

INTRODUÇÃO ÀS SUBESTAÇÕES

Manuel Bolotinha, MSc, Engenheiro Electrotécnicoⁱ

1. AS SUBESTAÇÕES E A REDE ELÉCTRICA NACIONAL

As **SE MAT/MAT** e **MAT/AT**¹ não integradas nas *centrais eléctricas* estão incorporadas na **Rede de Transporte de Energia** (habitualmente designada por **Rede Primária**), que denominaremos por **RTE**, enquanto as **SE AT/MT**² integram a **Rede de Distribuição de Energia**, constituindo o *conjunto de ambas*, juntamente com as **linhas** (aéreas e subterrâneas – **MT**, **AT** e **MAT**) de *transporte e distribuição de energia eléctrica*, a **Rede Eléctrica Nacional**.

A **RTE** tem uma configuração em **anel emalhado**, com uma complexidade importante. Na Figura 1 representa-se esquematicamente a configuração da *Rede Eléctrica Nacional*, integrando as *centrais eléctricas*.

LEGENDA DA FIGURA 1

CE – Central Eléctrica

A – Gerador (Alternador)

B – SE elevadora **MT/MAT** ou **MT/AT**

C – Linha aérea/cabo **MAT** ou **AT** (REN/E-REDES)

D – SE **MAT/MAT**, **MAT/AT**, **AT/AT** ou **MAT/MAT/AT** (REN)

E – SE privada **MAT/AT/MT** ou **AT/MT**

F – SE rede distribuição **AT/MT** (E-REDES)

G – Linha aérea/cabo da rede de distribuição **MT** (E-REDES)

H – Posto de Transformação de serviço público **MT/BT** (E-REDES)

I – Posto de Transformação de serviço cliente/privado **MT/BT**

J – Rede de distribuição **BT** (aérea e/ou subterrânea) – E-REDES

E-REDES é a actual designação da **EDP Distribuição**.

¹ **AT**: Alta Tensão (ver Capítulo 3).

MAT: Muito Alta Tensão (ver Capítulo 3).

² **MT**: Média Tensão (ver Capítulo 3).

³ Uma **SE** diz-se **elevadora** quando a *tensão primária* é **inferior** à *tensão secundária*; caso contrário a **SE** designa-se por **abaixadora**.

⁴ **REN**: Redes Energéticas Nacionais.

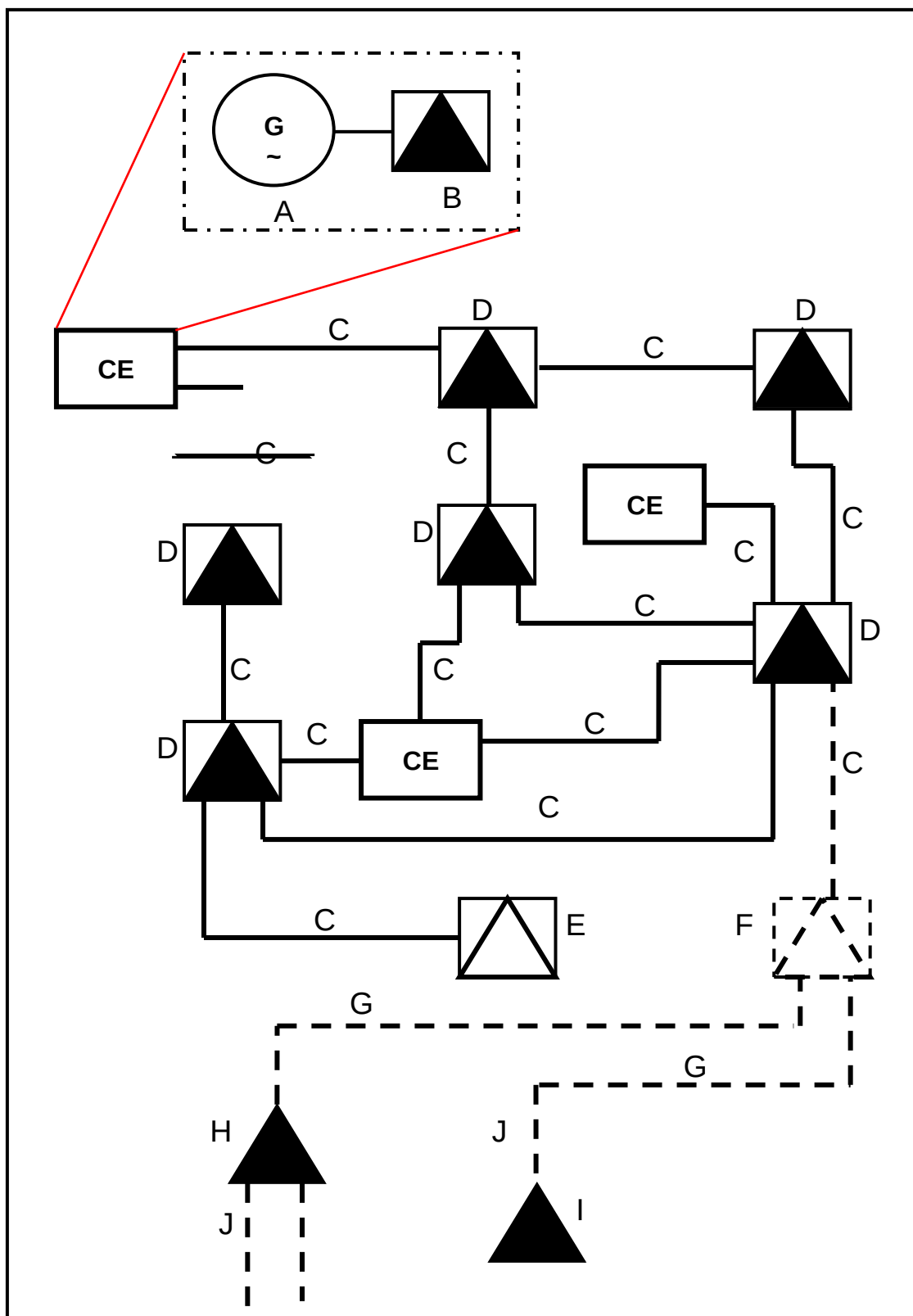


Figura 1 – Configuração esquemática da Rede Eléctrica Nacional

Existem algumas situações em que no mesmo local das **SE MAT/AT** existem painéis **AT** pertencente à **E-REDES**, particularmente quando este *concessionário* alimenta directamente em **AT** *clientes industriais* que necessitam de um **valor elevado de potência**.

Nas **SE MAT/MAT** e **MAT/AT** existem igualmente instalações **MT**, destinadas à alimentação do(s) *Transformador(es) dos Serviços Auxiliares de Corrente Alternada*.

Alguns *clientes industriais*, cujo **consumo de energia eléctrica é elevado** (*cimenteiras, siderurgias, fundições, refinarias, etc.*) são alimentadas em **MAT** ou **AT**, dispondo portanto de **SE privadas MAT/AT e/ou AT/MT**, cujo **interface** com a *entidade fornecedora de energia* tem que ser considerado.

2. NORMAS E REGULAMENTOS E OUTROS DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

2.1. INTRODUÇÃO

O **projecto, a montagem electromecânica e os ensaios em obra** das **SE** e as **características dos equipamentos e materiais a instalar**, obedecem a um conjunto de *documentos legais* – os **Regulamentos** – e a **normas nacionais e internacionais** e também a **documentos normativos** emitidos pelas *entidades concessionárias* das **redes de transporte e de distribuição de energia**, que em *Portugal* são, respectivamente, a **REN** e a **E-REDES**.

2.2. REGULAMENTOS

Em *Portugal* devem ser observados os seguintes **regulamentos**:

- **RSSPTS**, publicado pelo Decreto nº 42895 de 31 de Março de 1960, alterado pelos Decretos Regulamentares nº 14/77 de 18 de Fevereiro e nº 56/85 de 6 de Setembro.
- **RSLEAT**, publicado pelo Decreto Regulamentar nº 1/92 de 18 de Fevereiro.
- **RTIEBT**, publicado pela Portaria nº 949-A/2006 de 11 de Setembro.

Para obras realizadas fora de *Portugal*, com excepção, na generalidade dos **PALOP**⁵, onde aqueles regulamentos são habitualmente aplicados, devem ser utilizados os **regulamentos em vigor nesses países**, habitualmente conhecidos por **Wiring Regulations** nos países anglófonos ou onde a *língua inglesa é utilizada como língua de trabalho*.

A título de exemplo apresentam-se alguns daqueles **regulamentos**:

- **Estados Unidos da América**: Norma NFPA (National Fire Protection Association) 70 – National Electrical Code (NEC).
- **Brasil**: ABNT/NBR⁶ 5410 – Instalações eléctricas de baixa tensão; NBR 14039 – Instalações eléctricas de média tensão de 1,0 a 36,2 kV; NBR 5460 – Sistemas eléctricos de potência; NR 10 – Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade.
- **Espanha**: Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión e Reglamento de Líneas de Alta Tensión y sus Fundamentos Técnicos.

⁵ **PALOP**: Países Africanos de Língua Oficial Portuguesa.

⁶ **ABNT/BR**: Associação de Normas Técnicas/Normas Brasileiras.

- **França:** Norme NF C⁷13-200 de 2009 – Installations électriques à haute tension - Règles complémentaires pour les sites de production et les installations industrielles, tertiaires et agricoles e Norme NF C15-100 de 2013 – Installations électriques à basse tension - Version compilée de la norme NF C15-100 de décembre 2002, de sa mise à jour de juin 2005, de ses amendements A1 d'août 2008, A2 de novembre 2008, A3 de février 2010 et A4 de mai 2013, de ses rectificatifs d'octobre 2010 et de novembre 2012 et des fiches d'interprétation F11, F15, F17, F21 à F2.
- **Reino Unido:** Norma BS⁸ Standard 7671 (IET Wiring Regulations).
- **Europa em geral:** Norma IEC⁹ 60634 – Electrical Installations for Buildings

2.3. NORMAS

As **características técnicas e os parâmetros dos equipamentos e materiais** a instalar nas SE, os *tipos e métodos de ensaio* a que devem ser submetidos e os *respectivos critérios de aceitação* obedecem a um conjunto de **normas**.

Em *Portugal* as *normas* utilizadas são as **NP, EN, NP EN¹⁰, IEC e ISO¹¹**.

Sendo as *normas IEC e ISO* **normas internacionais** deve ser dada preferência à sua utilização, visto que têm uma aceitação e aplicação geral em todo o mundo (as *normas IEC* apenas não são regularmente aplicadas nos países da *América do Norte e Central*).

Deve contudo salientar-se que para o **cálculo e dimensionamento e ensaios das redes de terras** da SE é recomendável utilizar, respectivamente, as *Normas IEEE¹² Std.80-200 e Std. 81-1983*.

Contudo, para obras realizadas fora de *Portugal*, poderá haver necessidade de recorrer também a normas nacionais dos países onde se desenrolam os trabalhos, tais como as normas **ANSI, ASTM e NEMA¹³** nos *Estados Unidos* (para além das já atrás referidas *NFPA e IEEE*), as normas **ABNT/NBR** no *Brasil*, as normas **DIN-VDE¹⁴** na *Alemanha*, as normas **BS** no *Reino Unido* e as normas **NF C** em *França*.

É já habitual que em muitos países as *normas nacionais* estejam **harmonizadas** com as normas **EN** (caso dos países pertencentes à *UE*) e com as normas **IEC** e/ou **ISO**, sendo essas normas representadas como, por exemplo, **BS EN ISO, NBR/IEC, IEC/ISO e ISO/IEEE**.

⁷ **NF C:** Normas Francesas.

⁸ **BS:** British Standards.

⁹ **IEC:** *International Electrotechnical Commission*

¹⁰ **NP:** Normas Portuguesas. **EN:** Normas Europeias. **NP EN:** Normas Portuguesas harmonizadas com as Normas Europeias.

¹¹ *International Organization for Standardization*

¹² **IEEE:** *International Electrical and Electronic Engineers (USA)*

¹³ **ANSI:** *American National Standards Institute*. **ASTM:** *American Society for Testing and Materials*. **NEMA:** *National Electrical Manufacturers Association*. Todas estas normas são **normas americanas**.

¹⁴ **DIN-VDE:** (**DIN:** *Deutschen Institut für Normung*; **VDE:** *Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V.*) – *Alemanha*

2.4. OUTROS DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

Para além das *normas e regulamentos* referidos anteriormente e do que for estipulado no *CE*, designadamente nas **Condições Técnicas** (*MDJ, ET e PD*¹⁵) os trabalhos de *construção e manutenção* e as respectivas *manobras e consignações* das *SE* obedecem ainda às já atrás referidas *prescrições técnicas e documentos normativos*, das entidades concessionárias (**REN e E-REDES**).

Em *Portugal* aplicam-se também os documentos emitidos pela **DGEG**¹⁶ e pela **ERSE**¹⁷.

Os documentos normativos instituídos ainda pela *EDP Distribuição* e aplicáveis às *SE* da *E-REDES* são os seguintes

- **DIT**: Instruções técnicas
- **DRP**: Recomendações de projecto
- **DEF**: Especificação funcional.
- **DMA**: Materiais e aparelhos.
- **DPE**: Protocolo de ensaios.
- **DRE**: Regras de execução e montagem.

3. TENSÕES NORMALIZADAS

As *tensões utilizadas nas redes de transporte e distribuição de energia* **diferem de país para país**, razão pela qual se recomenda que sejam referidos os **valores das tensões normalizadas**, de acordo com a *Norma IEC 60038*, que correspondem aos *valores máximos de tensão suportados pelos equipamentos (tensões mais elevadas)* e que se indicam no Tabela 1.

Os valores designados na coluna “**Nível de Tensão**” são os valores de tensão que os *fabricantes garantem* que, **dentro das condições normais de exploração e manutenção**; os *equipamentos aguentam em permanência*. Para os *equipamentos*, são designados por “**tensão estipulada**”. A designação “**tensão nominal aplica-se apenas a redes**”.

¹⁵ **MDJ**: *Memória Descritiva e Justificativa*; **ET**: *Especificações Técnicas*; **PD**: *Peças Desenhadas*.

¹⁶ **DGEG**: Direcção-Geral de Energia e Geologia.

¹⁷ **ERSE**: Entidade Reguladora do Sector Energético.

Tabela 1 – Tensões normalizadas

Nível de Tensão	Tensão Mais Elevada (kV ef)	Tensões Normalmente Utilizadas em Portugal (kV ef)	Tensões Suportáveis Mínimas ¹⁸	
			50Hz, 1m (kV ef)	Ao Choque Atmosférico (kV pico)
<i>Baixa Tensão (BT)</i>	≤ 1 (ca) $\leq 1,5$ (cc) ¹⁹	0,23-0,4 (ca)	≤ 2	≤ 12
<i>Média Tensão (MT)</i>	3,6		10	40
	7,2	6	20	60
	12	10	28	75
	17,5	15	38	95
	24		50	125
	36	30	70	170
	52		95	250
<i>Alta Tensão (AT)</i>	72,5	60	140	325
	123		230	550
<i>Muito Alta Tensão (MAT)</i>	170	150	325	750
	245	220	395	950
	300		460	1050
	420	400	630	1425
	550		740	1675
	800		830	2100

Os valores indicados para as tensões suportáveis mínimas referem-se aos valores das tensões de ensaio dos equipamentos.

¹⁸ Designando a tensão de pico por U_p e o valor eficaz dessa tensão por U_{ef} , verifica-se a seguinte relação:

$$U_{ef} = U_p / \sqrt{2} \approx 0,71U_p$$

¹⁹ ca: corrente alternada. cc: corrente contínua.

4. CONSTITUIÇÃO DAS SUBESTAÇÕES

Os **equipamentos e sistemas** que constituem habitualmente uma SE, e que serão analisados em artigos posteriores, são os seguintes:

- Transformadores de potência.
- Equipamento AT e MAT: disjuntores; seccionadores; transformadores de medida; descarregadores de sobretensões (pára-raios); eventualmente baterias de condensadores e reactâncias.
- Equipamento MT: Quadro de Média Tensão (**QMT**²⁰); eventualmente baterias de condensadores e reactâncias.
- Estruturas metálicas.
- Barramentos, isoladores e ligadores.
- Sistema de Comando, Controlo e Protecção (SCCP).
- Serviços auxiliares ca e cc (SACA e SACC).
- Rede de terras.
- Sistema de protecção contra descargas atmosféricas.
- Cabos (MAT, AT, MT, BT, comando e controlo e comunicação); caminhos de cabos; caixas terminais de cabos.
- Equipamento de iluminação, tomadas, força motriz e climatização (espaços interiores e exteriores), e respectivos circuitos.
- Sistemas electrónicos de segurança (detecção de incêndio; detecção de Intrusão; controlo de acessos; CCTV²¹).

5. TIPOS CONSTRUTIVOS

As **SE MAT/MAT** e **MAT/AT** são, na generalidade, *instaladas no exterior (parque exterior)*, sendo o equipamento, com excepção dos transformadores, montado sobre *estruturas metálicas*. A *ligação das linhas* é normalmente **aérea**, terminando no **pórtico de amarração de linha**. Este tipo de SE é vulgarmente designado por **AIS**.

Nestas SE existem, fundamentalmente, os **seguintes tipos de painéis**, que são compostos principalmente pelos **equipamentos de protecção** (disjuntores), **isolamento** (seccionadores), **medida** (transformadores de tensão e de intensidade) e **descarregadores de sobretensões** (pára-raios).

- Painei Linha.
- Painei de Transformador (e/ou Autotransformador).
- Painei de Inter-Barras e/ou Tensão de Barras e /ou Seccionador de terra de barras e /ou seccionador de *by-pass*.

²⁰ Os **QMT** são, do **ponto de vista construtivo**, principalmente de dois tipos: **Metal-Enclosed** (equipamento fixo) e **Metal Clad** (disjuntores extraíveis). Nas **instalações industriais** os **QMT** são habitualmente do tipo *Metal Clad*.

²¹ **CCTV**: *close circuit of television* (circuito fechado de televisão).

- Painel bateria de condensadores (mais habitual em *MT* e *AT*)
- Painel reactâncias

Na Figura 2 representa-se um exemplo da **disposição do equipamento** de uma *SE* do tipo *AIS* e um exemplo de uma *planta de SE*.

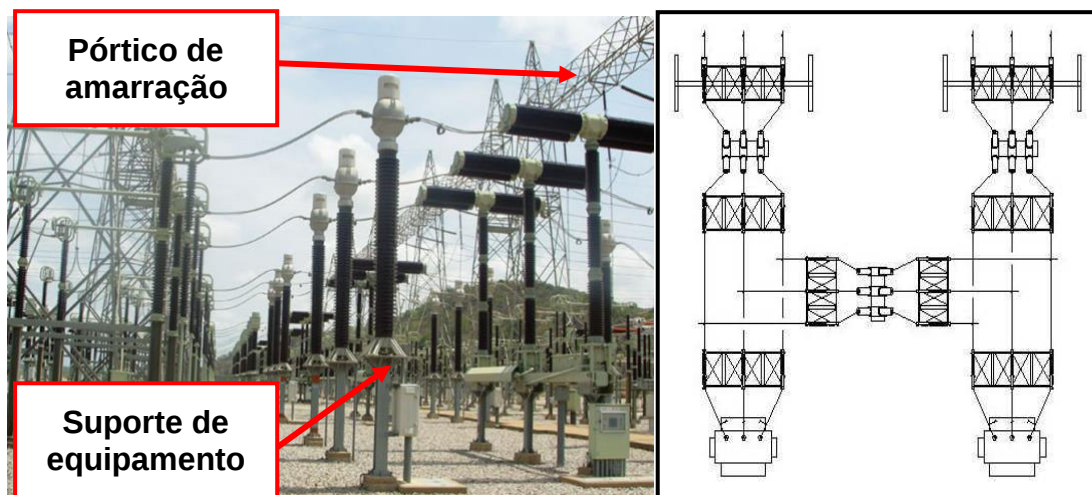


Figura 2 – Exemplos de estruturas metálicas, disposição de equipamento (esquerda) e de uma planta (direita) de uma *SE* do tipo *AIS*

Os equipamentos *MT*, quando existem, são instalados normalmente no interior.

Contudo, em situações em que o **espaço disponível é escasso**, ou o *ambiente* no qual as *SE* são construídas é **muito agressivo**, os equipamentos são instalados no interior de um invólucro metálico, tendo como elemento isolante o **gás SF₆** (*hexafluoreto de enxofre*), obedecendo ao estipulado na *Norma IEC 62271-203*. Estas *SE* designam-se por **GIS**²², cujo esquema se representa na Figura 3.

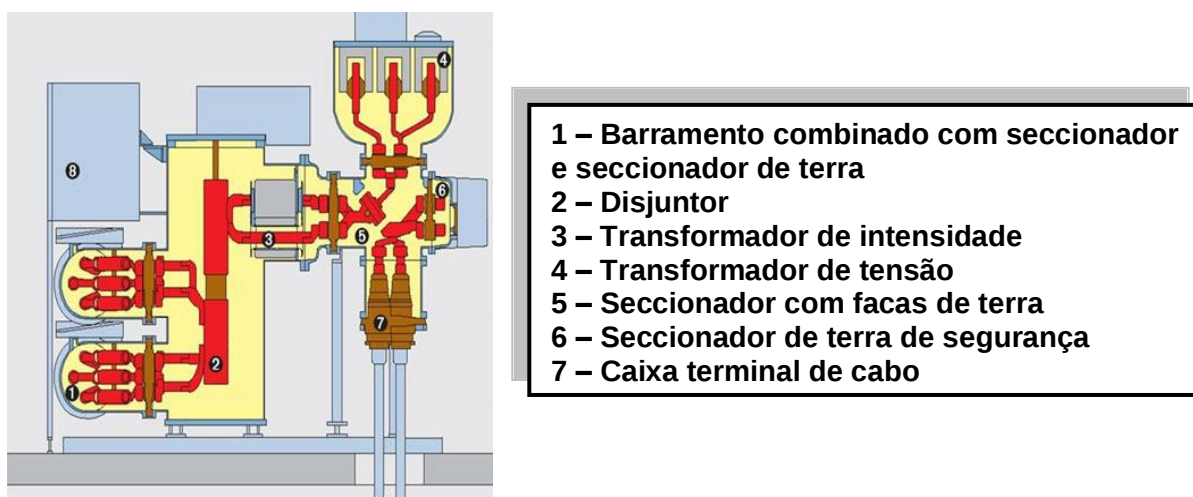


Figura 3 – Esquema de um GIS

Este tipo de *SE* utiliza-se habitualmente em *AT* e *MAT*, sendo normalmente instaladas no interior, embora existam também versões para montagem exterior (ver Figura 4).

²² GIS: Gas Insulated Substation.



Figura 4 –Exemplos de GIS para montagem interior (esquerda) e para montagem exterior (direita)

As vantagens da instalação de *GIS* são:

- Manutenção mais fácil
- Menor espaço
- Tempo e custo de montagem menores
- Não inflamável e não explosivo
- Inexistência de óleo
- Menor poluição

Uma outra solução habitualmente utilizada, quando o espaço exterior disponível para implantação da *SE* é reduzido, são as designadas **SE “híbridas”**, em que os equipamentos *MAT* e *AT* são instalados num invólucro pré-montado em fábrica, isolado a gás (usualmente o **SF6**), como se exemplifica na Figura 5.

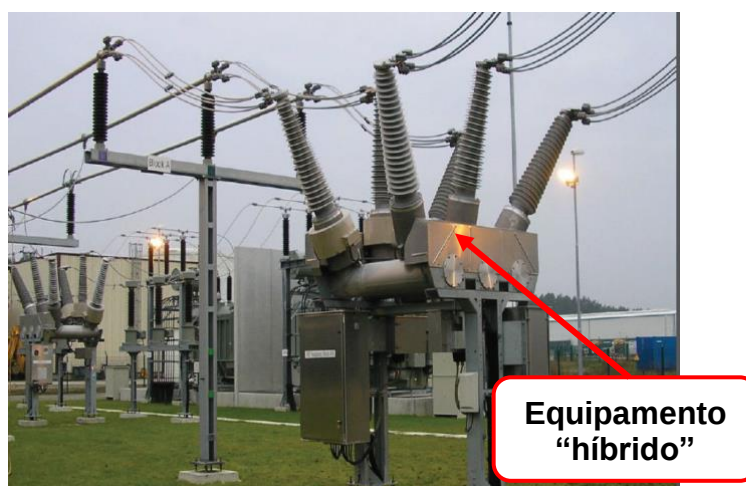


Figura 5 – Exemplo de uma SE híbrida

A ligação entre os equipamentos enclausurados e os outros equipamentos realiza-se por meio de barramentos isolados no ar à semelhança do que acontece nas *A/S*.

As principais vantagens desta solução são:

- Redução do espaço necessário (ver Figura 6).
- Redução dos trabalhos de construção civil.
- Redução do tempo de montagem.

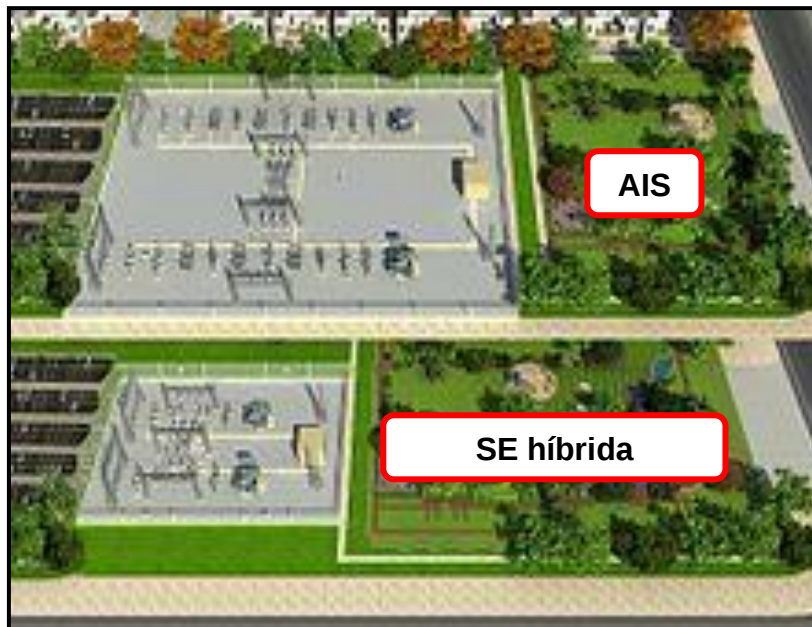


Figura 6 – Comparação de espaço entre uma SE AIS e uma SE híbrida

6. CONFIGURAÇÕES HABITUAIS DAS SE

As configurações habituais das *SE* são as seguintes:

- Barramento simples.
- Duplo barramento, com ou sem inter-barras.
- Duplo barramento com inter-barras e seccionadores de *by-pass*.
- Disjuntor e meio.
- Triplo barramento

As figuras 7 a 10 mostram as diversas configurações.

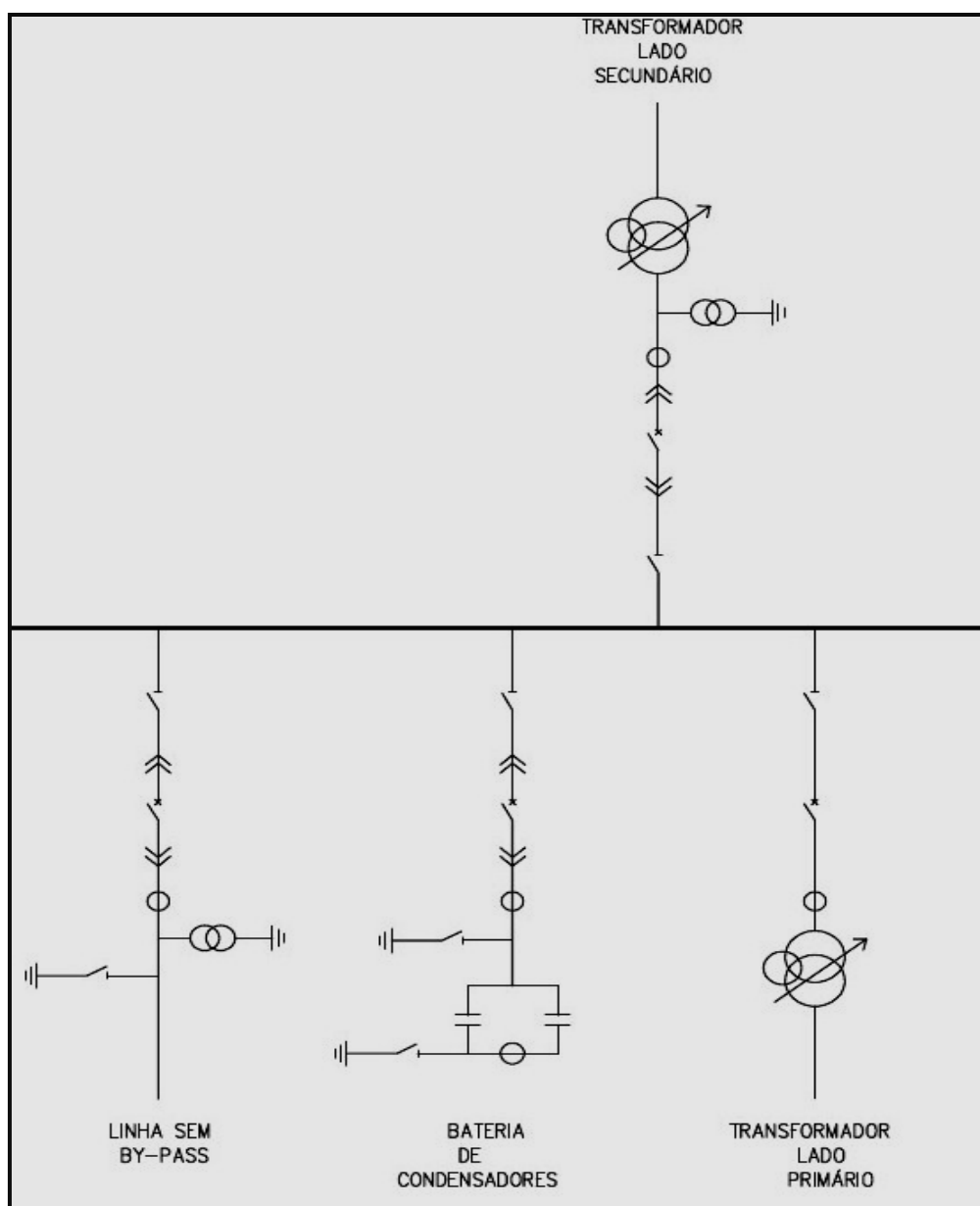


Figura 7 – Barramento simples

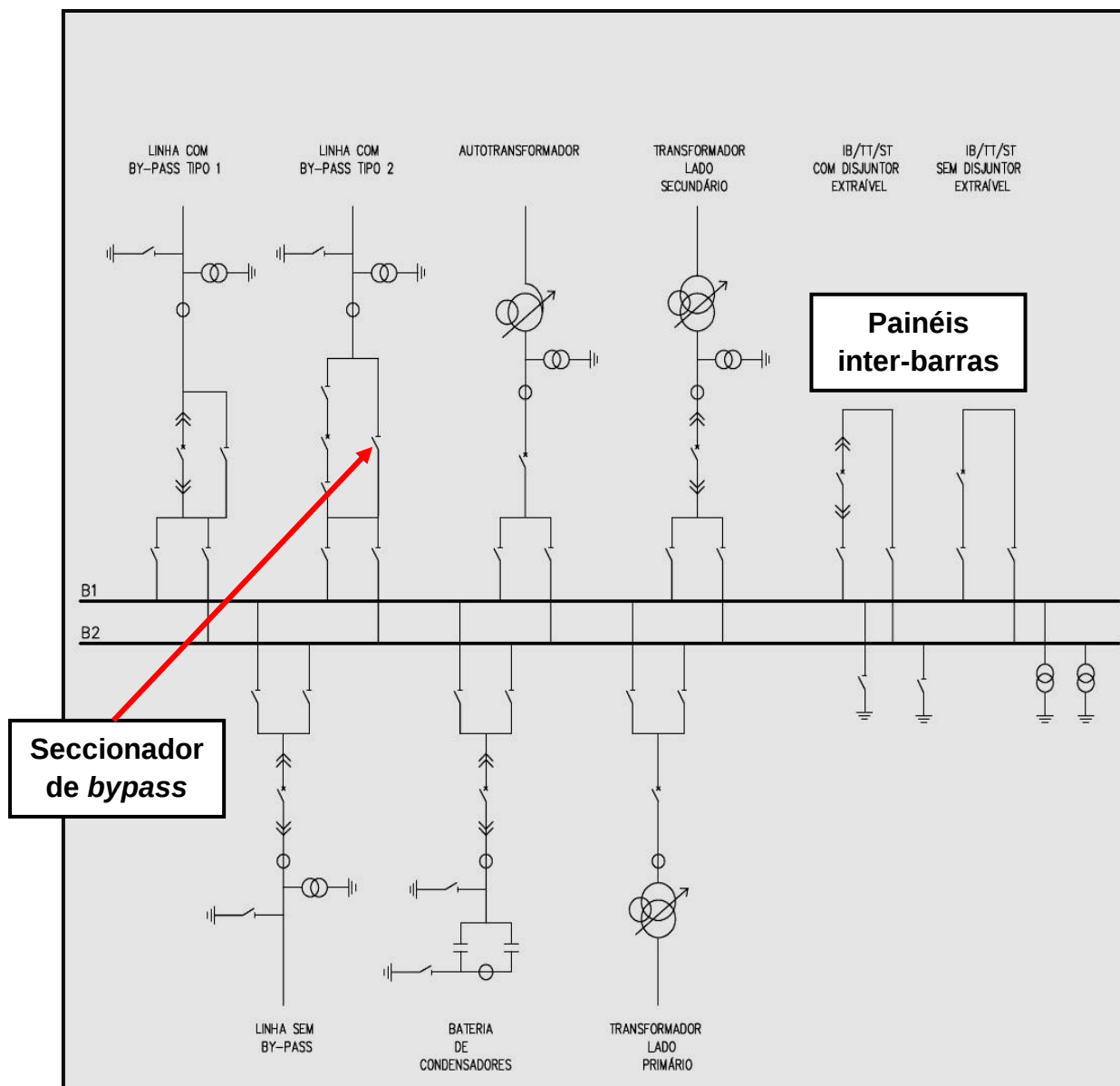


Figura 8 – Duplo barramento

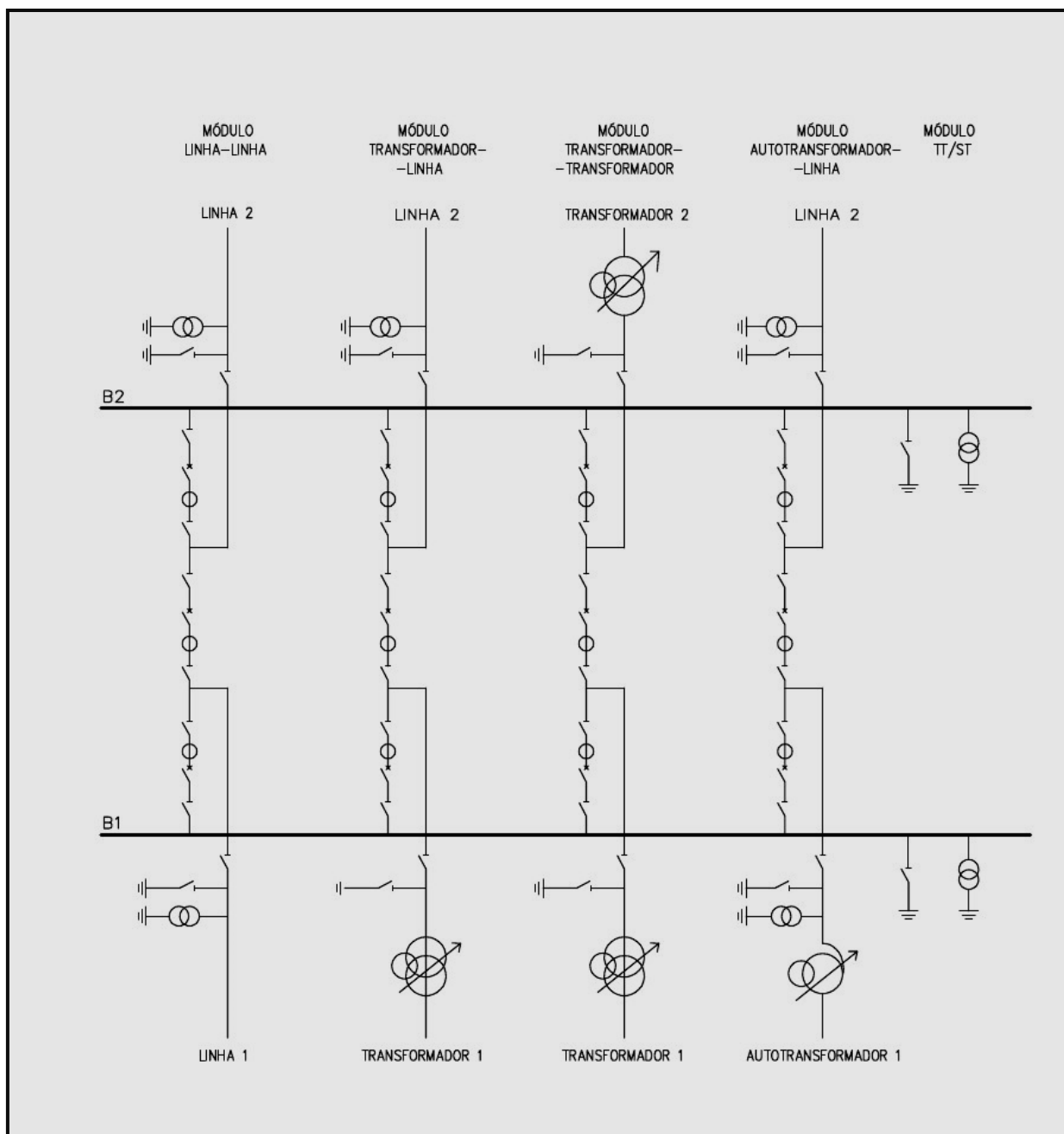


Figura 9 – Disjuntor e meio

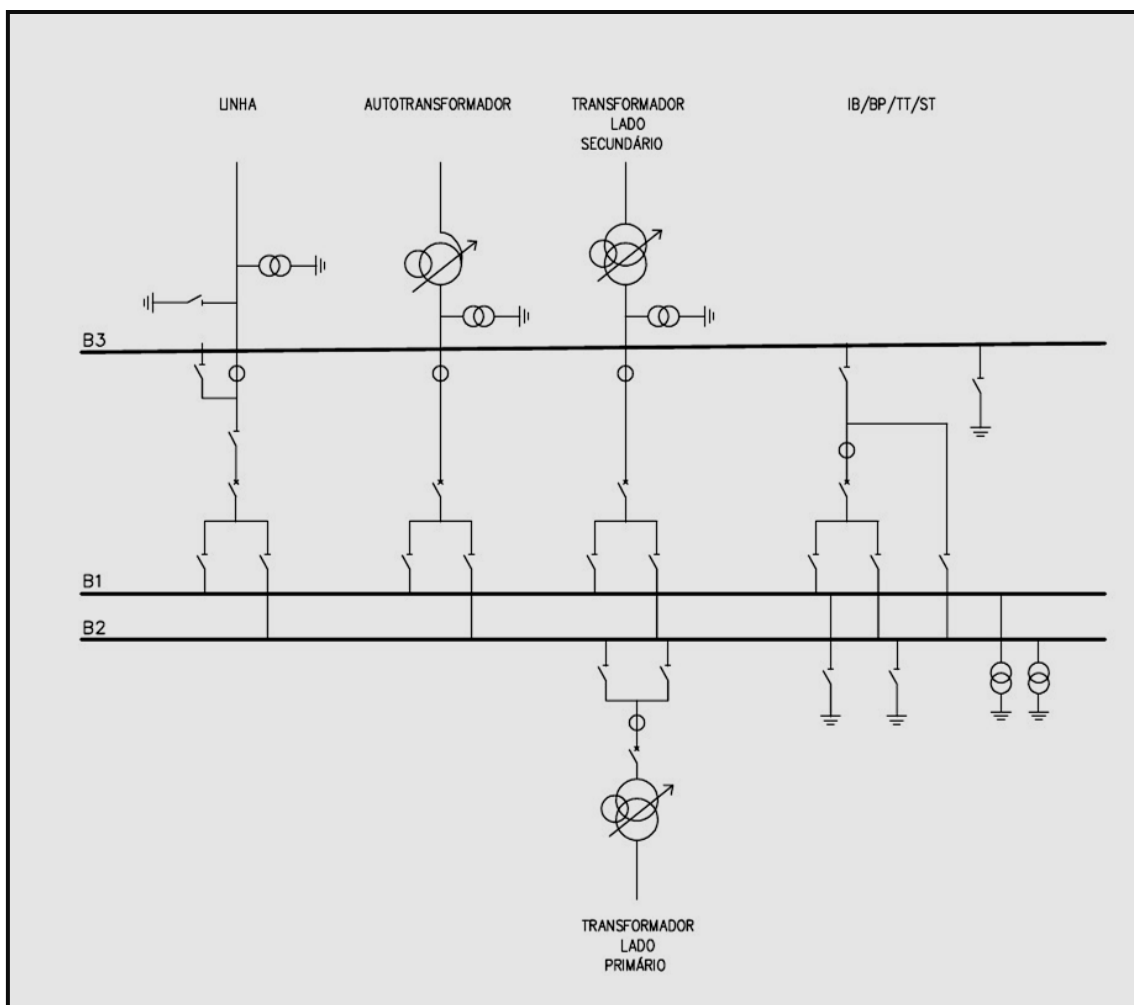


Figura 10 – Triplo barramento

A simbologia dos equipamentos representados nas figuras está de acordo com a Norma IEC 60617.

A escolha da **configuração** de qualquer SE é normalmente feita pela entidade exploradora da instalação, tendo em atenção o modo de exploração da rede em que a SE está integrada e os critérios adoptados para a **continuidade, fiabilidade e qualidade do serviço**.

Numa mesma subestação podem existir várias configurações diferentes, uma por cada nível de tensão.

Normalmente a configuração **barramento simples** é utilizada em SE de “pequena” importância, onde a continuidade de serviço não é predominante.

A configuração **duplo barramento** utiliza-se em SE onde a garantia da continuidade de serviço é importante, e no arranjo com “inter-barras” e seccionador de *bypass* é possível **manter a continuidade de serviço** nas situações em que haja *avaria do disjuntor, ou necessidade de se proceder à sua manutenção*.

Com esta configuração a **mudança de barramento** é feita *sem perder a continuidade do serviço*, e é possível **distribuir os painéis por ambos os barramentos**, com o objectivo de *minimizar o número de painéis que possam ficar fora de serviço* em caso de **actuação da protecção de barras**.

Quando se pretende obter uma **maior fiabilidade na rede** (a falha de um disjuntor ou barramento não põe os restantes painéis fora de serviço) e uma redução de custos, principalmente de manutenção, é normalmente utilizada a configuração de **disjuntor e meio**, embora apresente *esquemas de protecções mais complexos*.

Quando se pretende **realizar a manutenção da totalidade de um painel sem interrupção de serviço**, utiliza-se a configuração de **triplo barramento**, em que o painel é totalmente colocado em *bypass*.

Nesta configuração, que se utiliza nas instalações *MAT*, só é possível colocar um painel de cada vez em *bypass*.

Numa mesma subestação podem existir várias configurações diferentes, uma por cada nível de tensão.

Em instalações industriais alimentadas em *AT* (em Portugal pela *E-REDES*, **60 kV**) e com uma rede interna e consumidores *MT*, é habitual que a **SE 60 kV/MT** seja privada e tenha apenas um painel, designado por painel “**Linha/Transformador**”, de que se mostra um exemplo na Figura 11.

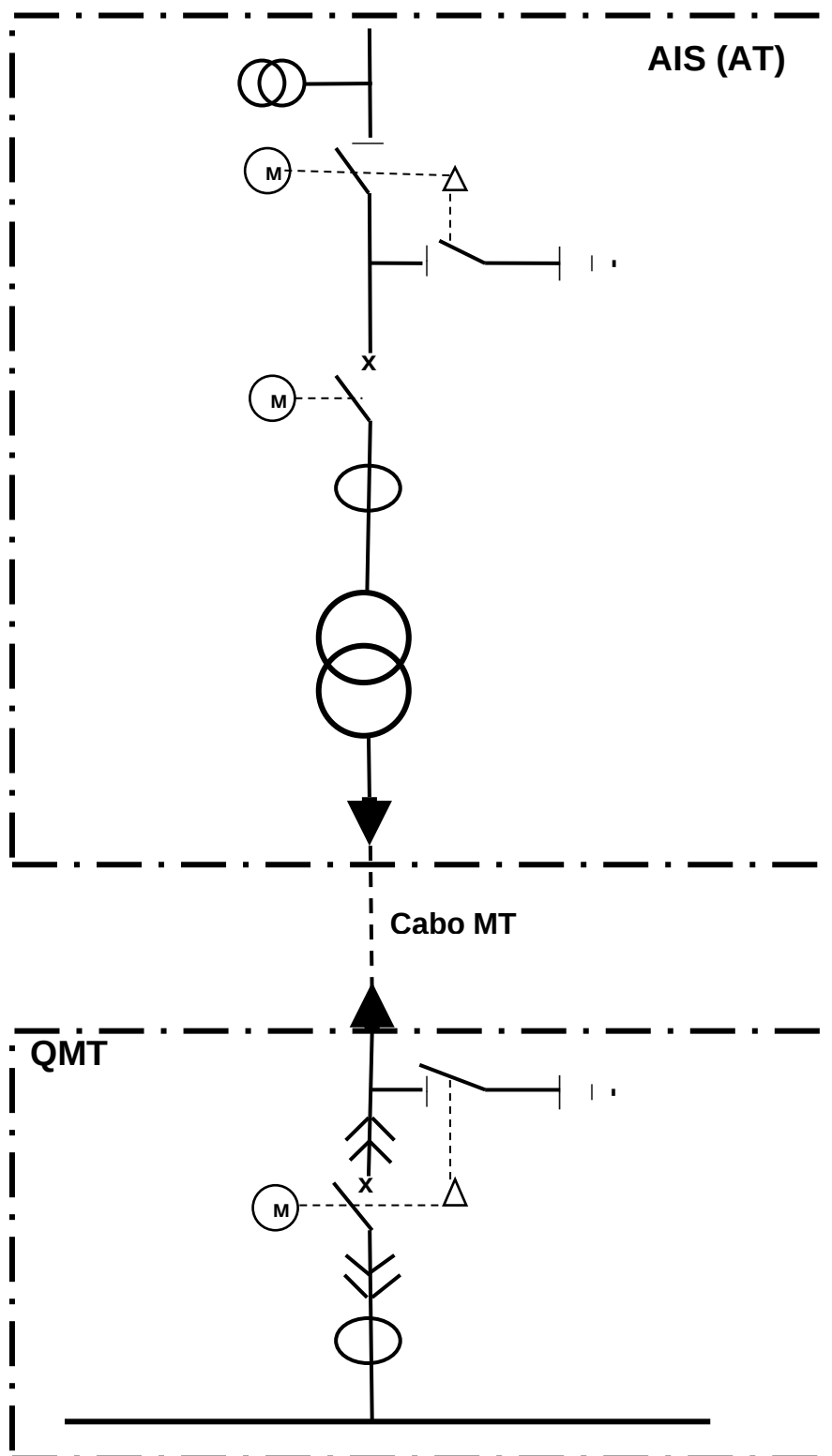


Figura 11 – Painel Linha/Transformador