



1

Introdução às Instalações Elétricas de Baixa Tensão

1.1 Generalidades

O objetivo deste livro é analisar o projeto e a execução das instalações elétricas de baixa tensão; porém, para que o projetista ou o instalador se situe melhor, é importante saber onde se localiza a sua instalação dentro de um sistema elétrico, a partir do gerador até os pontos de utilização em baixa tensão.

As instalações elétricas de baixa tensão são regulamentadas pela norma NBR 5410: 2004, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que estabelece a tensão de 1 000 volts como o limite para a baixa tensão em corrente alternada e de 1 500 volts para a corrente contínua. A frequência máxima de aplicação dessa norma é de 400 Hz.

A fim de visualizarmos melhor onde se encontra a nossa instalação predial dentro de um sistema elétrico, conheçamos os componentes do mesmo, desde a estação geradora até os consumidores de baixa tensão. Desse modo, compreenderemos facilmente as diferentes transformações de tensões, desde o gerador até a nossa residência. Toda a energia gerada para atender a um sistema elétrico existe sob a forma alternada trifásica, tendo sido fixada, por decreto governamental, a frequência de 60 ciclos/segundo para uso em todo o território brasileiro.

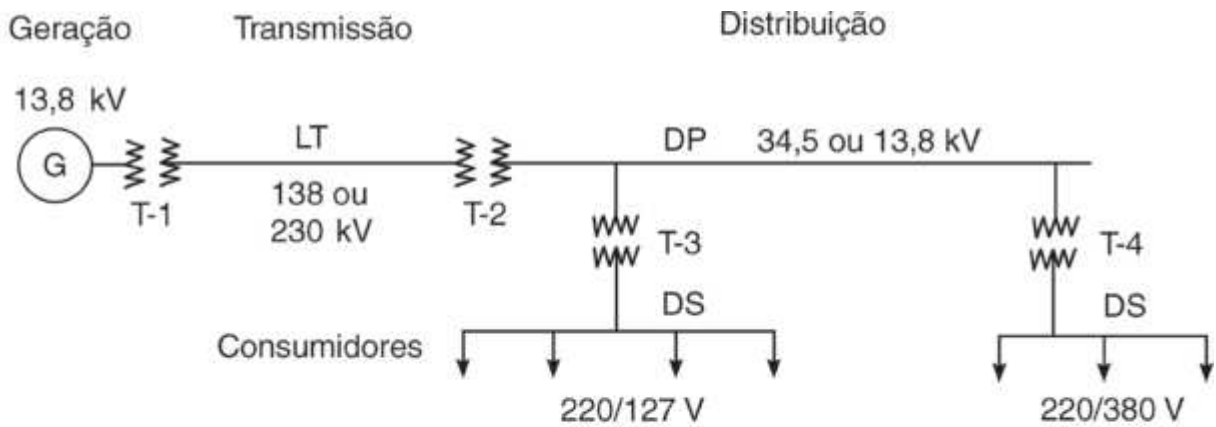
Observemos a Figura 1.1, na qual está representado, em diagrama, um sistema elétrico que compreende os seguintes componentes:

- geração;
- transmissão englobando a subestação elevadora (T-1) e a abaixadora (T-2);
- distribuição.

1.2 Geração

A geração industrial de energia elétrica no Brasil é realizada, principalmente, por meio do uso da energia potencial da água (geração hidrelétrica) ou utilizando a energia potencial dos combustíveis (geração termelétrica).

De acordo com dados de abril de 2011 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), no Brasil, cerca de 70,8% (81 007 MW) da energia é gerada por hidrelétricas, pois o nosso país apresenta um rico potencial hidráulico, que, além do já aproveitado, contém um potencial a ser explorado, o qual é estimado em mais de 150 000 MW.



- G = gerador síncrono de energia (turbina hidráulica ou a vapor)
 T-1 = transformador elevador
 LT = linha de transmissão de energia (transporta a energia até próximo aos centros consumidores)
 T-2 = transformador abaixador
 DP = distribuição primária (dentro da zona urbana, distribui a energia em média tensão)
 T-3 = transformador de distribuição (baixa as tensões para valores utilizáveis em instalações residenciais e comerciais)
 T-4 = idem para instalações industriais;
 DS = distribuição secundária

Diagrama de um sistema elétrico.

Figura 1.1

Das termelétricas existentes no Brasil, 26,4% são convencionais – 30 072 MW – e 1,8% são nucleares – 2 007 MW, as quais utilizam combustíveis fósseis (petróleo, gás natural, carvão mineral etc.), biomassa (madeira, bagaço de cana etc.) e combustível nuclear (urânio enriquecido).

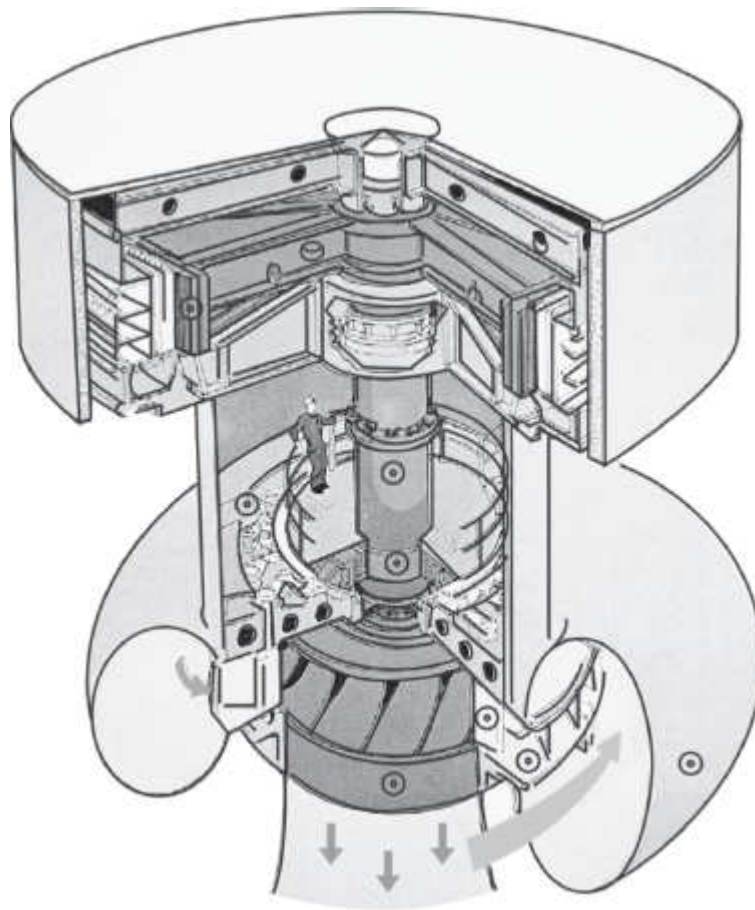
Os geradores de eletricidade necessitam de energia mecânica (cinética) para fazer girar os rotores das turbinas, nos quais estão acoplados, no mesmo eixo, os rotores dos geradores de eletricidade. Portanto, a geração precisa de uma turbina (hidráulica ou térmica) e de um gerador síncrono, montados no mesmo eixo na vertical (Figura 1.2) ou na horizontal.

Para que haja possibilidade de aproveitamento hidrelétrico, duas condições têm de existir:

- água em abundância;
- desnível entre a barragem e a casa de máquinas.

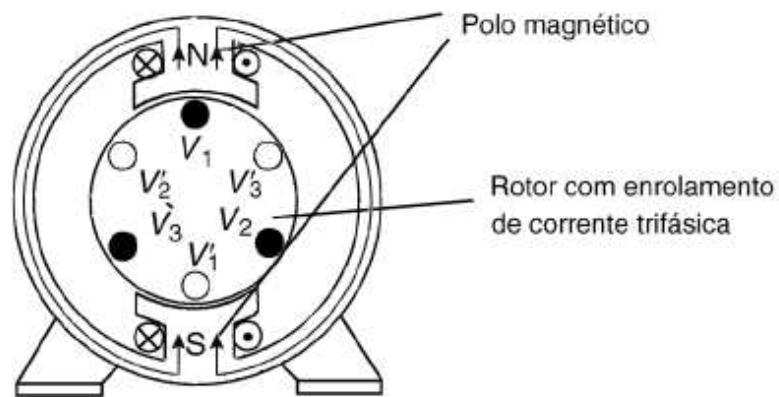
Na Figura 1.3, são apresentados os cortes esquemáticos de três tipos de geradores elétricos:

- em (a), observamos um gerador de polo externo (fixo), e, no rotor, o enrolamento induzido. É necessário que a coleta da tensão gerada ocorra por meio de anéis; no entanto, como isso causa um grave inconveniente, serve apenas para pequenas potências;
- em (b), temos um típico gerador hidráulico de 4 polos; no rotor, está o campo, de pequenas correntes, e também utilizando anéis de contato; no estator, encontra-se o induzido;
- em (c), temos um gerador de 2 polos (inteiriços), usado em usinas termelétricas; no rotor, está o campo, ligado por meio de anéis de contato a uma fonte externa de corrente contínua;

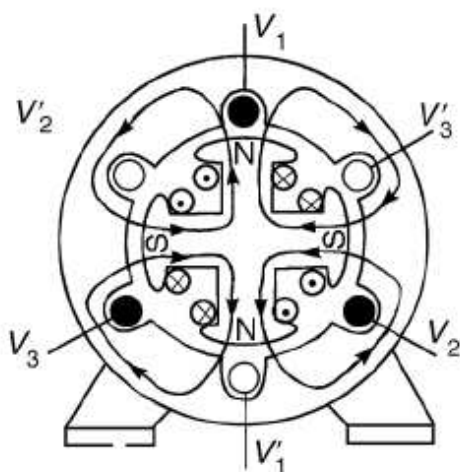


Gerador-turbina.

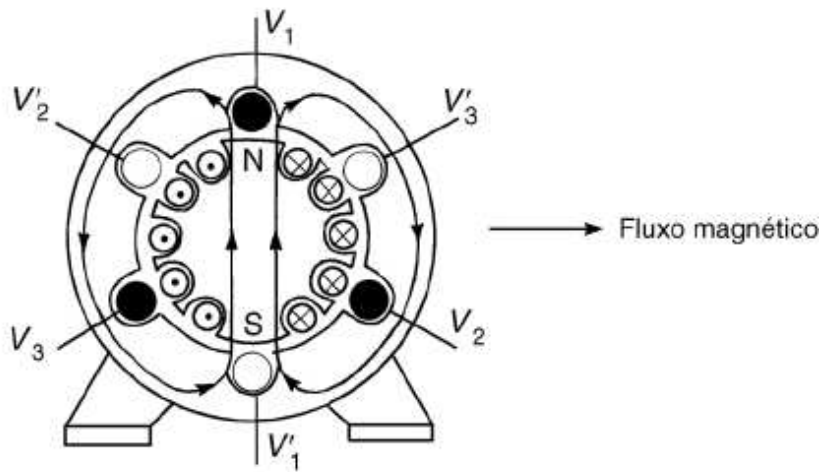
Figura 1.2



(a) Estrutura básica de um gerador de polo externo (pequenas potências)



(b) Gerador de polo saliente tetrapolar (usinas hidráulicas)



(c) Turbogenerador bipolar (usinas térmicas)

Geradores síncronos de energia.

Figura 1.3

Na Figura 1.4, vemos a fotografia da usina hidrelétrica de Marimbondo, que consta de uma barragem de concreto, 8 geradores de 180 MVA cada um e uma subestação elevadora com 24 transformadores de 63,3 MVA cada um.

A título de exemplo, a seguir, as potências de algumas usinas hidrelétricas brasileiras que figuram entre as maiores do mundo.

Usina de Itaipu	12 600 MW
Usina de Tucuruí	8 000 MW
Usina de Ilha Solteira	3 444 MW
Usinas de Paulo Afonso I - II - III - IV	462 MW
Usina de Jupia	1 551 MW
Usina de Serra da Mesa	1 275 MW
Usina de Furnas	1 216 MW

País	Consumo anual (kWh/habitante)

Noruega	24 880
Canadá	16 544
Estados Unidos	12 857
Japão	7 572
Alemanha	6 610
Rússia	6 095
Portugal	4 520
Argentina	2 587
Brasil	2 138
Índia	523
Média mundial	2 600

Fonte: *CIA World Fact Book*, 2008 – população
EIA, US Information Administration – consumo

Para ilustrar o consumo de energia elétrica por habitante no Brasil, o quadro ao lado apresenta o consumo em alguns países e mostra o Brasil figurando entre os mais baixos.



Usina hidrelétrica de Marimbondo — Furnas, com oito geradores de 180 MVA.

1.3 Transmissão

Transmissão significa o transporte de energia elétrica gerada até os centros consumidores.

Para que seja economicamente viável, a tensão gerada nos geradores trifásicos de corrente alternada normalmente de 13,8 kV deve ser elevada a valores padronizados em função da potência a ser transmitida e das distâncias aos centros consumidores.

Desse modo, temos uma subestação elevadora junto à geração, conforme se pode ver na Figura 1.4, uma fotografia aérea da usina de Marimbondo (parte esquerda da figura), e na Figura 1.6.

As tensões mais usuais em corrente alternada nas linhas de transmissão são: 69 kV, 138 kV, 230 kV, 400 kV e 500 kV. A partir de 500 kV, somente um estudo econômico decidirá se deve ser usada a tensão alternada ou contínua, como é o caso da linha de transmissão de Itaipu, com ± 600 kV em corrente contínua. Nesse caso, a instalação necessita de uma subestação retificadora – ou seja, que transforma a tensão alternada em tensão contínua, transmitindo a energia elétrica em tensão contínua – e, próximo aos centros consumidores, precisa de uma estação inversora para transformar a tensão contínua em tensão alternada outra vez, a fim de que se permita a conexão com a malha do sistema interligado.

Na Figura 1.5, vemos em destaque três torres de linhas de transmissão, duas em corrente alternada trifásica e, à frente, uma de corrente contínua (um bipolo de ± 600 kV).



Linha de transmissão. (Cortesia de Furnas Centrais Elétricas.)

1.4 Distribuição

A distribuição é a parte do sistema elétrico incluída nos centros de utilização (cidades, bairros, indústrias). A distribuição começa na subestação abaixadora, onde a tensão da linha de transmissão é baixada para valores padronizados nas redes de distribuição primária, por exemplo, 13,8 kV e 34,5 kV.

A título de ilustração, apresentamos a Figura 1.7, que mostra a configuração do sistema de distribuição primária de Brasília (2006), onde, da SE geral, partem várias linhas de 34,5 kV até as diversas subestações abaixadoras. Essas linhas são, às vezes, denominadas subtransmissão.

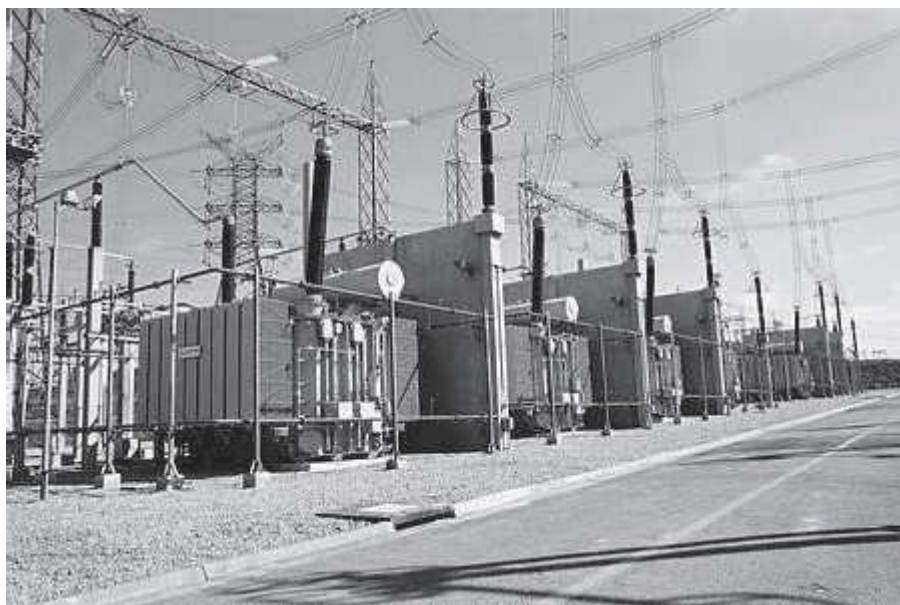
Das subestações de distribuição primária partem as redes de distribuição secundária ou de baixa tensão.

Na Figura 1.8, vemos três diagramas utilizados em redes de distribuição primária, a saber:

- sistema radial;
- sistema em anel;
- sistema radial seletivo.

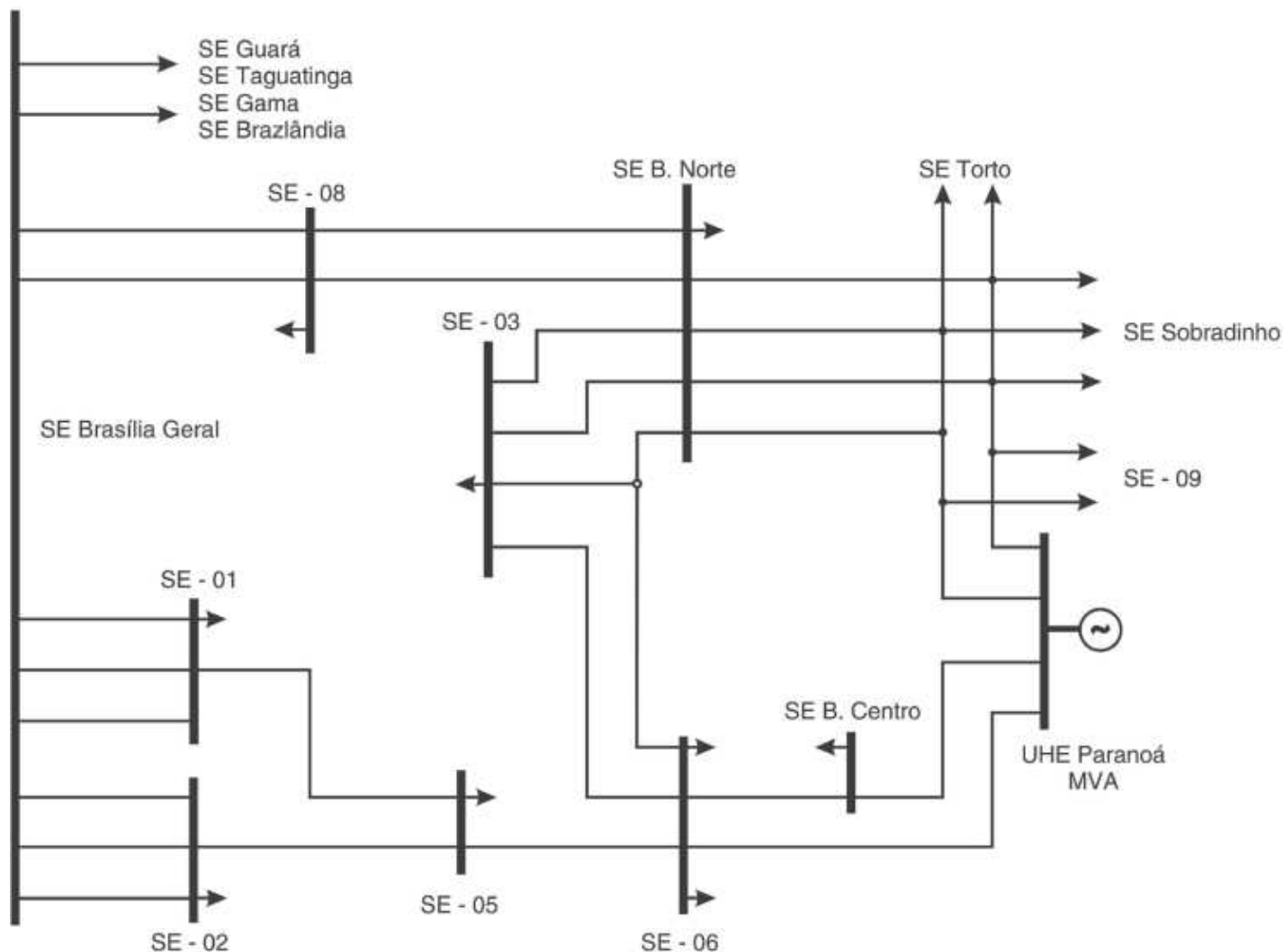
A parte final de um sistema elétrico é a subestação abaixadora para a baixa tensão, ou seja, a tensão de utilização (380/220 V, 220/127 V – Sistema trifásico; e 220/110 V – Sistema monofásico com tape). No Brasil, há cidades onde a tensão fase-neutro é de 220 V (Brasília, Recife etc.); em outras, essa tensão é de 127 V (Rio de Janeiro, Porto Alegre etc.) ou, mesmo, 115 V (São Paulo).

Na Figura 1.9 é apresentado o esquema de ligação final para um consumidor, no qual observamos a rede primária de alta tensão e a rede secundária de baixa tensão. Já na Figura 1.10, vemos tipos de transformadores abaixadores.



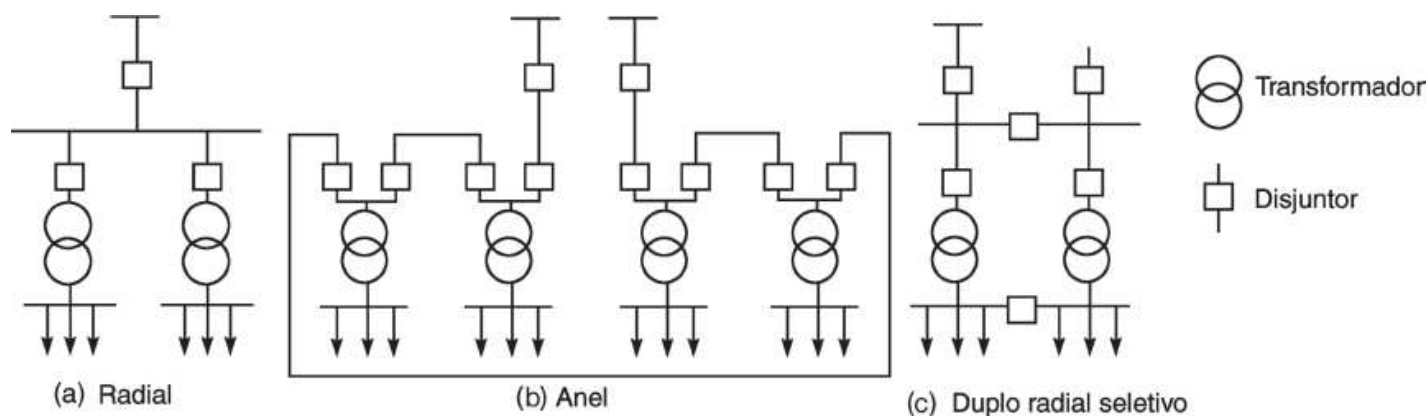
Subestação elevadora. (Cortesia de Furnas Centrais Elétricas.)

Figura 1.6



Configuração do sistema de distribuição primária em 34,5 kV de Brasília (DF) em 2011.

Figura 1.7



Tipos de sistema de distribuição primária.

Figura 1.8

As redes de distribuição dentro dos centros urbanos podem ser aéreas ou subterrâneas. Nas redes aéreas, os transformadores podem ser montados em postes ou em subestações abrigadas; nas redes subterrâneas, os transformadores deverão ser montados em câmaras subterrâneas.

A entrada de energia dos consumidores finais é denominada ramal de entrada (aérea ou subterrânea).

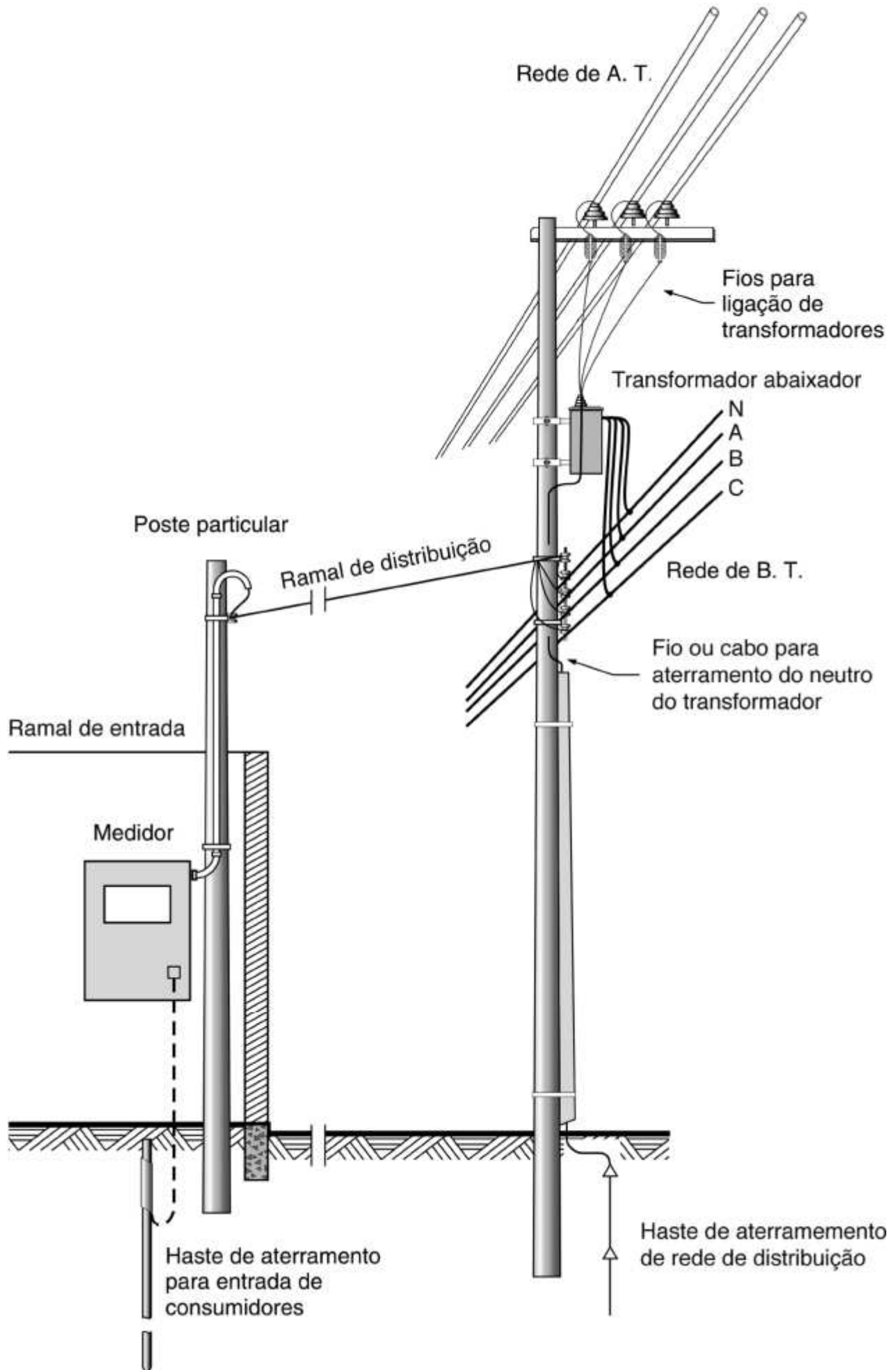
As redes de distribuição primária e secundária normalmente são trifásicas, e as ligações aos consumidores poderão ser monofásicas, bifásicas ou trifásicas, de acordo com a sua carga:

Até 4 kW – monofásica (2 condutores)

Entre 4 e 8 kW – bifásica (3 condutores)¹

Maior que 8 kW – trifásica (3 ou 4 condutores)²

DETALHES DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO ELÉTRICA PRIMÁRIA E SECUNDÁRIA:
LIGAÇÕES DE TRANSFORMADOR, RAMAL DE ENTRADA DE CONSUMIDOR E ATERRAMENTOS



Detalhes das ligações do ramal de ligação e de entrada de consumidor.

Figura 1.9

Agora que já temos conhecimento de um sistema elétrico, vejamos o esquema das instalações prediais, sobre as quais muito falaremos neste volume. Consideremos um edifício de apartamentos ligados ao transformador da Figura 1.10. A ligação da rede de distribuição secundária ao edifício (ramal de ligação) poderá ser feita por cabos subterrâneos ou aéreos, com entrada única para luz e força. Essa denominação – luz e força – é uma prática utilizada por alguns profissionais, em que chamamos “luz” a todo circuito destinado unicamente a fins de iluminação ou pequenos motores monofásicos (geladeiras, máquinas de lavar, aparelhos eletrodomésticos, ventiladores etc.). Conforme a carga, ele pode ser monofásico, bifásico ou trifásico.

Chamamos “força” a todo circuito destinado à força motriz, ao aquecimento, à solda ou a outros fins industriais. Em edifícios residenciais – nos quais usamos força em bombas, elevadores, sauna, piscina, tratamento de esgoto etc. –, os circuitos são quase sempre bifásicos ou trifásicos.

A Figura 1.9 mostra os detalhes das ligações do ramal de ligação e de entrada de um consumidor, inclusive com o transformador abaixador instalado no poste.

Os transformadores abaixadores nas redes de distribuição de energia elétrica podem ser monofásicos, bifásicos ou trifásicos; no caso da Figura 1.9, o transformador é trifásico.

A Figura 1.10 mostra dois tipos de transformadores abaixadores, sendo um refrigerado a óleo e o outro a seco.

Como sabemos, o transformador tem como finalidade abaixar e aumentar as tensões com vistas a permitir a transmissão de energia elétrica da maneira mais econômica possível.



Transformador abaixador a óleo e a seco. (Cortesias de Indústria de Transformadores ITAIPU Ltda. e de TRAFOMIL Ltda.)

Figura 1.10

Na Figura 1.11, que apresenta um sistema típico de geração-transmissão-distribuição de energia elétrica, vemos como se processam o aumento e a diminuição de tensão nos transformadores ao longo do sistema.

Em um transformador ideal (sem perdas), podemos afirmar que o produto da tensão vezes a corrente do lado de alta é igual ao produto da tensão vezes a corrente do lado de baixa.

Assim, para um transformador ideal (sem perdas) de dois enrolamentos, temos:

$$V_1 \times I_1 = V_2 \times I_2 \quad \frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2}$$

V_1 = tensão do lado primário

I_1 = corrente do lado primário

N_1 = número de espiras no primário

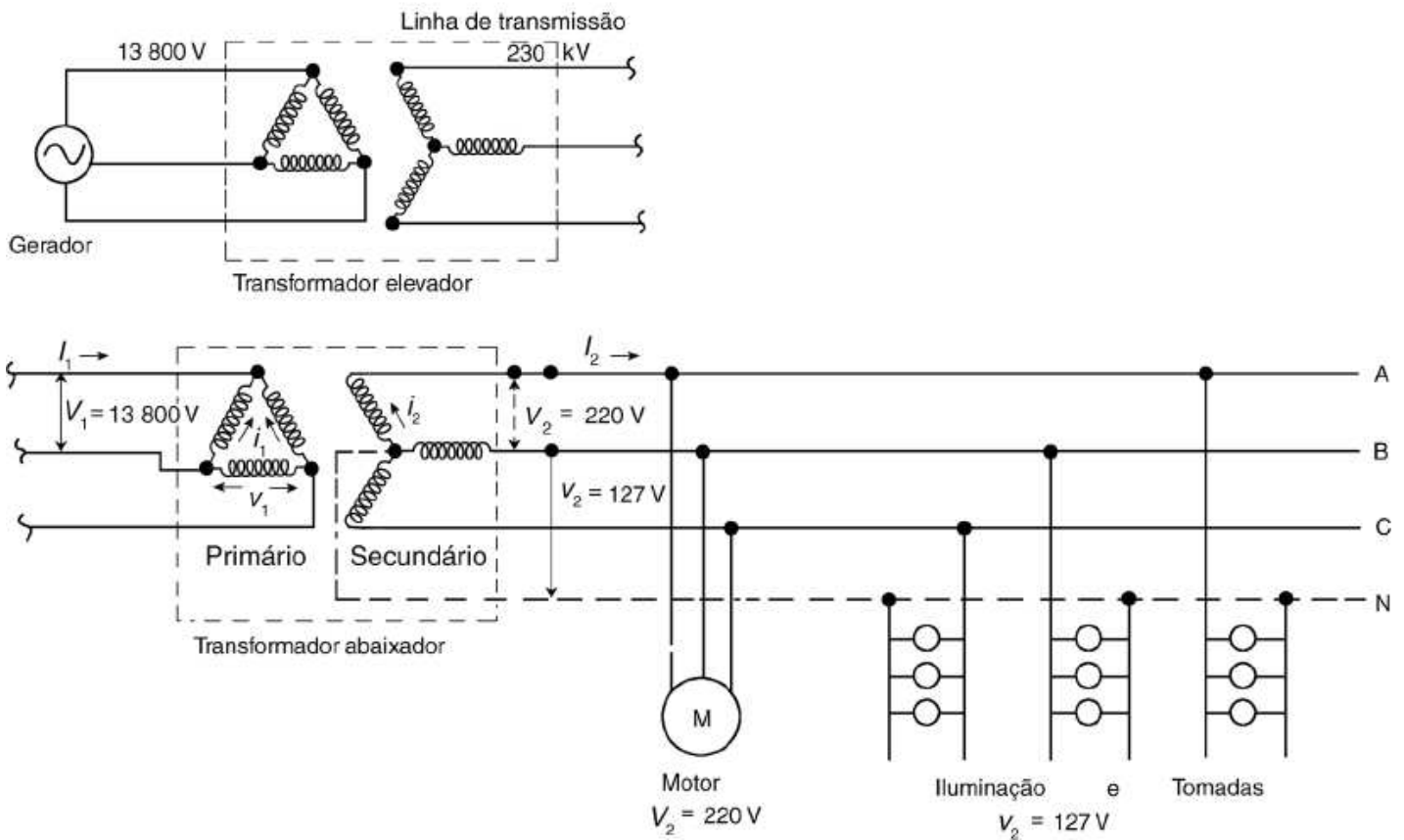
V_2 = tensão do lado secundário

I_2 = corrente do lado secundário

N_2 = número de espiras no secundário

Nos transformadores trifásicos, mais usuais nas redes de distribuição, o lado primário é ligado em triângulo, e o lado secundário, em estrela aterrado.

Rede de Distribuição



Sistema típico de geraçãotransmissão-distribuição.

Figura 1.11

Nesse tipo de ligação, temos as seguintes relações entre tensões e correntes:

Lado primário:

V_1 = tensão de linha ou tensão fase-fase = v_1

v_1 = tensão de fase

I_1 = corrente de linha = $\sqrt{3} i_1$

i_1 = corrente na fase

Lado secundário:

V_2 = tensão de linha ou tensão fase-fase = $\sqrt{3} v_2$

v_2 = tensão entre fase-neutro

I_2 = corrente de linha = i_2

i_2 = corrente entre fase-neutro

EXEMPLO

Se, no secundário, temos $V_2 = 220$ volts, $v_2 = \frac{220}{\sqrt{3}} = 127$ volts

$$\text{Se } V_2 = 380 \text{ volts, } v_2 = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ volts}$$

$$\text{Se } V_2 = 440 \text{ volts, } v_2 = \frac{440}{\sqrt{3}} = 254 \text{ volts}$$

$$\text{Se } V_2 = 208 \text{ volts, } v_2 = \frac{208}{\sqrt{3}} = 120 \text{ volts}$$

1.5 Alternativas Energéticas

Todos nós sabemos que o consumo de energia elétrica vem crescendo porque, cada vez mais, a tecnologia oferece aparelhos que possibilitam economia de tempo e de mão de obra, com uma simples conexão a uma tomada ou a uma chave elétrica. Assim, qualquer construção nova ou reformada resultará em aumento da demanda elétrica. As fontes tradicionais estão, aos poucos, exaurindo-se, e, em face da agressão ao meio ambiente, os combustíveis fósseis, que comprometem a qualidade do ar, precisam ser reduzidos. Somente o gás natural e o álcool não poluem; a queima do álcool, inclusive, resulta em vapor d'água.

Como a água está aos poucos se escasseando devido aos desmatamentos, às queimadas e a outras agressões ao meio ambiente, as grandes centrais hidrelétricas tornam-se cada vez menos recomendáveis, porque causam a inundação de grandes áreas, com prejuízos à fauna e à flora, como a extinção de animais que precisam ser preservados. Diante desse aspecto, restam as fontes alternativas – energia nuclear, solar, eólica, das marés e da biomassa.

A energia nuclear (Figuras 1.12 e 1.13), com o desastre de Fukushima, deve apresentar uma redução no ritmo de construções até que sejam mais analisadas novas medidas de segurança não só para sua operação como também para o problema dos dejetos radioativos, para o qual a tecnologia ainda não encontrou uma solução definitiva.

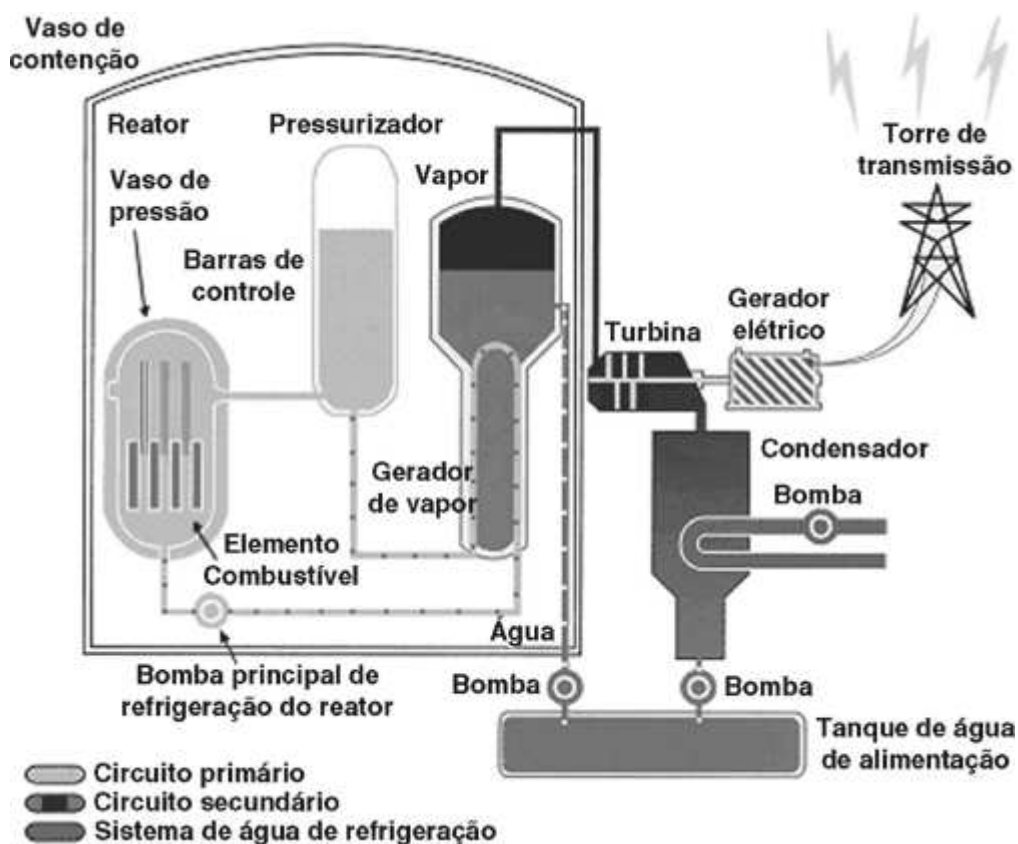


Diagrama de funcionamento de uma central nuclear. (Divulgação Eletronuclear.)

Figura 1.12



Usina nuclear de Angra 2. (Divulgação Eletronuclear.)

Figura 1.13

Mesmo assim, dificilmente encontraremos, no atual desenvolvimento das tecnologias, fontes de energia para substituir a geração nuclear.

Apesar de sua complexidade tecnológica, o funcionamento de uma usina nuclear é fácil de se compreender; afinal, funciona com um princípio semelhante ao de uma usina térmica convencional: o calor gerado pela combustão do carvão, do óleo ou do gás vaporiza a água em uma caldeira. Esse vapor aciona uma turbina, à qual está acoplado um gerador, que produz a energia elétrica. Na usina nuclear, o calor é produzido pela fissão do urânio no núcleo do reator.

A energia solar, para grandes centrais, está em estudos e, nos próximos anos, pode ser uma alternativa economicamente viável.

Pesquisas estão sendo desenvolvidas para o aproveitamento dos ventos (energia eólica) e das marés, inclusive no Brasil, onde já encontramos um grande parque gerador eólico em operação comercial, no Nordeste e na região Sul do país. Como exemplo, o parque eólico de Osório produz energia eólica na cidade de Osório, no Rio Grande do Sul, e é composto por 75 torres de aerogeradores, de 2 MW cada, instalados no alto de torres de concreto de 100 metros de altura (observe a Figura 1.14).



Parque eólico de Osório (RS). (Cortesia da Enerfín, Espanha.)

Figura 1.14

Esse parque tem uma capacidade instalada estimada em 150 MW, sendo a maior do Brasil.

Resumo

- Visão global de um sistema elétrico
- Componentes de um sistema elétrico: geração, transmissão e distribuição
- Vista panorâmica de uma usina hidrelétrica
- Tipos de geradores elétricos
- Conceito de transmissão de energia elétrica
- Distribuição: diagrama de distribuição primária, transformadores abaixadores e ramal de entrada
- Funcionamento de uma usina nuclear
- Vista panorâmica e diagrama de funcionamento de uma usina nuclear

Exercícios de Revisão

1. Qual a tensão-limite de baixa tensão em corrente alternada? E em corrente contínua?
2. Quais são os dois tipos principais de geração de energia elétrica?
3. Para que serve uma subestação elevadora de tensão?
4. Quais são os três sistemas de ligação das redes de distribuição primária?
5. Cite três fontes alternativas de energia.
6. Qual é a relação de espiras nos transformadores elevador e abaixador da Figura 1.11?

¹ A Light, no Rio de Janeiro, não usa mais esse padrão.

² Em algumas concessionárias, há tolerância entre 8 e 15 kW de ligação bifásica; porém, acima de 15 kW, só é permitida a ligação trifásica.