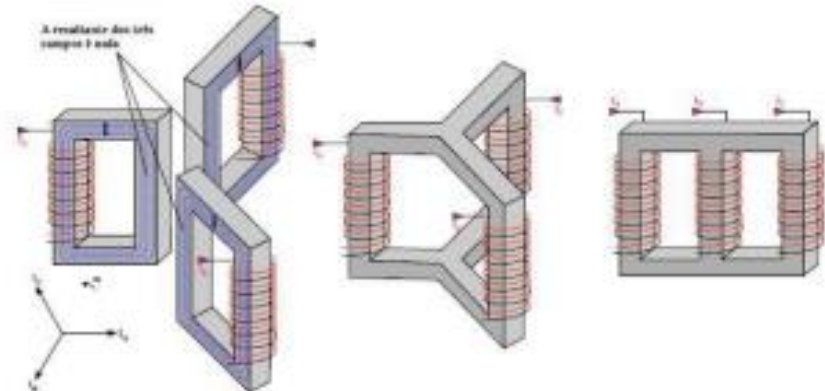


Transformador de Potência

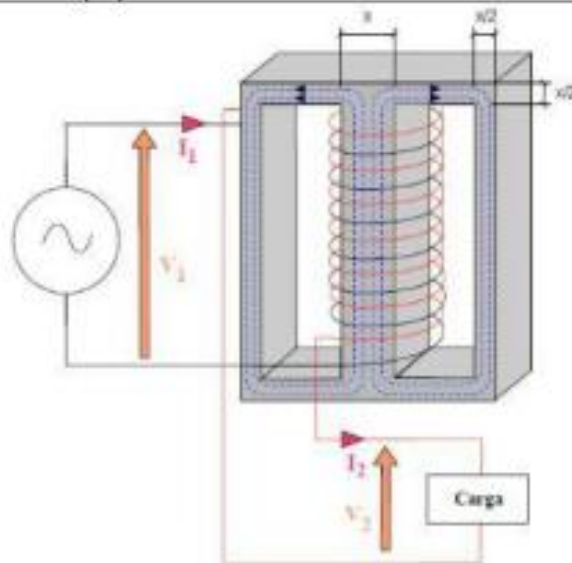
➤ Tipos de Núcleos dos transformadores:



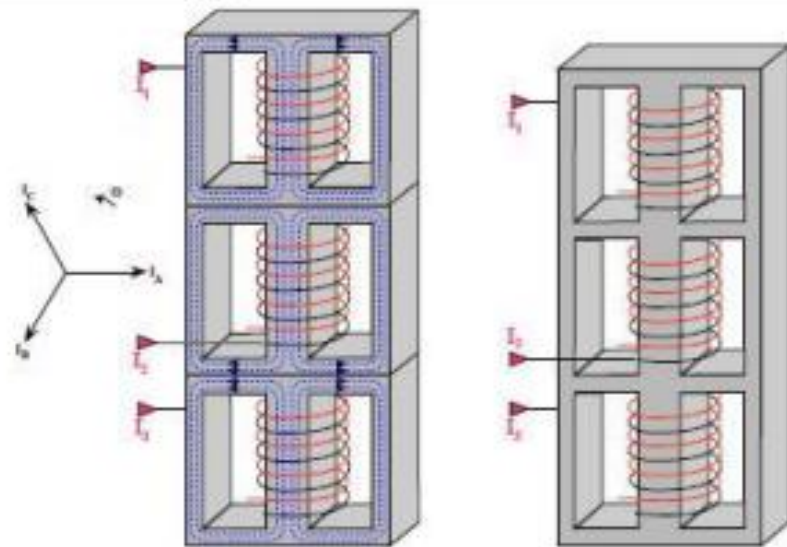
(a) Monofásico envolvido



(b) Trifásico envolvido



(c) Monofásico envolvente



(d) Trifásico envolvente

Transformadores de Potência

➤ Enrolamentos:

➤ São isolados e imersos em óleo.

➤ Funções do Óleo:

❑ **Agente refrigerante** - dissipa calor do núcleo e dos enrolamentos.

❑ **Agente isolante** - impede as falhas entre espiras, isola carcaça dos enrolamentos.

Transformador de Potência

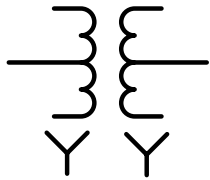
➤ Ligação de transformador trifásicos:

Tabela 16.4 Conexões dos transformadores de corrente para transformadores de potência de vários grupos de vetores						
Conexão do transformador		Rotação de fase do transformador	Vetor ponteiro do relógio	Compensação de fase necessária	Filtro de sequência zero na AT	Filtro de sequência zero na BT
Yy0		0°	0	0°	Sim	Sim
Zd0					Sim	
Dz0						Sim
Dd0						
Yz1	Zy1	-30°	1	30°	Sim	Sim
Yd1					Sim	
Dy1						Sim
Yy6		-180°	6	180°	Sim	Sim
Zd6					Sim	
Dz6						Sim
Dd6						
Yz11	Zy11	30°	11	-30°	Sim	Sim
Yd11					Sim	
Dy11						Sim
YyH	YzH	(H/12) x 360°	Hora 'H'	-(H/12) x 360°	Sim	Sim
YdH	ZdH				Sim	
DzH	DyH					Sim
DdH						

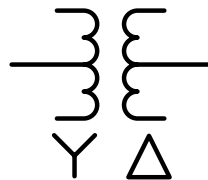
'H': Deslocamento de fase seguindo número do relógio, de acordo com IEC 60076-1

Transformador de Potência

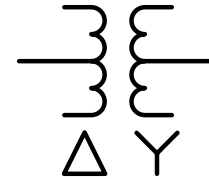
➤ Diferentes ligações dos enrolamentos primário e secundário:



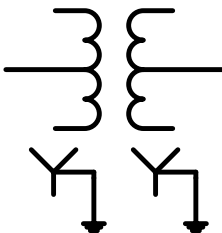
Transformador 2 enrolamentos
Ligação Estrela – Estrela isolados



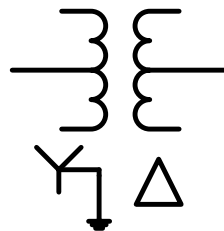
Transformador 2 enrolamentos
Ligação Estrela isolado - Delta



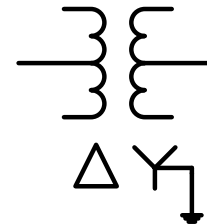
Transformador 2 enrolamentos
Ligação Delta - Estrela isolado



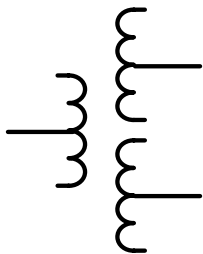
Transformador 2 enrolamentos
Ligação Estrela aterrada – Estrela aterrada



Transformador 2 enrolamentos
Ligação Estrela aterrada - Delta



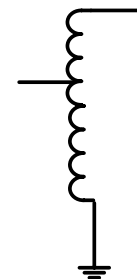
Transformador 2 enrolamentos
Ligação Delta - Ligação Estrela aterrada



Transformador 3 enrolamentos



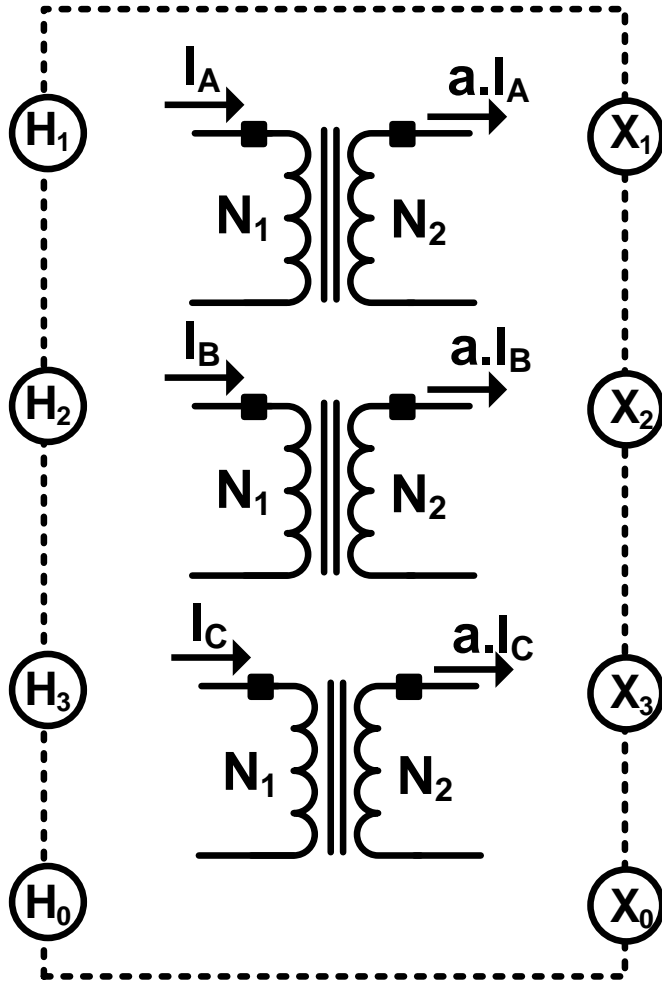
Reator



Autotransformador

Transformador de Potência

➤ Transformador trifásico:



➤ Buchas de alta tensão:

- H_1, H_2, H_3 - fases do sistema A, B e C
- H_0 - neutro

➤ Buchas de baixa tensão:

- X_1, X_2, X_3 - fases do sistema A, B e C
- X_0 - neutro

➤ Buchas do terciário:

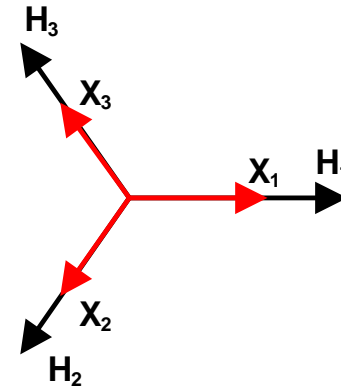
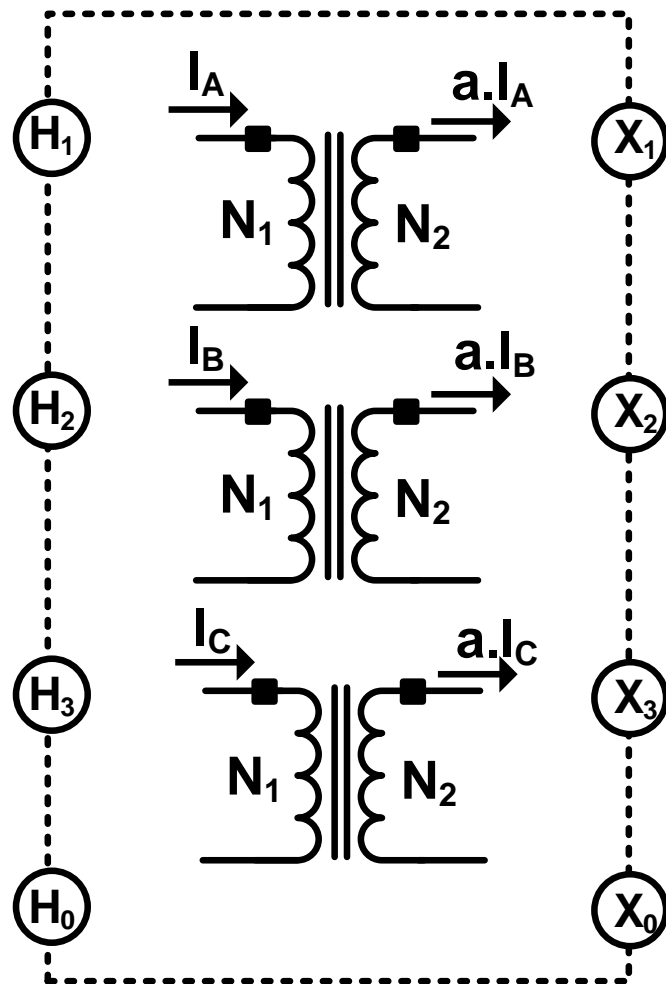
- Y_1, Y_2, Y_3 - fases do sistema A, B e C
- Y_0 - neutro

➤ Relação de transformação (RTT):

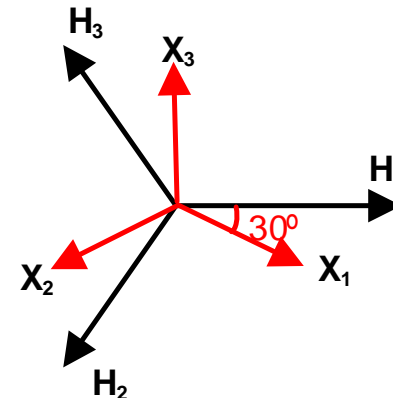
$$a = \frac{N_1}{N_2}$$

Transformador de Potência

➤ Padrão ANSI – Conexões de transformadores trifásicos:



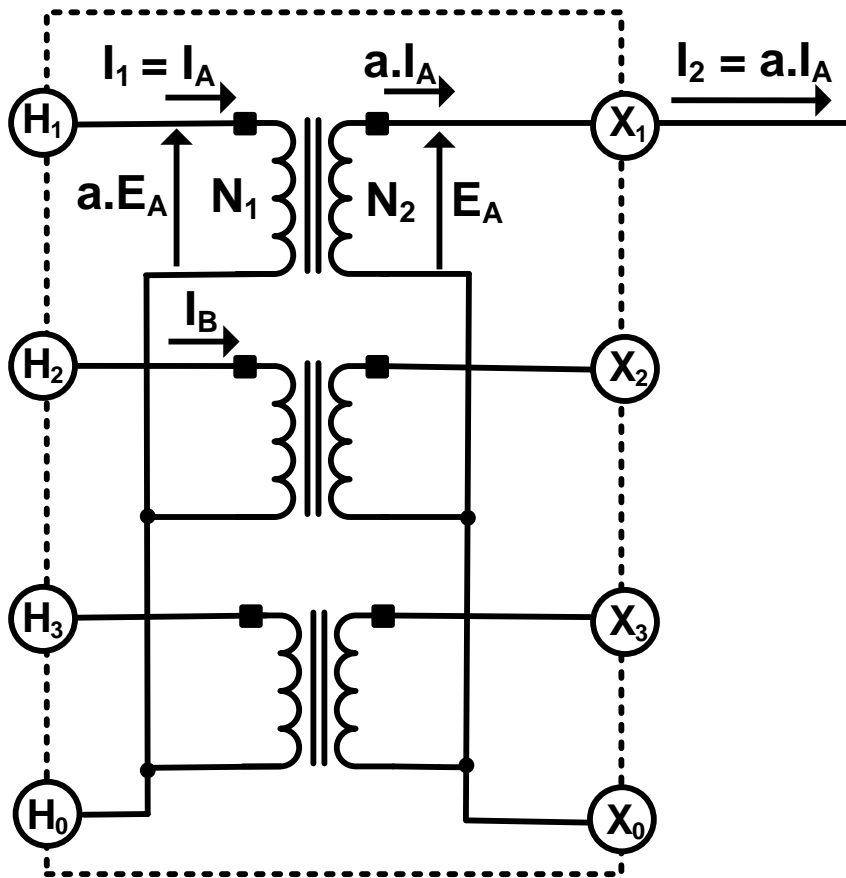
Tensão de referência do lado de AT está em fase com a tensão de referência do lado de BT



A tensão de referência do lado de AT está adiantada de 30° da tensão de referência do lado de BT

Transformador de Potência

➤ Conexões de transformadores trifásicos em Estrela-Estrela (Y-Y):



$$a = \frac{N_1}{N_2}$$

➤ Ligação Y-Y:

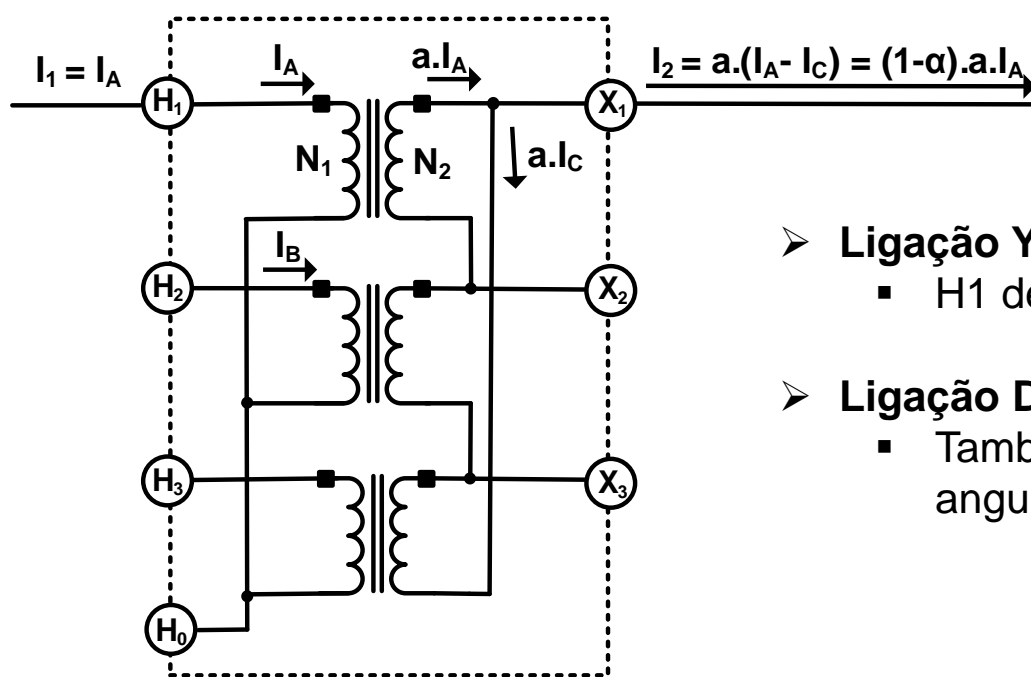
- Deslocamento ou defasamento angular igual a zero.

➤ Ligação Delta-Delta:

- Deslocamento ou defasamento angular também é igual a zero.

Transformador de Potência

➤ Conexões de transformadores trifásicos em Estrela-Delta (Y-Δ):



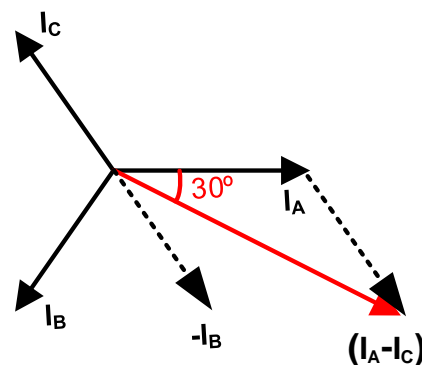
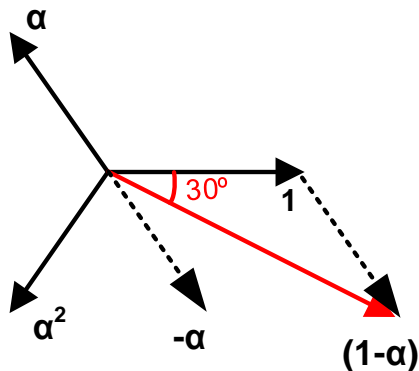
$$a = \frac{N_1}{N_2}$$

➤ Ligação Y-Δ:

- H1 defasado de X1 de 30°

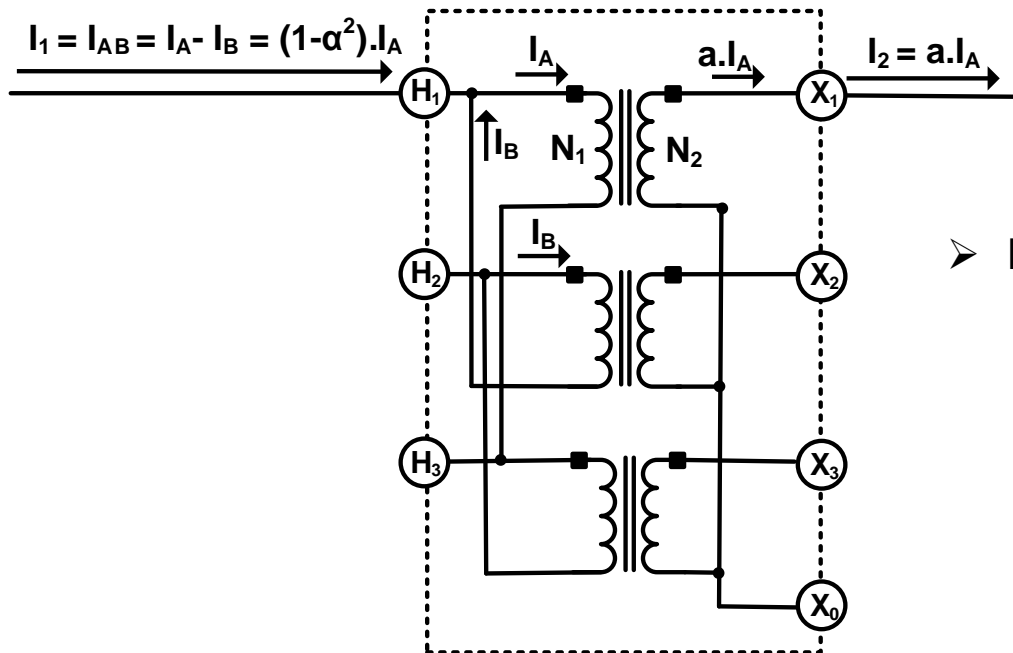
➤ Ligação Delta-Delta:

- Também não tem deslocamento angular



Transformador de Potência

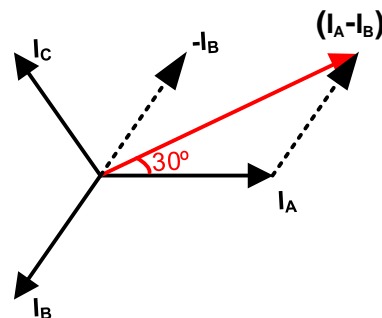
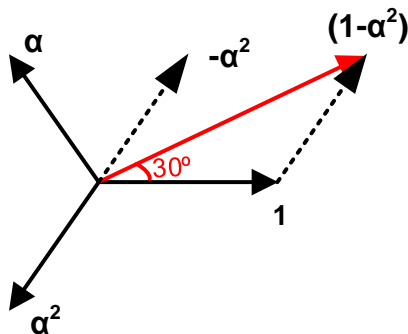
➤ Conexões de transformadores trifásicos em Delta-Estrela:



$$a = \frac{N_1}{N_2}$$

➤ Ligação Δ -Y:

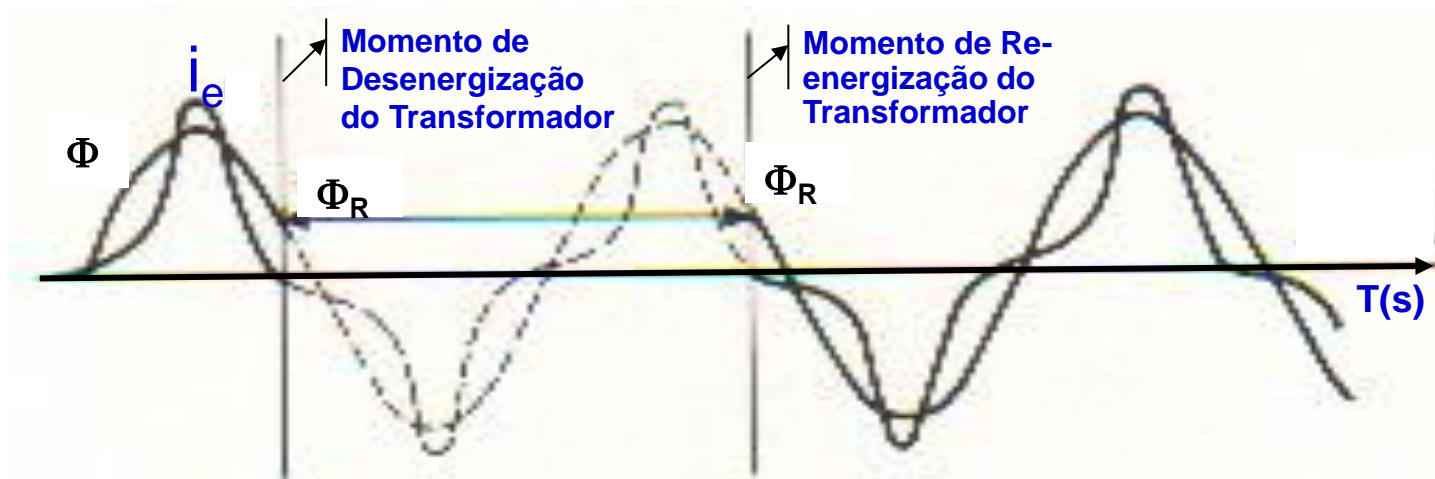
- H1 defasado de X1 de 30°



Transformador de Potência

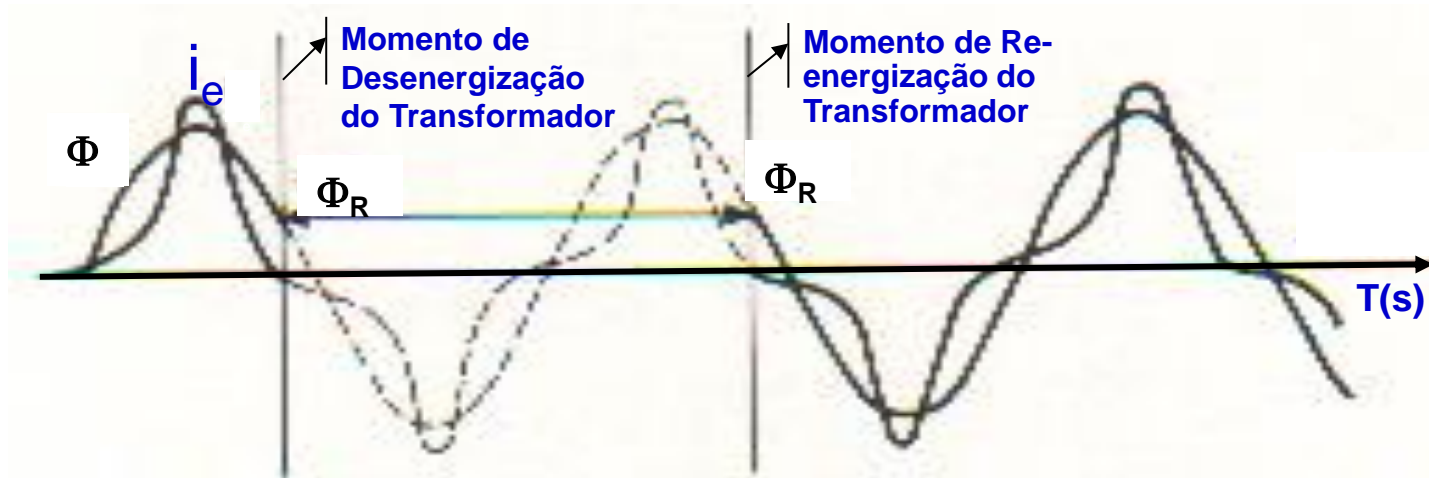
➤ Corrente de Inrush ou magnetização:

- ✓ Ocorre na energização e após a eliminação de uma falta, quando a corrente primária retorna ao seu valor nominal.
- ✓ Magnitude entre 8 a 30 vezes a corrente nominal.
- ✓ Duração: 100 ms.



Transformador de Potência

➤ Corrente de Inrush – Condição inicial ideal:

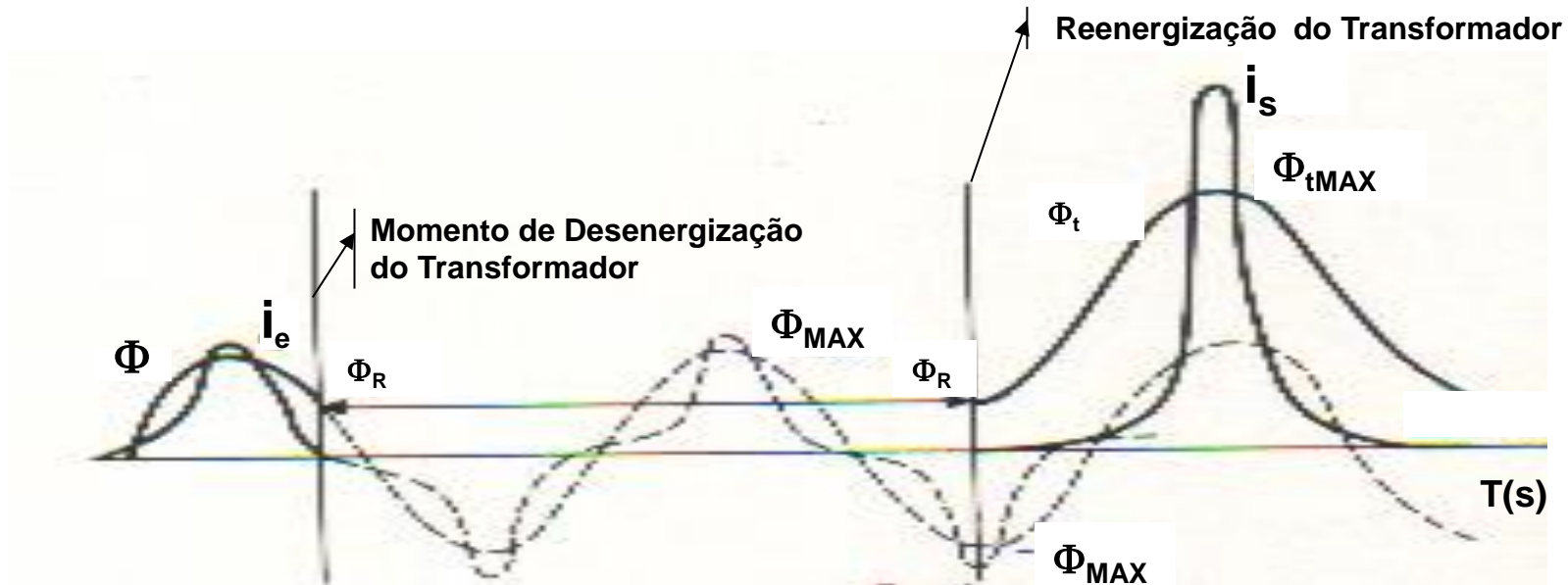


Analizando o gráfico observa-se:

1. Na desenergização a corrente de magnetização cai a zero e o fluxo cai a um valor residual Φ_R .
2. Se a energização ocorre no instante em que a forma de onda da tensão corresponde a densidade magnética residual no núcleo não ocorrerá transiente magnético.

Transformador de Potência

➤ Corrente de Inrush – Condição inicial real (prática):



Analizando o gráfico observa-se que:

1. Na prática, não é possível controlar o momento do chaveamento e o transiente de magnetização é praticamente inevitável.
2. Se a energização ocorre no instante em que o fluxo atinge o valor máximo negativo (Φ_{MAX}), o fluxo residual terá um valor positivo.

P&C do Vão Transformador de Potência

Relés de Proteção

VÃO	Proteção	TIPO	FUNÇÕES DE PROTEÇÃO
Conexão de AT	Retaguarda	Relé de sobrecorrente	50/51; 50N/51N; 50/62BF
		Chave fusível	-
		Chave de aterramento rápido	-
Vão de Transformador	Interna ao Transformador	Relé de gás	63
		Válvula de alívio de pressão	63A
		Pressão do óleo do CDC	80
		Relé de temperatura do enrolamento	49
		Temperatura do óleo	26
		Nível do óleo	71
	Externa ao Transformador	Relé diferencial	87
		Relé de sobrecorrente de terra	51G
		Relé de Carcaça	64
	Auxiliar	Relé de bloqueio	86

P&C do Vão Transformador de Potência

➤ Relés de Proteção - Proteções intrínsecas:

- ✓ É o conjunto de dispositivos de proteção integrados aos equipamentos.



relés de gás



Relé Detector de Defeito de Selagem



válvulas de alívio de pressão



Secador de ar



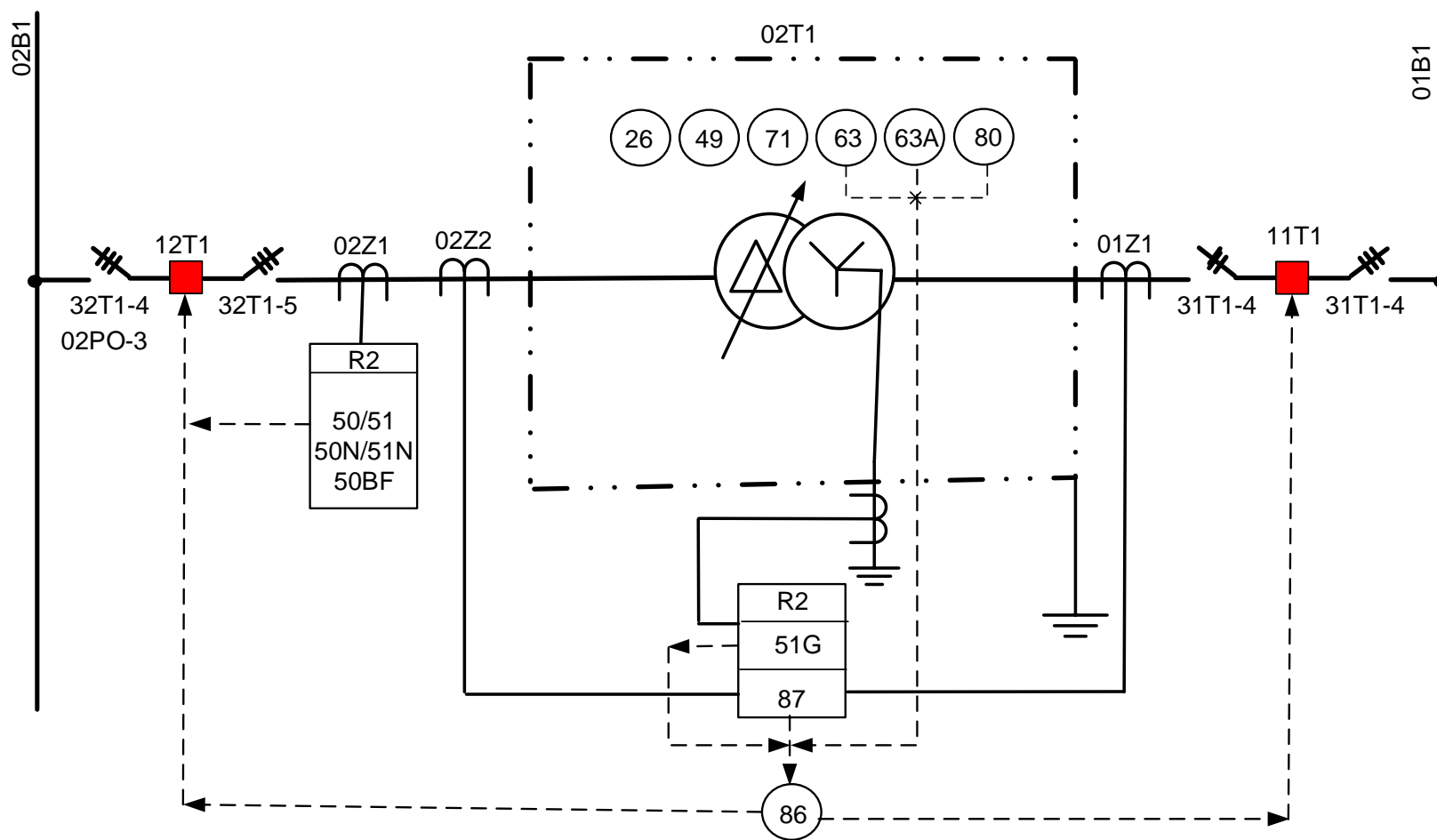
Indicador de Nível do Óleo



Relé de temperatura

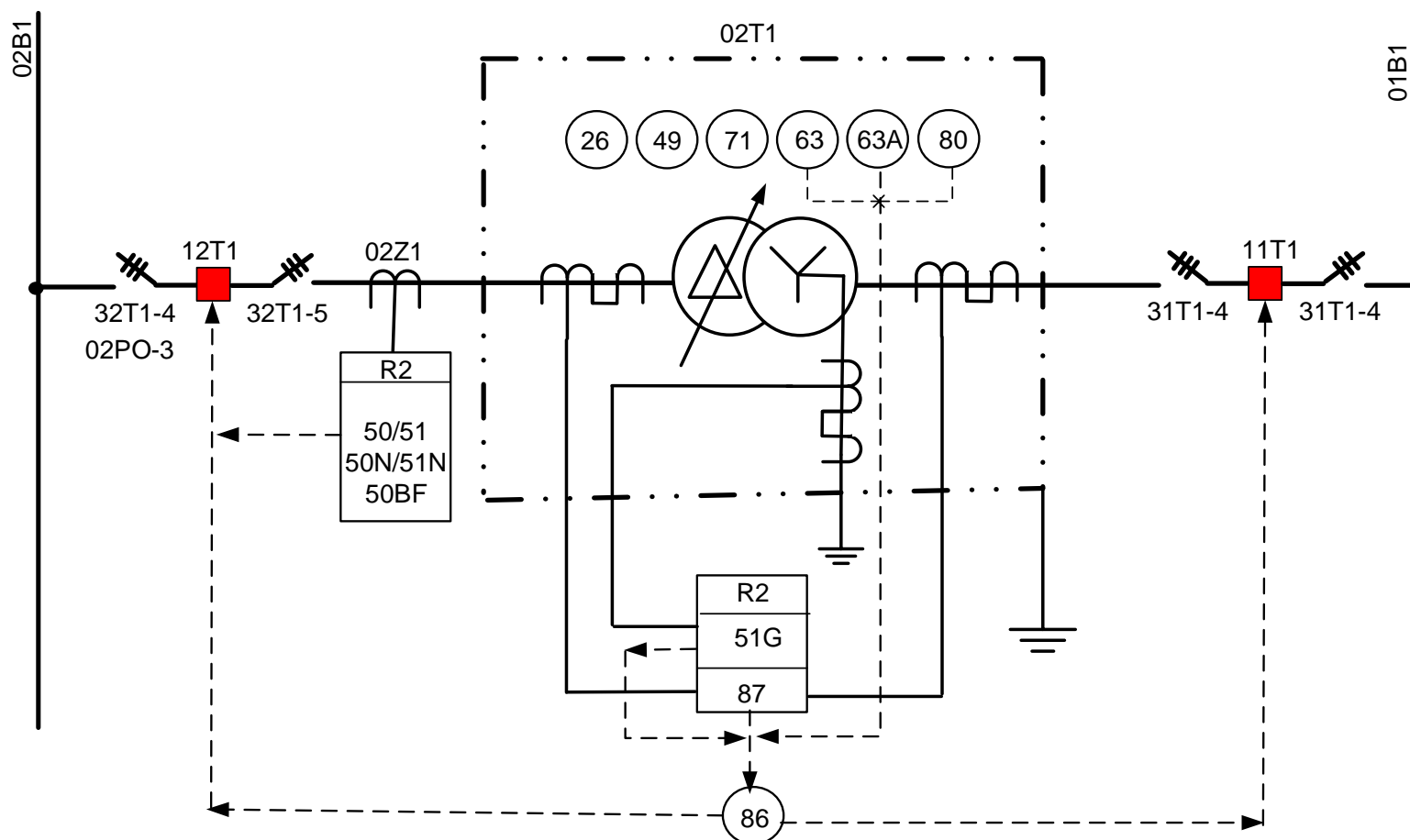
P&C do Vão do Transformador de Potência

- **Esquema de P&C do Transformador de potência:**
 - Esquema de proteção com proteção intrínseca, relé de diferencial e proteção de retaguarda



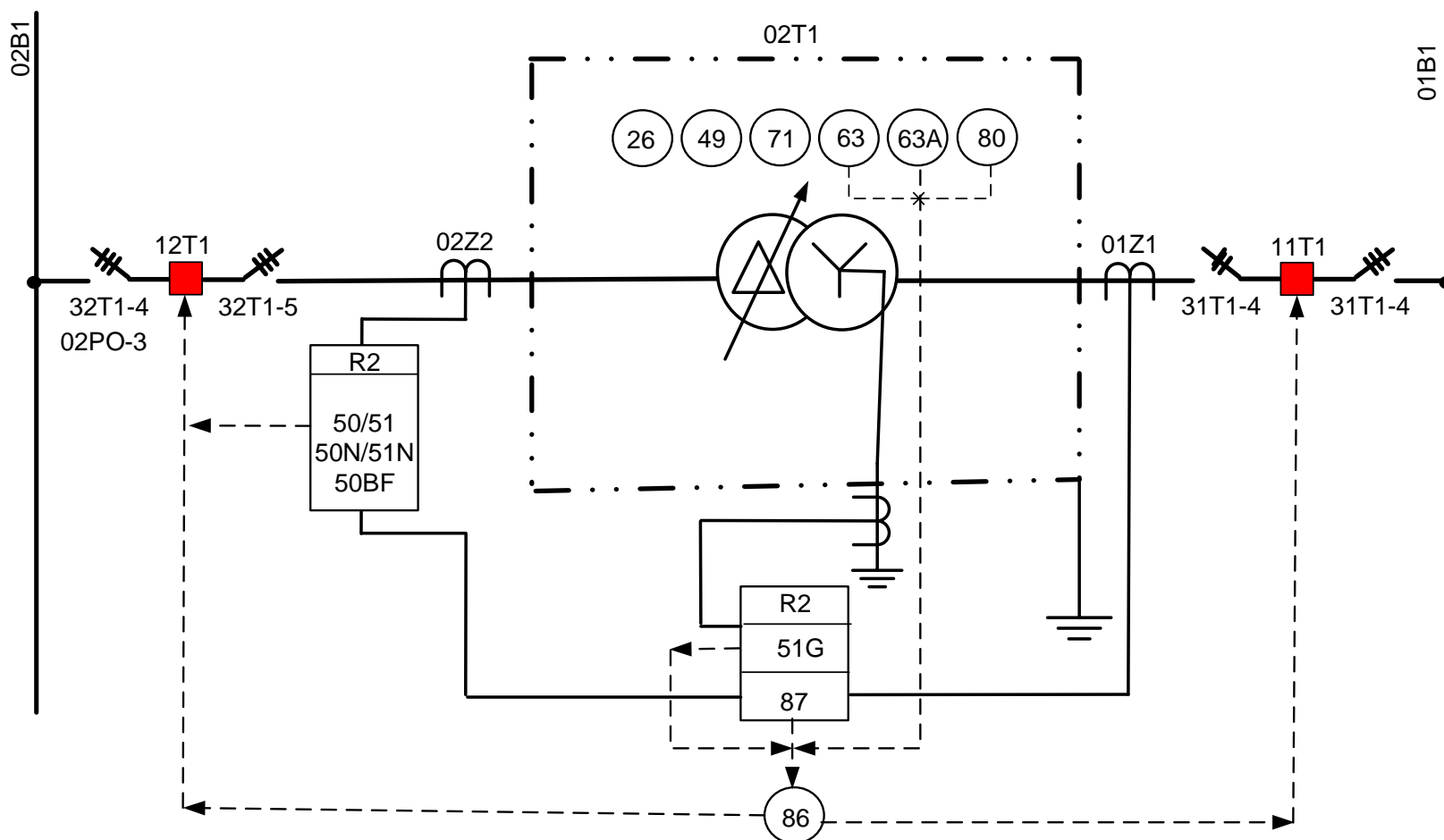
P&C do Vão do Transformador de Potência

- **Esquema de P&C do Vão de Transformação:**
 - Esquema de proteção com proteção intrínseca, relé de diferencial e proteção de retaguarda.



P&C do Vão do Transformador de Potência

- **Proteção do Transformador de potência:**
 - Esquema de proteção com proteção intrínseca, relé de diferencial e proteção de retaguarda

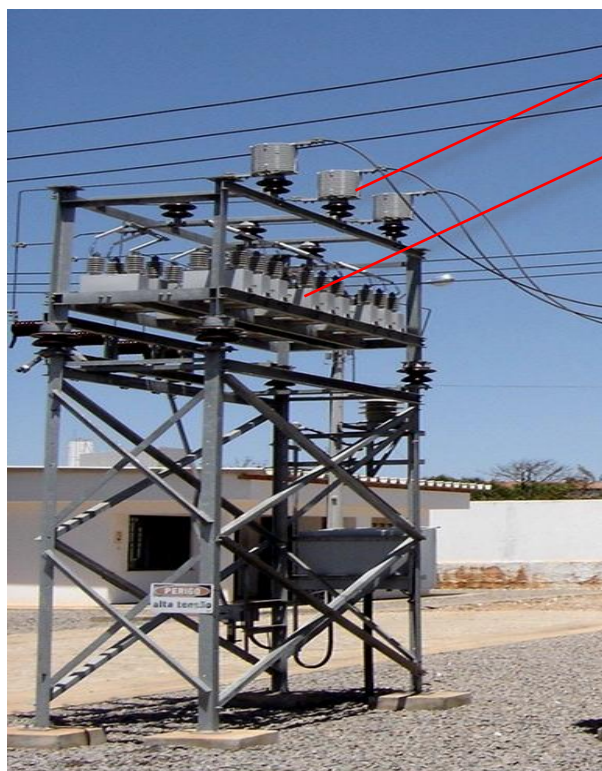


Vão de Banco de Capacitores

P&C do Vão do Banco de Capacitores

➤ Regulação de tensão:

- ✓ Banco de capacitores
- ✓ Regulador de tensão
- ✓ Transformador com Comutador de Derivação sob Carga (CDC)



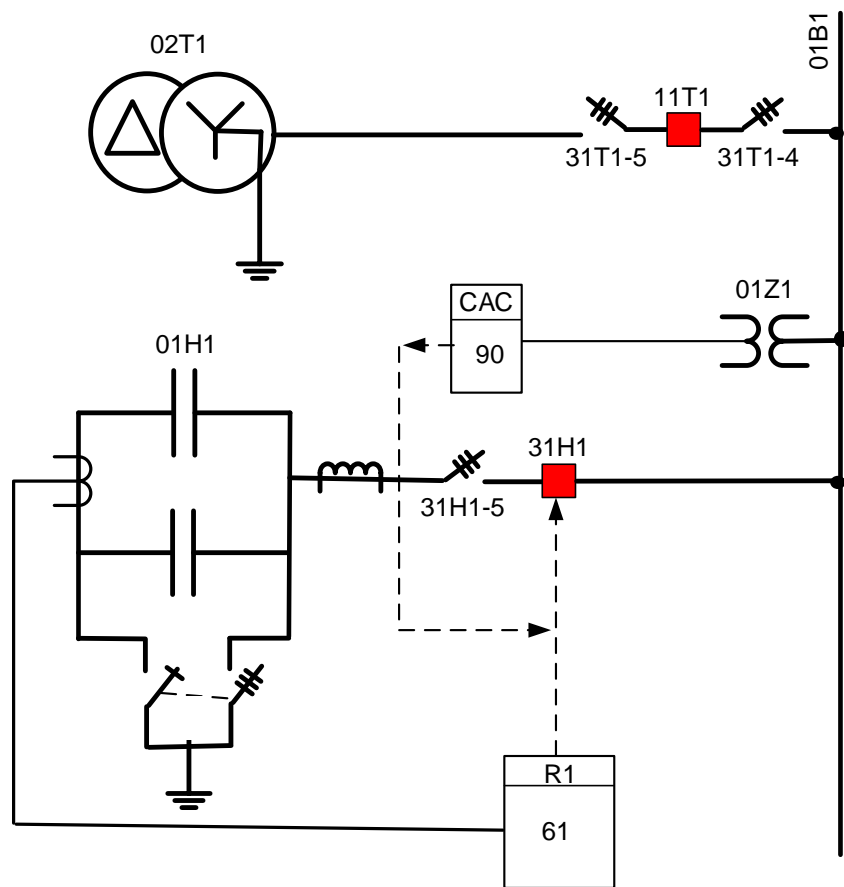
Reator

Células
Capacitivas

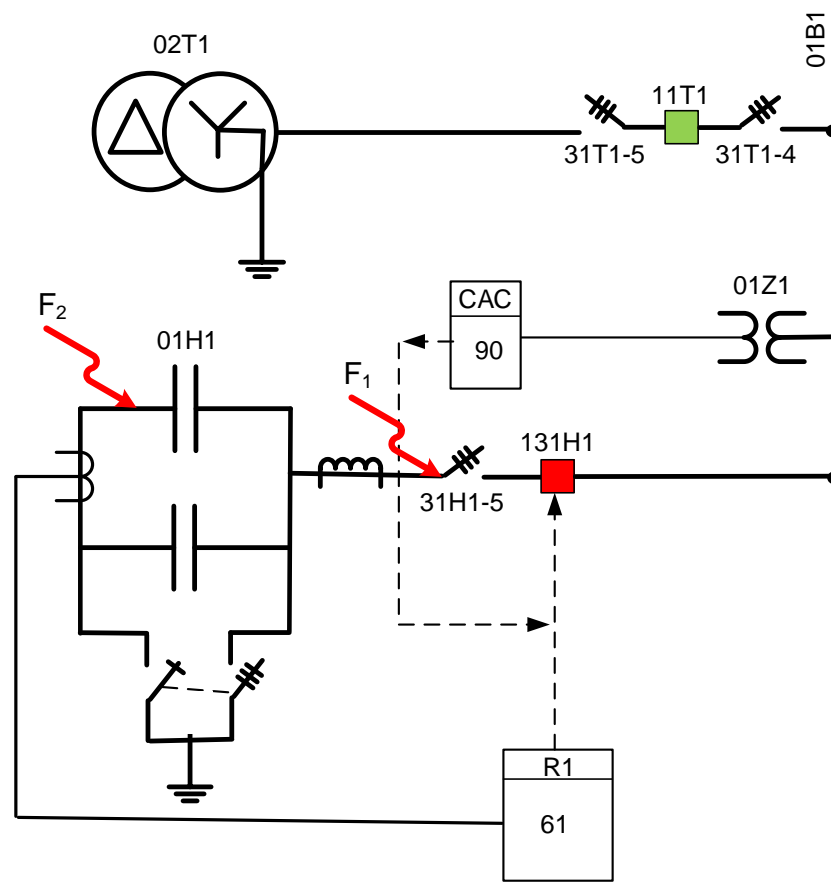
- Relé de sobrecorrente de desequilíbrio de corrente para banco de capacitores: 61.
- Relé de Sobrecorrente + Desequilíbrio: 50/51, 50/51N, 50/51NS, 46, 27, 59, 50BF, 61

P&C do Vão do Banco de Capacitores

- Esquema P&C vão do banco de capacitores com chave a óleo:



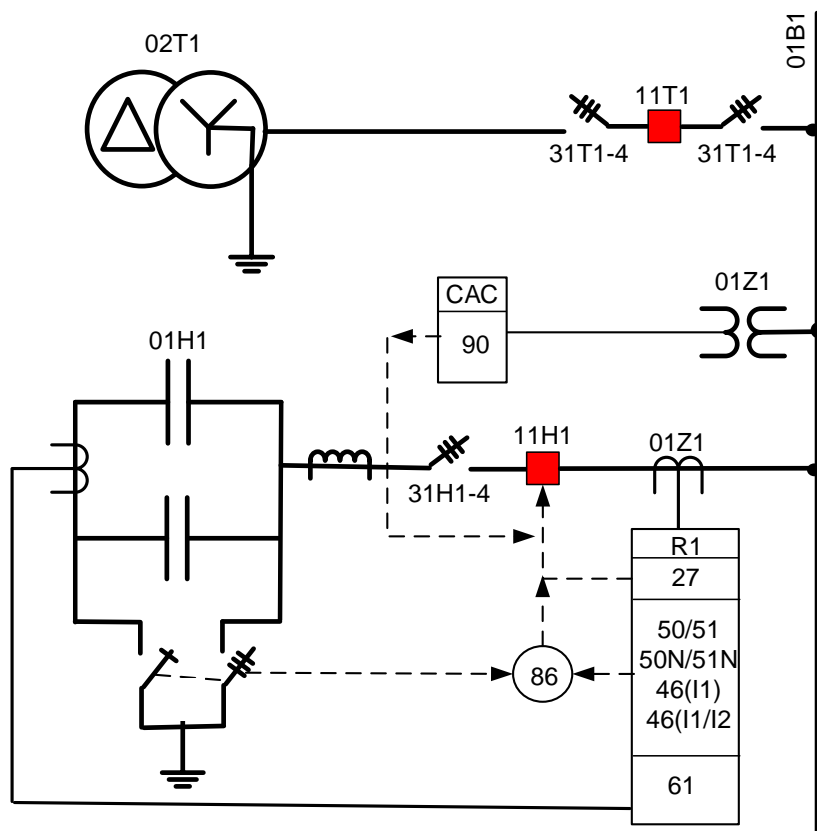
BC em operação normal



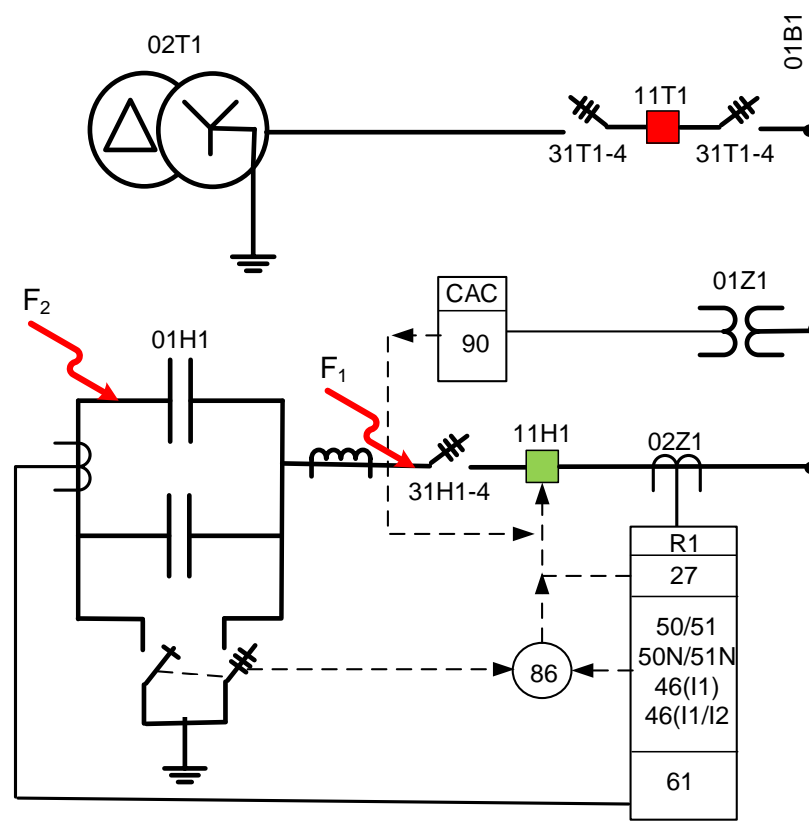
BC em contingência

P&C do Vão do Banco de Capacitores

- Esquema P&C vão do banco de capacitores com disjuntor:



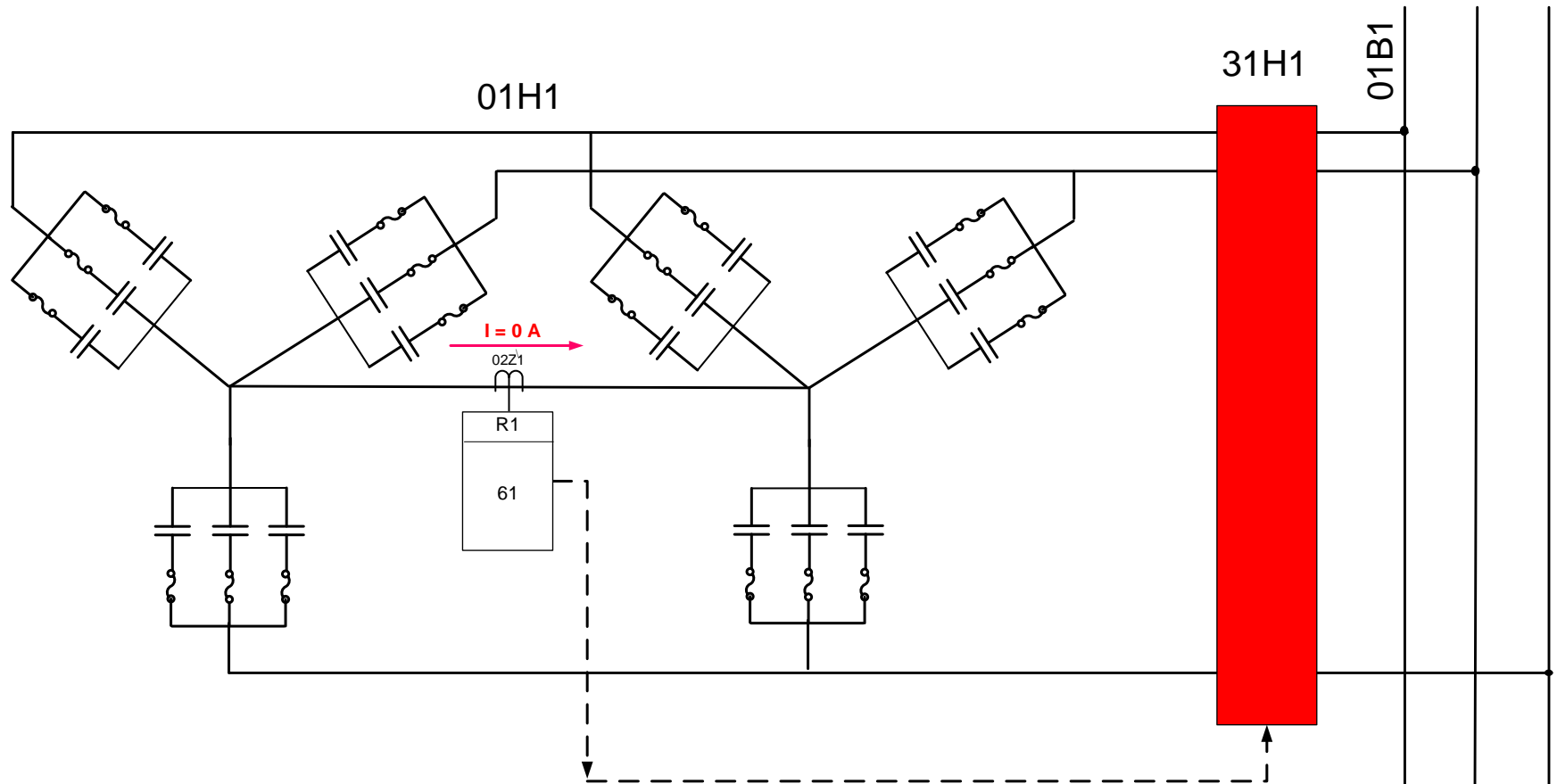
BC em operação normal



BC em contingência

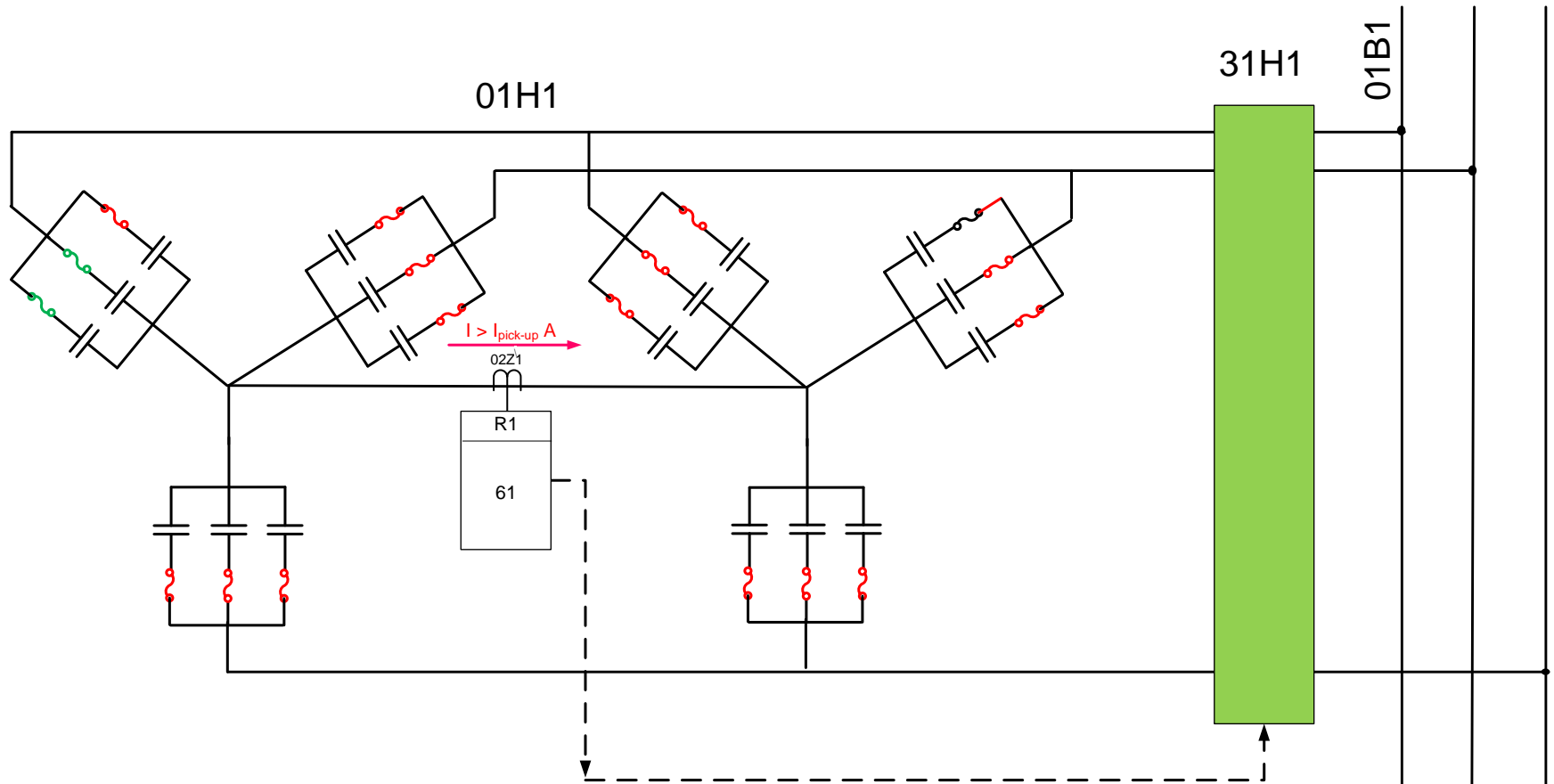
P&C do Vão do Banco de Capacitores

- Esquema P&C vão do banco de capacitores com disjuntor:



P&C do Vão do Banco de Capacitores

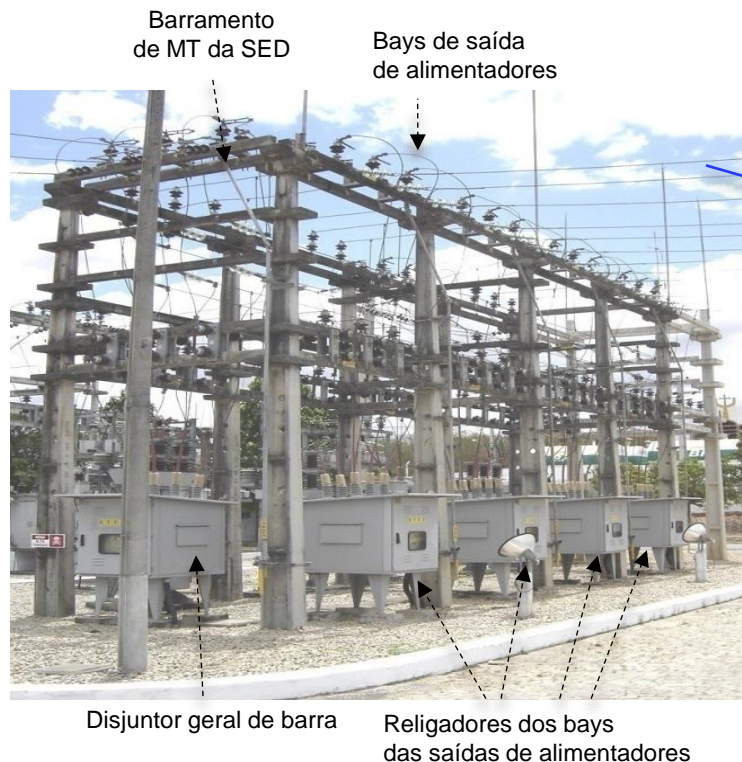
- Esquema P&C vão do banco de capacitores com disjuntor:



Vão de Saída de Alimentadores de MT da SE

P&C do Vão do Banco de Capacitores

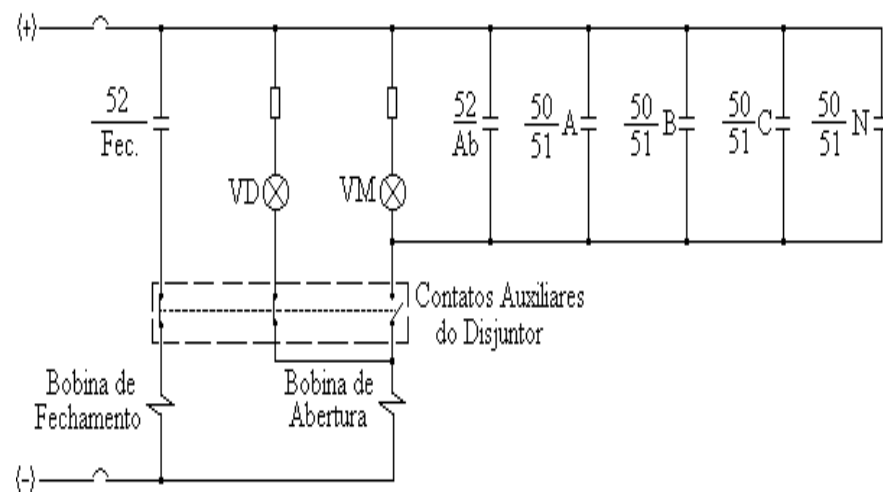
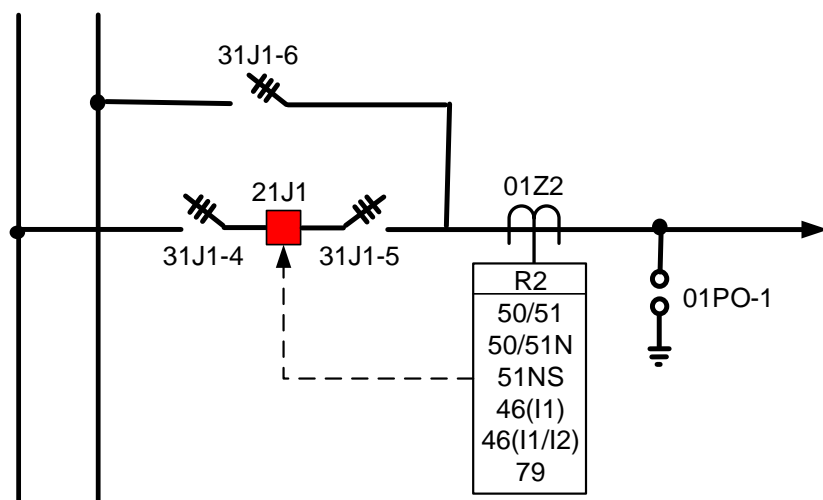
- **Vãos de saídas de alimentadores de distribuição:** Os Vãos de Saída d Alimentadores de uma subestação suprem rede de distribuição que alimenta, diretamente ou por intermédio de ramais, os primários dos transformadores de distribuição do concessionário e/ou consumidor.



Alimentadores Principais ou Tronco de alimentadores

P&C do Vão de Saída de Alimentadores

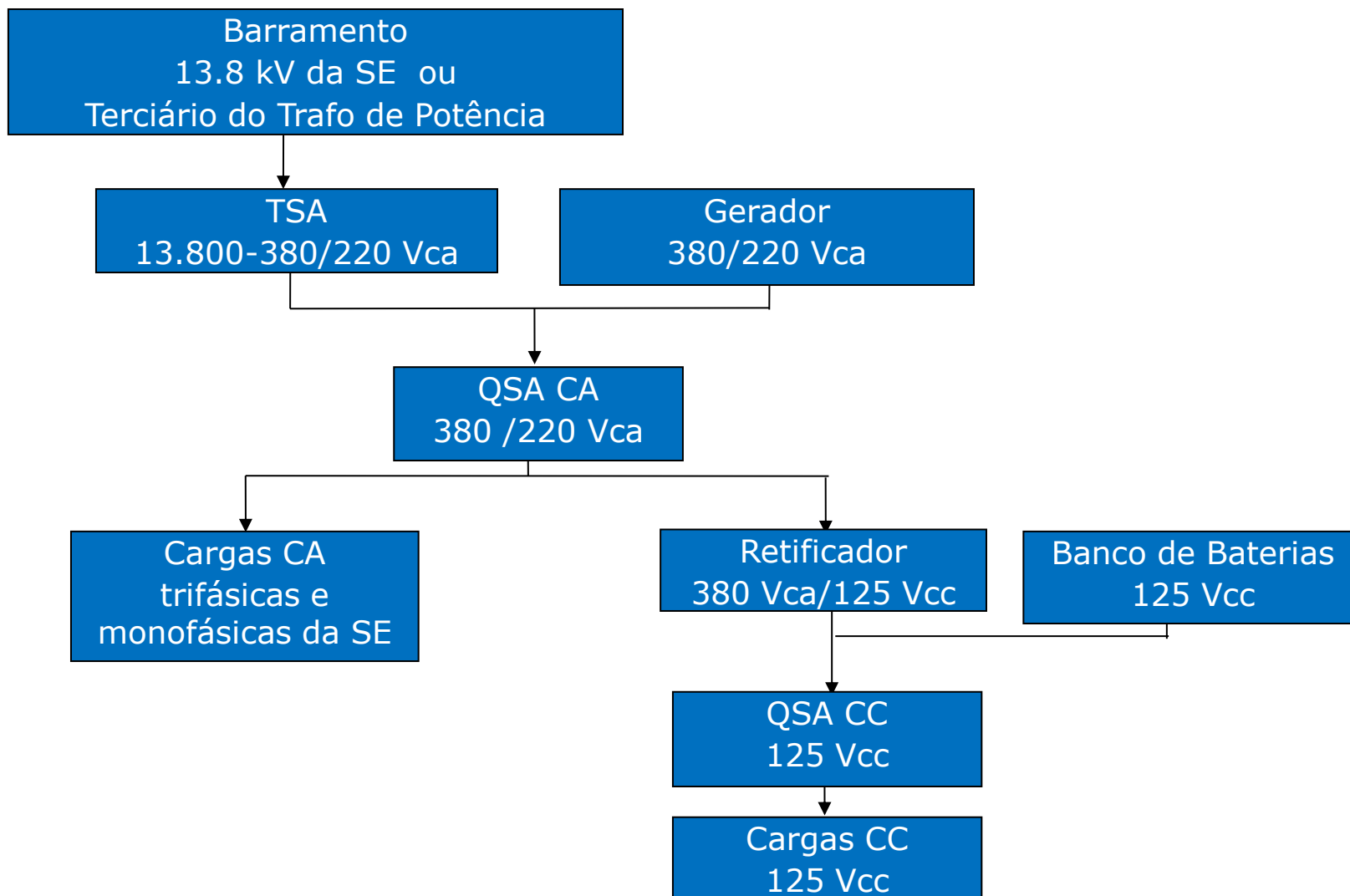
➤ Esquema P&C de Banco de Capacitores:



Serviços Auxiliares de Subestação

Serviços Auxiliares da Subestação

➤ Suprimento dos Serviços Auxiliares (SA):



Serviços Auxiliares da Subestação

- ✓ **Suprimento dos serviços auxiliares:**
 - ✓ Sistema de Corrente Alternada (CA)
 - ✓ Sistema de Corrente Contínua (CC)



Serviços Auxiliares da Subestação

- **Esquemas de Proteção do Transformador de Serviços Auxiliares (TSA):**
 - ✓ Proteção do Primário:
 - Chaves fusíveis
 - ✓ Proteção do secundário:
 - Disjuntor termomagnético.



Serviços Auxiliares da Subestação

➤ Equipamentos e Cargas dos Serviços Auxiliares



- Equipamentos e sistemas da casa:
 - ✓ Quadro de Serviços Auxiliares CA;
 - ✓ Quadro de Serviços Auxiliares CC;
 - ✓ Quadro de Comando, Controle, Proteção e Supervisão;
 - ✓ Sistema Digital da Subestação;
 - ✓ Sistema de comunicações;
 - ✓ Retificador e Banco de Baterias.

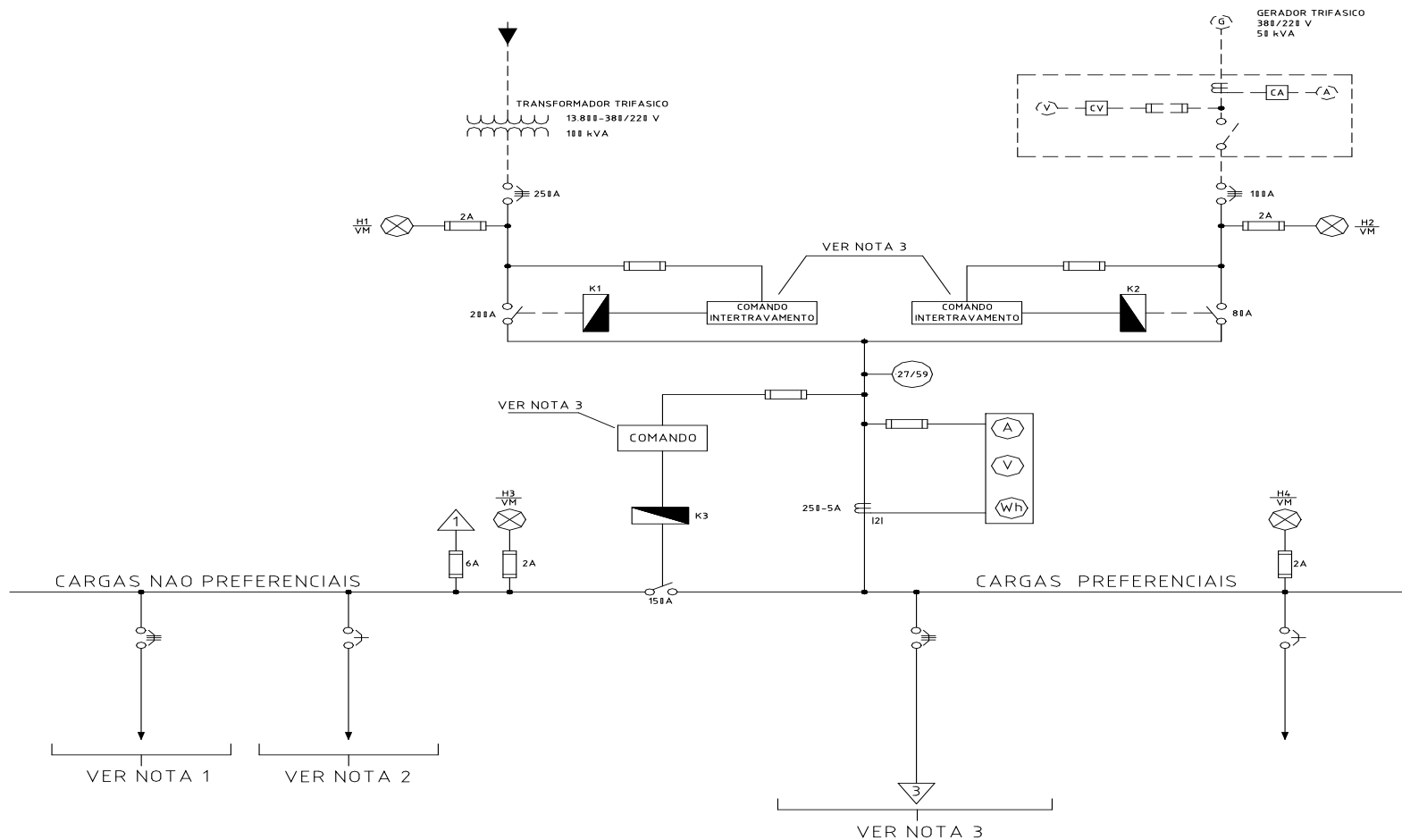
Serviços Auxiliares da Subestação

✓ Serviços Auxiliares

CARGAS DOS SERVIÇOS AUXILIARES	
QSA CA	QSA CC
Ventilação forçada dos transformadores	Sistema digital de automação da subestação
Retificador.	Sistema de telecomunicações
Casa de comando.	Dispositivos de controle e proteção (relés, controle de banco de capacitores, etc);
Tomadas e iluminação do pátio da SE	Motores, bobinas de abertura e fechamento e sinalização dos equipamentos de disjunção
Iluminação e aquecimento dos painéis	Iluminação de emergência da casa de comando e do pátio
Comutador de Derivação sob Carga (CDC) dos transformadores.	

Serviços Auxiliares da Subestação

➤ Serviços Auxiliares CA – Padrão Coelce Antigo

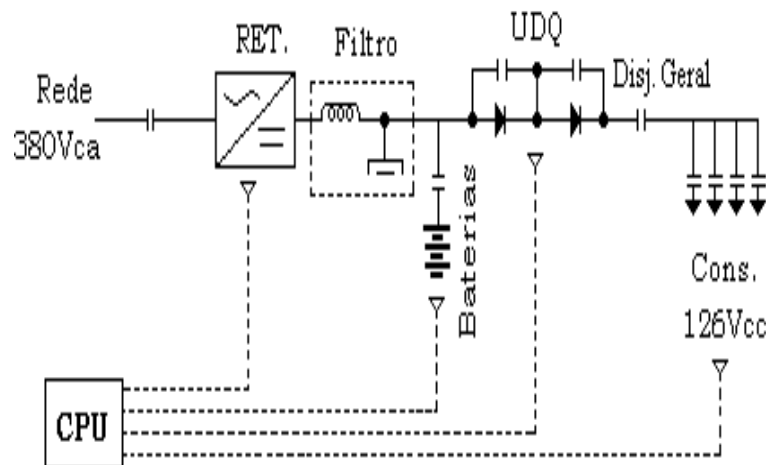


Serviços Auxiliares da Subestação

➤ Serviços Auxiliares CC

➤ Retificador

- ✓ O retificador converte a corrente alternada (CA) fornecida pelo transformador de serviços auxiliares, através do QSA CA, em corrente contínua (CC), com a finalidade de alimentar as cargas em corrente contínua da subestação e manter em flutuação ou em carga o banco de baterias da subestação.

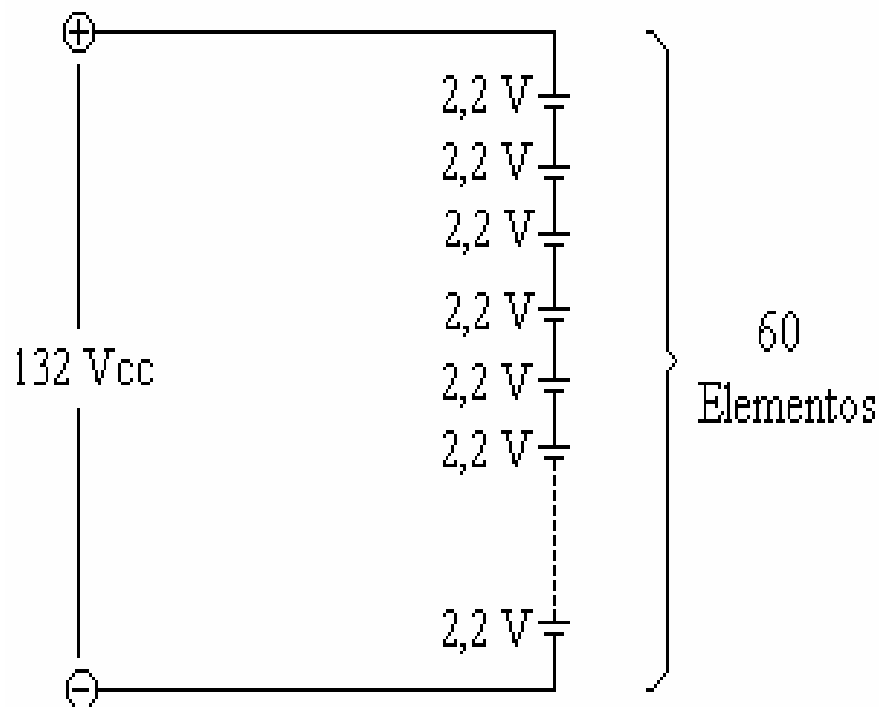


Serviços Auxiliares da Subestação

➤ Serviços Auxiliares CC

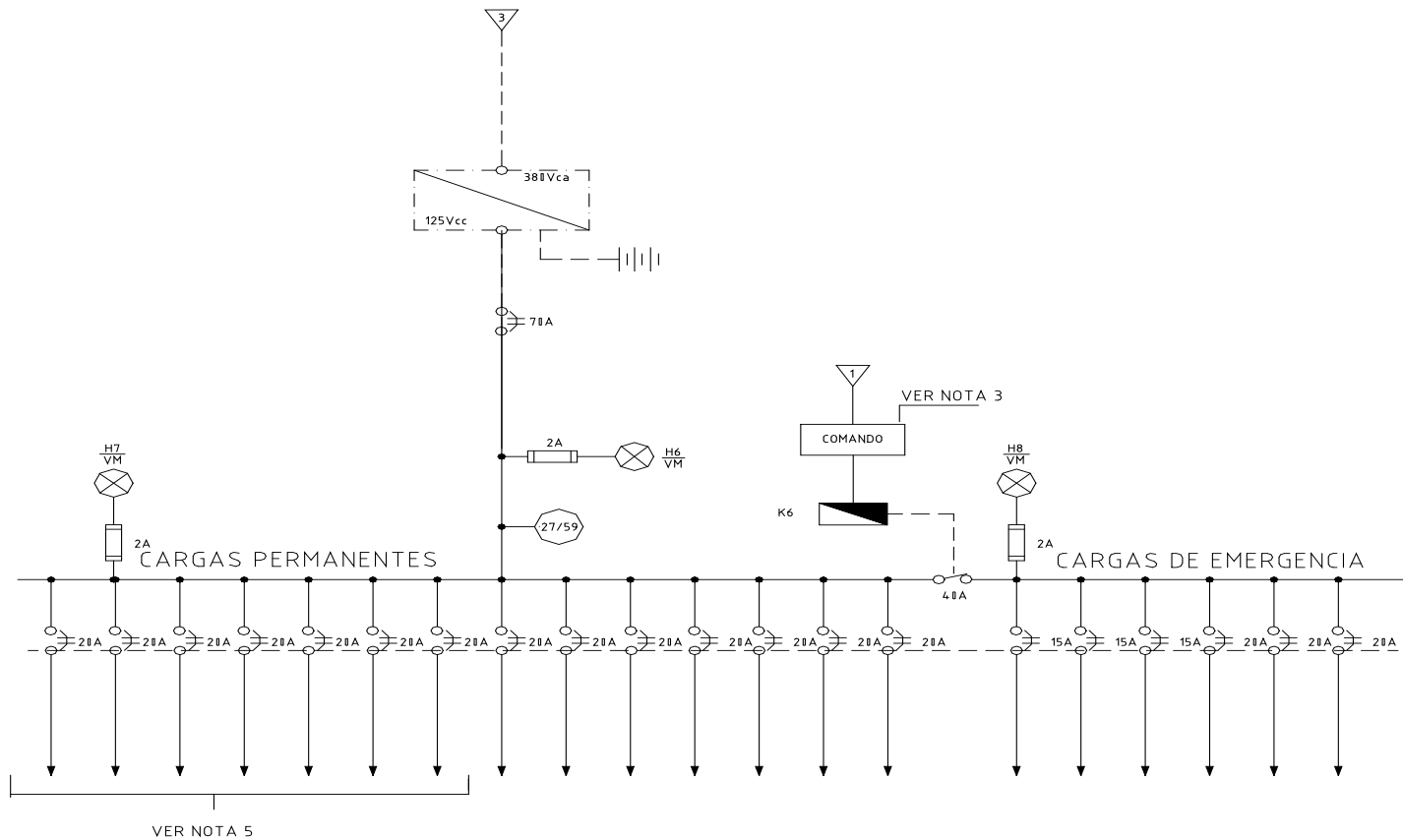
➤ Banco de Baterias

- ✓ O banco de baterias é ligado em paralelo com o retificador/carregador funcionando em regime de flutuação, mantendo assim a confiabilidade do sistema de controle, proteção e automação da subestação.



Serviços Auxiliares da Subestação

➤ **Cargas dos Serviços Auxiliares CC**





Unidade I – Proteção e Controle

2. Fundamentos e Tecnologias de Sistemas de Distribuição de Média Tensão
