

Características Básicas de Projeto

1.1 INTRODUÇÃO

Todo sistema de potência é constituído de três diferentes segmentos: geração, transmissão e distribuição. Para que a energia gerada no primeiro segmento chegue ao seu destino final, que é o consumidor que está ligado no sistema de distribuição, é necessário também que exista em cada um desses segmentos uma subestação que possa elevar e reduzir a tensão em diferentes níveis. Assim, as usinas elétricas, sejam elas hidráulicas, térmicas, eólicas ou fotovoltaicas, geram energia em baixos níveis de tensão. As usinas hidráulicas e térmicas normalmente geram em tensões que variam entre 6 kV e 25 kV. Já as usinas eólicas geram em tensões que variam entre 600 V e 800 V, para turbinas de pequeno e médio portes, e 12 kV para turbinas de grande porte, enquanto nas usinas fotovoltaicas o nível de tensão de geração é da ordem de 320 V a 1000 V. É fácil compreender que um grande bloco de energia gerada em tensões tão baixas não pode ser transportado por dezenas a várias centenas de quilômetros aos pontos de consumo.

Logo, a energia gerada nesses níveis de tensão alimenta inicialmente um transformador que tem a função de elevar a tensão de geração para níveis compatíveis com o valor do bloco de energia gerada e com a distância a ser percorrida através de um sistema de transmissão. Como os equipamentos de consumo são fabricados, por motivos econômicos e de segurança, com baixos níveis de tensão, agora é necessário que a tensão do bloco de carga transportada seja reduzida a níveis compatíveis com os equipamentos consumidores, normalmente, variando entre 220 V e 440 V, entre fases.

A elevação da tensão na geração reduz a corrente elétrica que circula nas linhas de transmissão que transportarão os blocos de potência gerada, reduzindo dessa forma, as perdas elétricas que fazem parte de qualquer sistema de transporte da energia.

A Figura 1.1 mostra simplificada o que acabamos de descrever.

Sistemas mais complexos de energia sofrem duas ou mais elevações de tensão no ponto onde a energia é gerada, como por exemplo, a energia eólica e a energia solar, depois de transportadas para perto dos centros de consumo, sofrem reduções de tensão em dois ou mais níveis até o consumidor final.

Nos sistemas eólicos em que a tensão de geração é cerca de 700 V é necessário que se eleve essa tensão para 13,80 kV (pequenos parques eólicos) e para 34,5 kV (médios e grandes empreendimentos). Para que a potência gerada seja injetada na rede de distribuição ou na Rede Básica, novamente a tensão é elevada para 69 kV (pequenos parques eólicos) ou para 138 kV (para parques eólicos de médio e de grande porte) ou ainda para 230 kV (para parques eólicos de grande porte). Já próximo à carga consumidora, essa tensão é reduzida sucessivamente nos terminais das cargas consumidoras para níveis de 220 V ou 380 V trifásicos, a depender da região do Brasil.

Sempre que necessitamos elevar ou reduzir a tensão de um sistema de potência faz-se necessária a utilização do que denominamos subestação elevadora ou subestação abaixadora.

Já as tensões normalmente utilizadas em redes de distribuição variam entre 13,2 V e 34,5 kV.

1.2 COMPOSIÇÃO DE UM SISTEMA ELÉTRICO DE POTÊNCIA

Podemos conceituar um sistema elétrico de potência classificando-o da seguinte forma como é usualmente feito.

1.2.1 Sistema de distribuição

Pode ser dividido em dois segmentos:

1.2.1.1 Sistema secundário ou de baixa tensão

É aquele no qual estão conectados os consumidores com cargas normalmente iguais ou inferiores a 50 kW. Esse sistema atende a residências, pequeno comércio, iluminação pública etc. Em geral o transformador é considerado no sistema secundário, apesar de ser um elemento do sistema elétrico intermediário entre os sistemas secundário e primário.

1.2.1.2 Sistema primário ou de média tensão

É aquele que interliga, em geral, o sistema secundário ao sistema de subtransmissão através dos transformadores de distribuição.

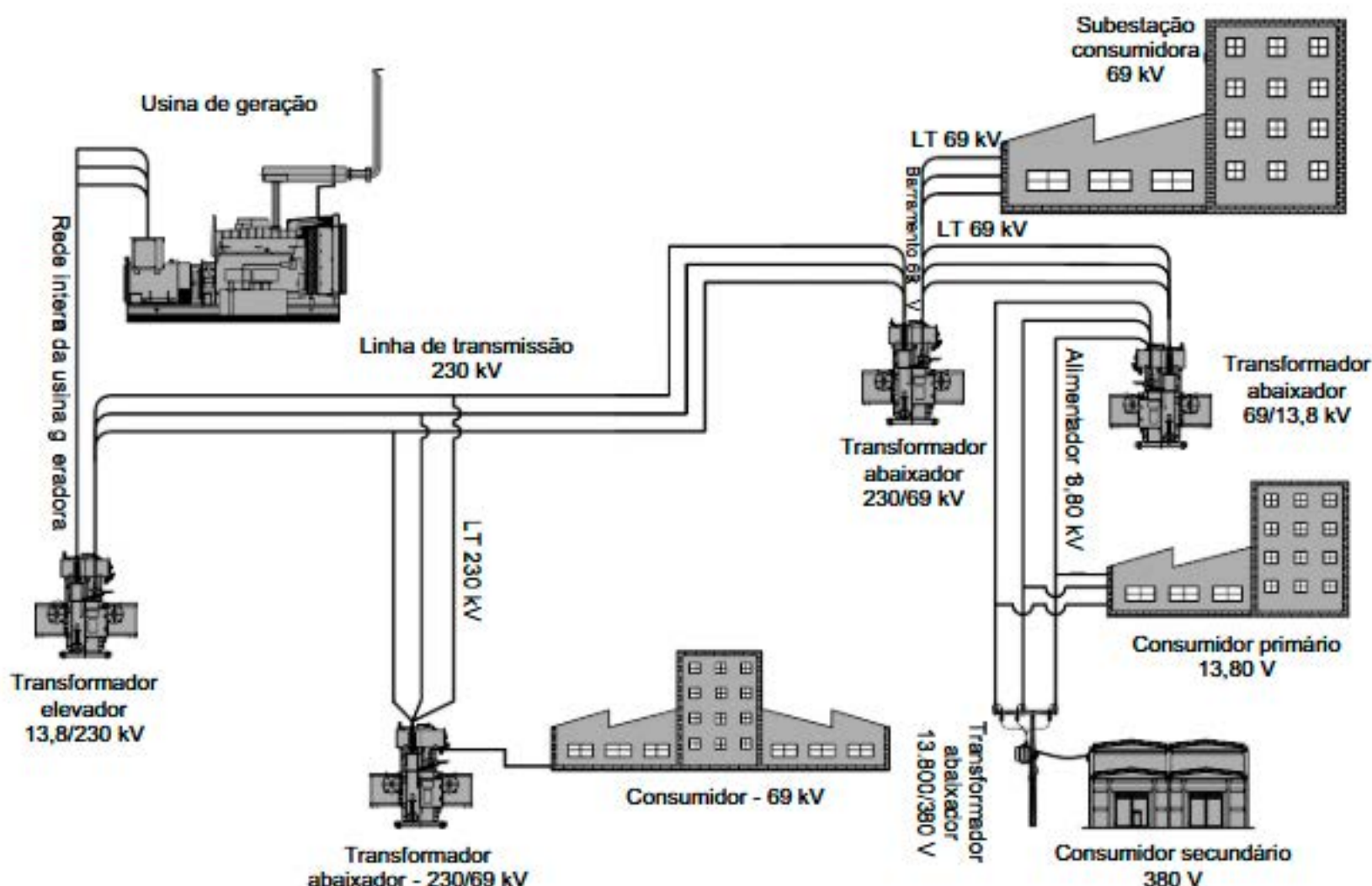


Figura 1.1 Sistema de geração, transmissão e distribuição de energia.

Os sistemas entre 1 kV e 69 kV são considerados sistemas de média tensão. No entanto, as concessionárias que possuem redes elétricas em 69 kV costumam considerá-lo sistema de subtransmissão, conceito este que iremos adotar neste trabalho. São conectadas a esse sistema (13.800 V a 25.000 V) cargas comerciais de médio porte e cargas industriais de pequeno porte.

1.2.1.3 Sistema de subtransmissão

É aquele que interliga os sistemas primários aos sistemas de transmissão através das subestações de potência. Esse sistema opera em tensões de 69 kV, 88 kV e 138 kV. São conectadas a esse sistema cargas comerciais de grande porte e cargas industriais de médio porte.

1.2.1.4 Sistema de transmissão

É aquele que interliga os sistemas de subtransmissão aos sistemas de geração através de subestações denominadas elevadoras, podendo também se interligar ao sistema de extra-alta tensão. São conectadas a esse sistema cargas industriais de grande porte.

As tensões usuais no Brasil em corrente alternada para os sistemas de transmissão variam entre 230 kV e 765 kV, ou seja: 230 kV, 345 kV, 440 kV, 500 kV e 765 kV. Essas tensões fazem parte da Rede Básica do Sistema Interligado Nacional, operado pelo ONS – Operador Nacional do Sistema. É comum consi-

derar também sistemas de extra-alta tensão aqueles em que as tensões são iguais e superiores a 500 kV.

1.2.1.5 Sistema de transmissão em corrente contínua

Atualmente no Brasil somente estão em operação dois sistemas de corrente contínua nas tensões de ± 600 kV e ± 800 kV para atender respectivamente à necessidade de aproveitamento dos hidrogeradores da usina hidroelétrica de Itaipu localizados no lado paraguaio, cuja frequência daquele país é de 50 Hz, e ao aproveitamento da energia gerada pela hidroelétrica de Belo Monte com extensão de 2087 km interceptando os estados do Pará, Tocantins, Goiás e Minas Gerais.

As linhas de transmissão em corrente contínua têm custos inferiores aos das linhas de corrente alternada. Porém devido ao elevado custo das estações conversoras, uma no ponto de conversão de corrente alternada para contínua, localizada normalmente na geração ou muito próxima dela, e uma ou mais estações conversoras de corrente contínua para alternada nos pontos de conexão com os sistemas de transmissão em corrente alternada tornam a solução dos sistemas de corrente contínua desvantajosa e apenas utilizada em empreendimentos específicos como no caso das usinas hidroelétricas de Itaipu e de Belo Monte. Os sistemas de corrente contínua apresentam menores perdas elétricas sendo competitivos com os sistemas de corrente alternada para longas distâncias.

1.3 CARACTERÍSTICAS GERAIS

A seguir faremos uma abordagem geral sobre as principais características das subestações, procurando classificá-las de diferentes formas em função do nível de tensão, sua função no sistema, tipos construtivos etc.

1.3.1 Nível de tensão

O tipo mais frequente de subestação é aquela que eleva ou reduz o nível de tensão aplicada no barramento de entrada do fluxo de potência.

Para determinar o nível de tensão que deve ser indicado para uma subestação pode-se simplificarmente utilizar a Equação (1.1).

$$V_x = 18 \times \sqrt{P_c} \quad (1.1)$$

V_x – tensão nominal do sistema, em kV;

P_c – potência da carga, em MW.

Assim, uma indústria com carga instalada de 12,6 MW deve ser suprida por um sistema de tensão igual a $V_x = 18 \times \sqrt{12,6} = 64 \text{ kV}$. Como a tensão mais próxima normalmente encontrada nas concessionárias é de 69 kV, será considerado esse nível de tensão para esse montante de carga. No entanto, é necessário que exista um sistema de distribuição com esse nível de tensão na área de localização da subestação do empreendimento. No caso em que exista rede de distribuição com diferentes níveis de tensão, a concessionária local pode estabelecer para aquela subestação a tensão de seu sistema distribuidor que está em condições operacionais adequadas com um mínimo de investimento para atendimento à carga solicitada pela indústria.

Já para as usinas de geração termelétrica, eólica e fotovoltaica o nível de tensão normalmente é estabelecido tanto pela tensão do sistema mais próximo, mas que seja tecnicamente possível a conexão, quanto pelo custo do uso do sistema de distribuição/subtransmissão (13,80 kV – 69 kV – 138 kV) ou de transmissão (230 kV) a que esses geradores irão se conectar e cujo custo do uso desses sistemas é estabelecido pelos parâmetros fornecidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Muitas vezes, o custo para transportar a energia gerada pelo sistema define a tensão desses geradores.

Dependendo da sua importância e confiabilidade requerida, as subestações podem ser concebidas de diferentes arranjos físicos, com diferentes níveis de tensão de operação. Dessa forma, podemos classificar as subestações, no que se refere a sua tensão de transformação, em diferentes níveis, sendo essa classificação meramente didática.

1.3.1.1 Subestação de média tensão nível I

É aquela cujo nível de tensão está compreendido entre 2,3 kV e 25 kV, sendo as de maior predominância as subestações na tensão de 13,8 kV utilizadas na maioria das regiões do Norte, Nordeste e Sudeste do Brasil e as subestações de 13,2 kV utilizadas em algumas áreas das regiões do Nordeste do Brasil e também em poucos locais das regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste.

Essas subestações, notadamente as de 13,2 kV e 13,8 kV, são utilizadas nas indústrias de pequeno e médio portes. Também são utilizadas em condomínios residenciais de grande porte e em estabelecimentos comerciais de consumo elevado.

Nas instalações industriais de pequeno porte, as potências variam entre 300 kVA e 5000 kVA. Pela legislação, Resolução Normativa 414/2010 da ANEEL, atualizada pela Resolução Normativa 725/2016, a concessionária se obriga a atender a unidade consumidora até a potência demandada ou contratada de 2500 kW. Acima desse valor cabe à concessionária a decisão de atender ao empreendimento industrial através do seu sistema de distribuição local, em 13,20 kV ou 13,80 kV, ou através do seu sistema de subtransmissão nas tensões de 69 kV, 88 kV ou 138 kV.

Esse mesmo procedimento é aplicado em edificações comerciais e em residências.

A Figura 1.2 mostra a vista frontal de uma subestação industrial de 13,80 kV, muito comum nos empreendimentos industriais brasileiros.

1.3.1.2 Subestação de média tensão nível II

É aquela cujo nível de tensão está compreendido entre 34,5 kV e 46 kV, sendo as de maior predominância as subestações na tensão de 34,5 kV, utilizadas com muita frequência nas redes coletoras aéreas ou subterrâneas de parques eólicos e fotovoltaicos. Como esses níveis de tensão não são normalmente disponíveis nos sistema de distribuição das concessionárias brasileiras, as subestações de média tensão nível II são encontradas também em empreendimentos industriais de grande porte na função de subestações secundárias atendendo a determinados tipos específicos de carga.

1.3.1.3 Subestação de alta tensão nível III

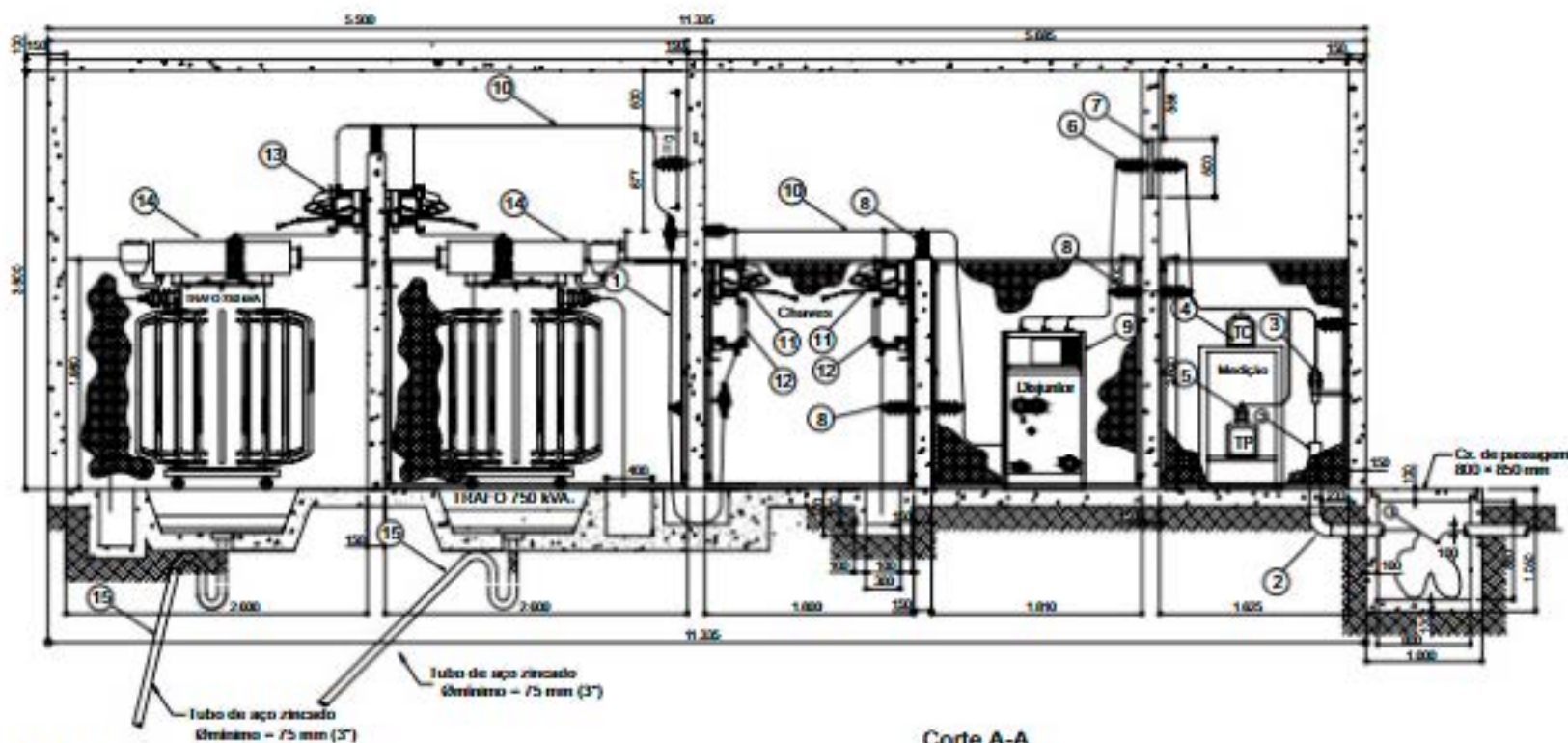
São subestações utilizadas praticamente por todas as companhias distribuidoras de energia elétrica do Brasil. Seu nível de tensão está compreendido entre 69 kV e 145 kV. As subestações de 69 kV são predominantes nessa faixa de tensão. Já as subestações de 138 kV têm seu uso restrito a poucos estados da Federação. No Nordeste, por exemplo, são empregadas pela Eletrobras Companhia Energética do Piauí (CEPISA), Companhia Energética de Pernambuco (CELPE) e Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia (COELBA).

Na região Sudeste existe o sistema de 88 kV, no qual um grande número de indústrias está conectado.

As indústrias brasileiras de médio porte possuem subestações próprias, em sua grande maioria, na tensão de 69 kV. A Figura 1.3 mostra uma subestação de 69 kV, com arranjo simples típico utilizado tanto nas instalações industriais como em parques eólicos de pequeno e médio portes na função de subestação elevadora.

1.3.1.4 Subestação de alta tensão nível IV

São subestações utilizadas predominantemente na Rede Básica do Sistema Interligado Nacional (SIN). Seu nível de tensão está compreendido entre 230 kV e 440 kV. As subestações de 230 kV são utilizadas praticamente em todas as áreas das concessionárias do Brasil. As subestações industriais de 230 kV



Notas:

- 1 - Cabo de cobre isolado 8,7/15 kV, isolamento EPR.
- 2 - Eletroduto de PVC, Classe A, diâmetro de 3".
- 3 - Terminação termocostrátil ou a frio, classe 15 kV, para cabo de cobre, 35 mm², fornecida com kit completo, ou Mufas monopolar.
- 4 - Transformador de corrente, 15 kV, destinado à medição de energia.
- 5 - Transformador de potencial, classe 15 kV, destinado à medição de energia.
- 6 - Bucha de passagem, 15 kV/100 A, uso interno-interno.
- 7 - Chapa de passagem 1500 × 500 mm × 1/8".
- 8 - Isolador de apoio, uso interno, 15 kV.
- 9 - Disjuntor tripolar, tipo extraível 15 kV, a vácuo, corrente nominal 400 A, ruptura 400 MVA com proteção de sobrecorrente $\frac{20}{10}$ e $\frac{20}{10}$ N através de relés secundários com trip capacitivo, TC proteção 200-5, 10BC100.
- 10 - Barramento de cobre NU, redondo, diâmetro externo de 10 mm.
- 11 - Chave seccionadora tripolar, comando simultâneo, 15 kV/200 A, acionamento por mola carregada manualmente acoplada à base fusível de alta capacidade de ruptura e dispositivo de acionamento por fusível.
- 12 - Fusível de alta capacidade de ruptura, 50 A/15 kV, com pino percussor para acionamento de chave seccionadora.
- 13 - Chave seccionadora tripolar, comando simultâneo, acionamento manual, 200 A/15 kV, com manobra externa.
- 14 - Transformador trifásico, a óleo mineral, 750 kVA, 13.800/13.200/12.600-380/220 V, impedância percentual de 5,5 % deslocamento angular 30 graus, delta primário e estrela secundária aterrada.
- 15 - Tubo de ferro galvanizado de 3".

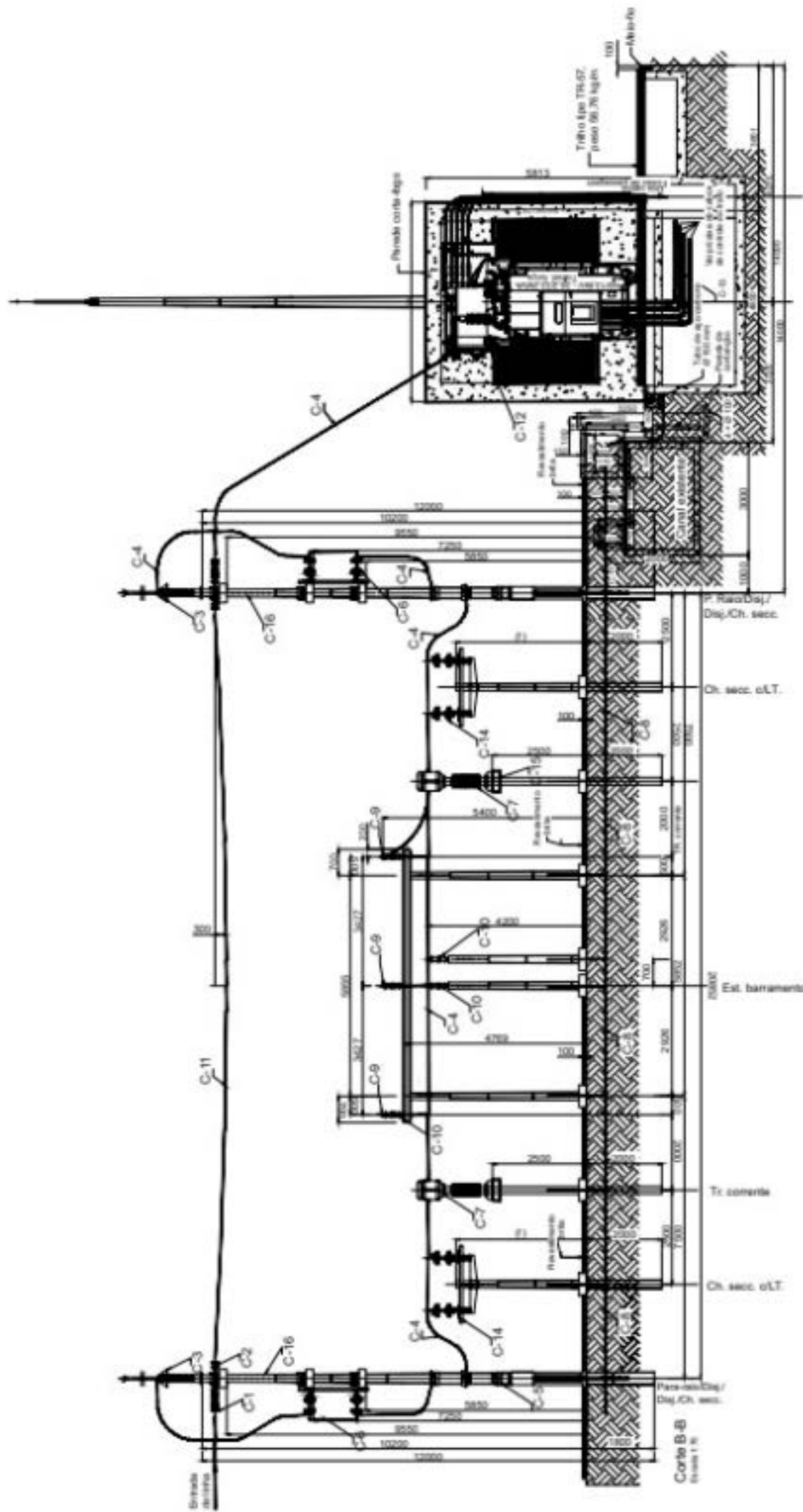
Figura 1.2 Vista frontal da subestação.

são operadas normalmente pelas equipes técnicas do próprio empreendimento, porém o arranjo de barramento de 230 kV deve obedecer aos Procedimentos de Rede do Operador Nacional do Sistema (ONS), responsável pela operação da Rede Básica. Já as subestações de 345 kV pertencem em sua grande maioria a FURNAS Centrais Elétricas e a algumas concessionárias que operam no estado de São Paulo. A tensão de 230 kV é o menor nível de tensão do Sistema Interligado Nacional, operado pelo ONS.

As grandes indústrias brasileiras, principalmente as de eletrointensivas, possuem subestações próprias de 230 kV. A Figura 1.4 mostra uma subestação de 230 kV, com arranjo de barramento duplo, 1 disjuntor a 4 chaves e cuja funcionalidade será discutida no Capítulo 2.

1.3.1.5 Subestação de alta tensão nível V

Classificadas como de Extra-Alta Tensão, são subestações utilizadas predominantemente na Rede Básica do Sistema Interligado Nacional (SIN). Seu nível de tensão está compreendido entre 500 kVca e ± 800 kVcc. No Brasil a tensão máxima das subestações existentes em corrente alternada é de 765 kV (Furnas). No Norte e Nordeste predominam as subestações de 230 kV nos sistemas elétricos da Eletrobras Companhia Hidroelétrica do São Francisco S/A (CHESF) e da Eletrobras Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A (ELETRONORTE), sendo de 550 kV a tensão mais elevada dos sistemas elétricos das mencionadas geradoras. A Figura 1.5 mostra uma subestação de 500 kV.



(*) Variável em função da altura da chave

Material				Material			
REF	UD	Código	Relação material	REF	UD	Código	Relação material
C-1			Cadeia c/ 5 led. de disco - 69 kV	C-9			Tubo de alumínio 50 x 10 mm
C-2			Cadeia c/2 isol. de disco - 15 kV	C-10			Isolador pedestal 69 kV
C-3			Para-raios 72 kV	C-11			Cabo de aço HS 5/16"
C-4			Cabo de alumínio CA-266.8	C-12			Transformador 69/13.8 kV-60 MVA
C-5			Disjuntor TRIP 1250 A/31 kA-69 kV	C-13			Cabo cobre isol. EPR 12/20 kV
C-6			Chave secc. TRIP 1250 A/69 kV-verical	C-14			Chave secc. TRIP 1250 A/69 kV - horizontal
C-7			Transf. corrente p/prot. 200/400-5-5 A	C-15			SupORTE Jabaquara
C-8			Cabo de cobre NUJ 95 mm²	C-16			Poste conor. arm. 600/12B-3

Figura 1.3 Subestação em estrutura de concreto armado - vista lateral.



Figura 1.4 Subestação de 230 kV.

1.3.2 Categoria de utilização

As subestações podem ser planejadas e projetadas para exercer diferentes funções no sistema no qual irão operar.

1.3.2.1 Subestação elevadora

É aquela que eleva o nível de tensão gerado por uma fonte de energia elétrica e distribui a potência associada para as linhas de transmissão com tensão mais elevada do que a de origem. Assim, são as subestações de usinas hidráulicas, térmicas, eólicas, fotovoltaicas etc.

1.3.2.2 Subestação abaixadora

É aquela que reduz o nível de tensão gerado por uma fonte de energia elétrica e distribui a potência associada para as redes de distribuição aéreas e subterrâneas alimentando subestações com menor nível de tensão.

É normalmente instalada na periferia dos centros urbanos com a finalidade de evitar que as linhas de transmissão de

tensões elevadas sejam construídas no espaço urbano levando transtornos à população e limitando o uso do solo. Normalmente, essas subestações são alimentadas por linhas de transmissão de 230 kV e 550 kV as quais estão conectadas às redes de subtransmissão ou simplesmente de distribuição, denominação oficial dos Procedimentos de Rede, com tensões entre 69 kV e 138 kV.

1.3.2.3 Subestação de distribuição

É aquela destinada a reduzir o nível de tensão de forma a atender às necessidades das áreas de concessão de determinada região ou estado da Federação. Essas subestações normalmente pertencem às empresas de distribuição de energia elétrica e aos consumidores de médio porte. Normalmente, são subestações do tipo aérea instaladas em poste de concreto armado ou de ferro e são conectadas às redes de distribuição aéreas, ou do tipo *padmounted*, ou ainda do tipo subterrâneo, quando conectadas a redes subterrâneas. As tensões frequentes são 13,2 kV e 13,8 kV.

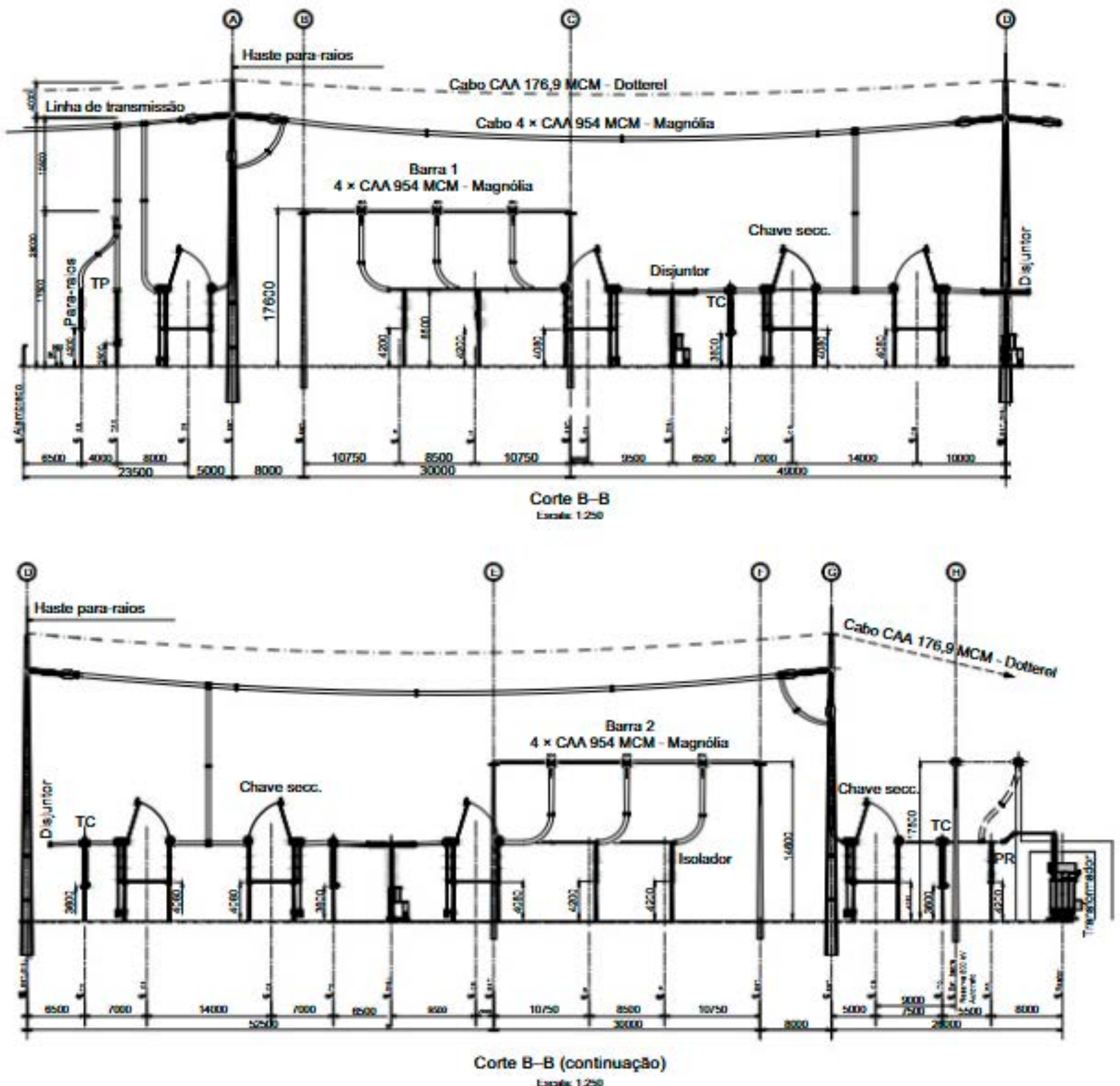


Figura 1.5 Subestação de extra-alta tensão de 500 kV.

1.3.2.4 Subestação de manobra

É aquela que se destina ao chaveamento de linhas de transmissão de 230 kV a 750 kV. Em geral, são subestações pertencentes à Rede Básica. Também existem subestações de manobra que operam em sistemas de tensões de 138 kV, 88 kV ou 69 kV.

1.3.2.5 Subestação conversora

É uma subestação normalmente pertencente ao sistema de corrente contínua e que pode ser retificadora ou inversora.

1.3.2.6 Subestação industrial

É aquela que é suprida por um ou mais alimentadores de uma rede de distribuição pública ou por uma ou mais linhas de subtransmissão ou transmissão, reduzindo a tensão de alimentação a valores compatíveis com as tensões de utilização da indústria.

1.3.2.7 Subestação móvel

É aquela montada sobre um veículo motorizado ou não e tem por objetivo atender a situações emergenciais. Na sua grande

maioria utiliza equipamentos compactos e é composta pelos seguintes elementos: (i) chave seccionadora tripolar do lado primário; (ii) disjuntor no lado primário; (iii) transformador de potência com capacidade nominal definida pela empresa utilizadora para atender a maior demanda que o sistema vai requerer em situação emergencial; (iv) disjuntor no lado secundário; (v) chave seccionadora do lado secundário; (vi) painel de relés de proteção; (vii) chave seccionadora do transformador de serviços auxiliares; e (viii) transformador de serviços auxiliares. Outros equipamentos podem ser utilizados em função das necessidades de uso da subestação móvel.

Em geral, esse tipo de subestação é adquirido pelas empresas concessionárias de energia elétrica para usar em suas subestações fixas quando da perda do transformador de potência. Pode ser utilizada também em eventos realizados em locais onde não há centros de transformação com capacidade necessária para atender à demanda esperada.

Existem subestações móveis em média e alta tensão, ou seja, (i) 13.800/380-220 V; (ii) 69/13,8 kV e (iii) 230/69 kV.

Essas subestações são quase sempre alimentadas pelo sistema de distribuição ou transmissão presente no local de utilização. Raramente, são alimentadas por geradores móveis.

Existem também empresas privadas que adquirem esse tipo de subestação para prestação de serviços tanto às concessionárias de serviço público como ao setor industrial.

As subestações móveis podem ser fabricadas do tipo aberto ou do tipo fechado (enclausurado). Esse último tipo de subestação, em geral, é transportado até o local de utilização e instalado em uma base fixa de forma temporária.

1.3.3 Forma de operação

Há três formas distintas de operação de uma subestação.

1.3.3.1 Subestações com operação presencial

São aquelas que exigem a presença constante de um operador, em geral, com revezamento por turno. Para pequenas subestações com tensões iguais ou superiores a 69 kV é necessário apenas 1 (um) operador por turno. Para subestações mais complexas há exigência de 2 (dois) ou mais operadores. Esse tipo de subestação está aos poucos migrando para sistemas com tecnologias mais avançadas e são denominadas subestações de operação assistida ou supervisionadas.

1.3.3.2 Subestações supervisionadas

São aquelas dotadas de um sistema supervisorio digital que permite que se controle e supervisione a partir de locais remotos todos os pontos de importância operacional da subestação. Para operar essas subestações não há necessidade da presença de um operador.

Essas subestações possuem um sistema digital capaz de acionar equipamentos, registrar as informações de corrente, tensão, potência etc., em tempo real, enviando essas informações ao Centro de Operação do Sistema que comanda, controla e supervisiona toda a subestação.

Além disso, as subestações possuem um sistema de câmeras com visão noturna instalado em pontos estratégicos (entradas, barramentos, casa do comando e controle) que estão integradas ao sistema supervisorio. São utilizados também sensores de pre-

sença do tipo térmico que enviam sinal de alarme de intrusão para o Centro de Operação do Sistema.

1.3.4 Funções das subestações

Em termos gerais, as subestações podem ser classificadas como a seguir.

1.3.4.1 Subestação central de transmissão

É aquela normalmente construída ao lado das usinas produtoras de energia elétrica, cuja finalidade é elevar os níveis de tensão fornecidos pelos geradores para transmitir a potência gerada aos grandes centros de consumo.

1.3.4.2 Subestação receptora de transmissão

É aquela construída próxima aos grandes blocos de carga e que está conectada, através de linhas de transmissão, à subestação central de transmissão ou a outra subestação receptora intermediária.

1.3.4.3 Subestação de subtransmissão

É aquela construída, em geral, no centro de um grande bloco de carga, alimentada pela subestação receptora e de onde se originam os alimentadores de distribuição primários, suprindo diretamente os transformadores de distribuição e/ou as subestações de consumidor.

1.3.4.4 Subestação de consumidor

É aquela construída em propriedade particular suprida através de alimentadores de distribuição primários, originados das subestações de subtransmissão e que suprem os pontos finais de consumo. As subestações de consumidor podem ser do tipo industrial, quando implantada dentro de uma instalação industrial, comercial, quando implantada em empreendimentos comerciais, tais como *shopping center*, edifícios para escritórios etc., e residencial, quando instaladas em edificações para uso de moradia.

A Figura 1.6 mostra, esquematicamente, a posição de cada tipo de subestação dentro do contexto de um sistema de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica.

As concessionárias de serviço público de energia elétrica geralmente possuem normas próprias que disciplinam a construção das subestações de consumidor, estabelecendo critérios, condições gerais de projeto, proteção, aterramento etc. Todas as companhias concessionárias de distribuição de energia elétrica disponibilizam aos interessados as normas de fornecimento em tensões primária e secundária que, no seu todo, está compatível com as normas brasileiras, notadamente as normas Instalações Elétricas de Baixa Tensão (NBR 5410) e Instalações Elétricas de Alta Tensão (NBR 14039).

A escolha do número de subestações dentro de uma planta industrial depende da localização e concentração das cargas, bem como do fator econômico que envolve essa decisão, cujas linhas de orientação são:

- Quanto menor a capacidade da subestação, maior o custo por kVA.
- Quanto maior o número de subestações unitárias, maior será o emprego de cabos de média tensão.

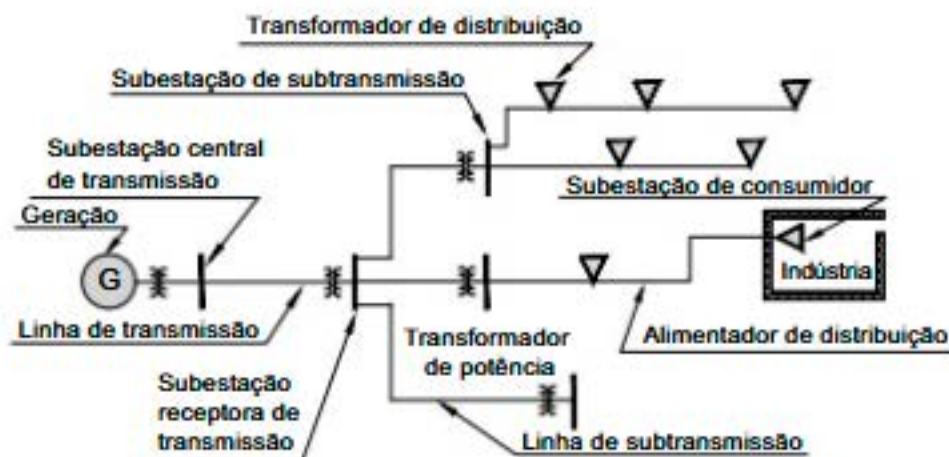


Figura 1.6 Funções das subestações inseridas em um sistema elétrico.

- Desde que convenientemente localizadas, quanto maior o número de subestações unitárias, menor será o emprego de cabos de baixa tensão.
- Quanto menor o número de subestações unitárias de capacidade elevada, menor será o emprego de cabos de média tensão e maior o uso de cabos de baixa tensão.

Como se pode observar, o projetista deve assumir um compromisso técnico-econômico que melhor favoreça tanto a qualidade da instalação como o custo resultante.

É comum o projetista receber do interessado a planta baixa com o arranjo físico das máquinas e com o espaço reservado para a subestação.

Um projeto de subestação deve conter os seguintes elementos:

a) Memorial descritivo

Visa a fornecer aos interessados (inclusive à concessionária que aprovará o projeto) os seguintes dados:

- Finalidade do projeto.
- Local onde vai ser construída a subestação.
- Carga prevista e tipo de subestação (abrigada, ao tempo, blindada etc.).
- Memorial de cálculo da demanda prevista.
- Descrição sumária de todos os elementos de proteção utilizados, baseada no fluxo de carga e no cálculo do curto-circuito.
- Características completas de todos os equipamentos utilizados.

No caso de empreendimentos fabris, o valor das cargas elétricas de uma indústria define a capacidade nominal da subestação que será adotada. Essa subestação pode ser localizada em um único ponto da indústria ou ser distribuída em vários pontos normalmente próximos aos centros de carga. Como já comentamos, a legislação estabelece que a concessionária de serviço público de eletricidade se obriga a suprir os seus consumidores em média tensão até uma demanda máxima contratada de 2500 kW. A partir desse valor, o suprimento deve ser em alta tensão, ou seja, nas tensões de 69 kV, 88 kV, 138 kV ou 230 kV, de acordo com o sistema disponível no local do empreendimento, considerando ainda: (i) o valor da carga a ser suprida e o cálculo econômico; (ii) o custo da rede de alimentação externa; (iii) o custo da subestação; e (iv) o valor da tarifa média da energia a ser consumida em cada uma das opções

mencionadas. No entanto, a concessionária poderá, a seu critério, suprir o consumidor em média tensão com demanda superior a 2500 kW, em função da disponibilidade do seu sistema de distribuição.

As subestações de média tensão (15 kV) constituem a grande maioria das aplicações industriais. No entanto, com a utilização crescente de cargas que demandam grande consumo de energia elétrica é necessário que sejam utilizadas subestações com maior capacidade nominal, sendo as de maior aplicação as subestações na tensão de 69 kV (utilizadas genericamente na maioria das regiões brasileiras), na tensão de 88 kV (utilizadas em parte da região Sudeste) e na tensão de 230 kV (utilizadas genericamente em todas as regiões brasileiras).

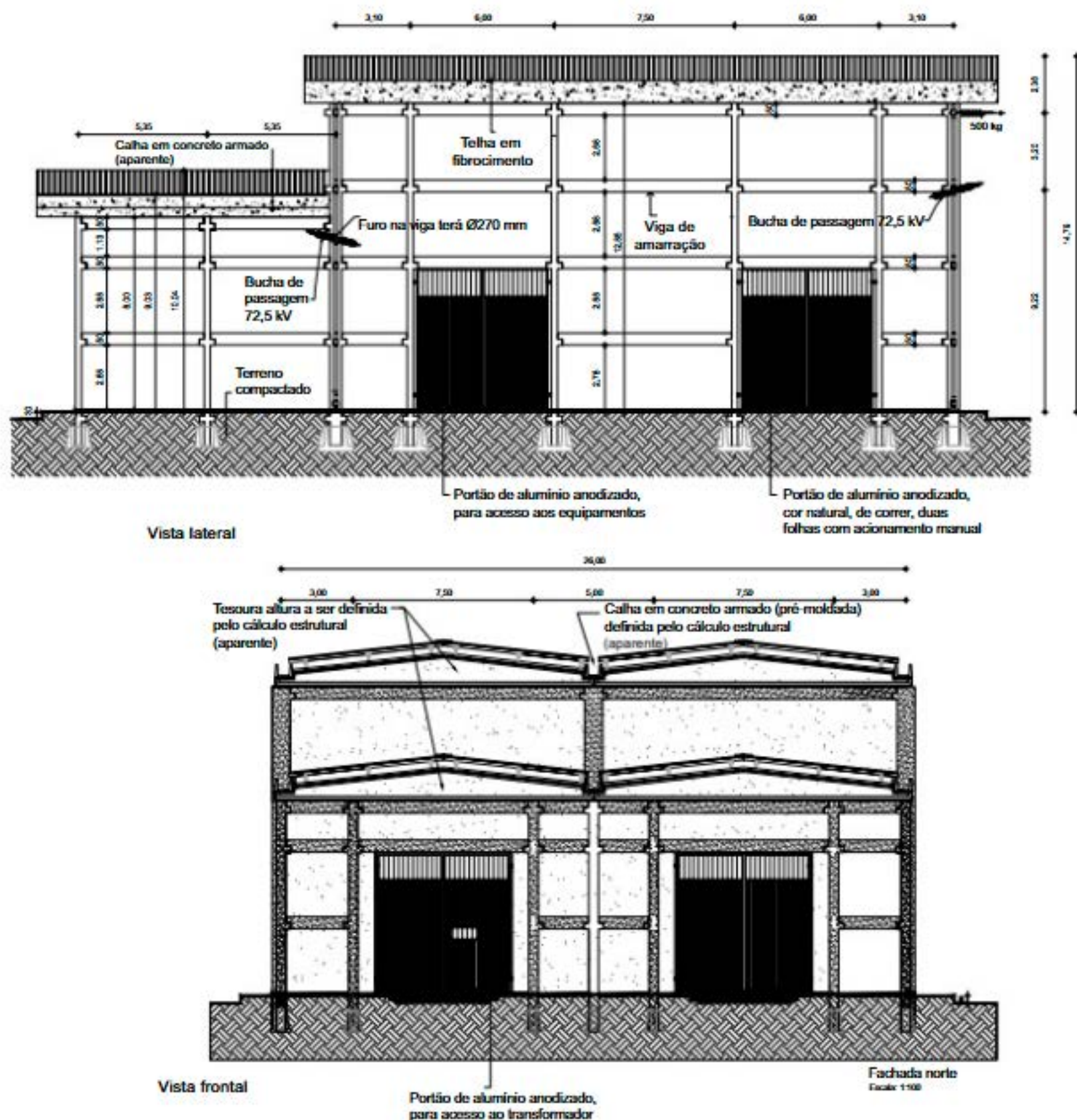
1.3.5 Tipos construtivos

Os principais tipos construtivos das subestações são os seguintes.

1.3.5.1 Instalação abrigada

São aquelas cujos equipamentos são instalados no interior de uma edificação normalmente feita com estrutura de concreto armado. Tem seu aspecto construtivo visto na Figura 1.7. Esse galpão contém uma subestação abrigada de 2 × 15 MVA – 6 9/13,8 kV construído em uma zona com elevada poluição salina.

Nesse tipo de subestação todos os equipamentos de alta tensão são instalados no interior de uma construção que pode ser totalmente fechada com ventilação ou parcialmente fechada. Em subestações sujeitas a altos índices de poluição, seja por concentração de contaminantes salinos (muito próximas ao litoral) ou contaminantes industriais, são normalmente instaladas abrigadas. Apresentam um custo mais elevado. Não são raras subestações abrigadas em 69 kV ou 88 kV. Somente em casos muito especiais são construídas subestações abrigadas em 230 kV. Nesse nível de tensão, em geral, quando se faz necessária a instalação de uma subestação abrigada utiliza-se o tipo de subestação compacta *Gas Insulation Switchgear* (GIS), em que todos os equipamentos de alta tensão, TCs, TP, disjuntores e chaves seccionadoras, são instalados no interior de robustos cilindros metálicos, cheios do gás SF₆, sob pressão.



1.3.5.2 Instalação ao tempo em barramentos nus e instalação convencional

São aquelas cujos equipamentos devem ser próprios para instalação ao tempo, sujeitos à chuva e a outras intempéries. Seu aspecto construtivo é visto na Figura 1.8.

É o tipo mais comum e de menor custo. Nesse caso, são utilizados equipamentos convencionais de alta tensão, TCs, TP's, para-raios, disjuntores e chaves seccionadoras fabricadas para

operação ao tempo, sujeitos a intempéries. A grande maioria dos projetos de subestações de alta tensão, iguais e superiores a 69 kV, são de construção ao tempo.

1.3.5.3 Instalação ao tempo em barramentos isolados compactos

São aquelas construídas ao tempo utilizando equipamentos convencionais e equipamentos compactos, porém com os barramen-