



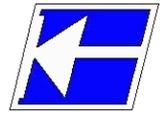
INSTITUTO FEDERAL  
SANTA CATARINA

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA

DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA

CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM ELETRÔNICA INDUSTRIAL

Acionamentos Eletrônicos



---

# GUIA DE ESTUDO

---

## - OBJETIVO DE APRENDIZAGEM - PRINCÍPIOS DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

---

## **PRINCÍPIOS DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS**

### **Objetivo de Aprendizagem**

Conhecer os princípios de instalações elétricas.

### **Objetivos parciais**

- Conhecer o sistema de energia elétrica;
- Descrever os principais elementos de um sistema de energia elétrica;
- Conhecer os tipos de diagramas utilizados em instalações elétricas;
- Descrever os sistemas de aterramento de instalações elétricas;
- Conhecer as implicações de choques elétricos.

### **Aulas relacionadas**

Este objetivo de aprendizagem está relacionado com a aula 01 da disciplina.

### **Pré-requisitos**

Este objetivo de aprendizagem não tem pré-requisitos.

### **Continuidade dos Estudos**

O próximo objetivo de aprendizagem será estudar os elementos de instalações elétricas.

### **Roteiro para estudos**

Os estudos referentes a este objetivo de aprendizagem consistem em:

1. Estudar este documento resumo, realizando as atividades propostas no mesmo;
2. Responder o quiz relacionado a este objetivo de aprendizagem;
3. Caso perceba necessidade, estudar a apresentação deste assunto ou consultar os livros texto indicados para esta disciplina;
4. Realizar os exercícios deste tópico da matéria;
5. Realizar a avaliação final para progredir ao próximo conteúdo.

### **Referências**

- Material disponibilizado para a disciplina de Acionamentos Eletrônicos – 2021/1.  
Departamento Acadêmico de Eletrônica, Instituto Federal de Santa Catarina, Campus Florianópolis.
- CREDER, H. Instalações Elétricas. São Paulo: Livros Técnicos e científicos Editora, 2002.

---

## Check-list

Caro estudante, verifique se você completou as atividades deste objetivo de aprendizagem e obteve êxito para continuar seus estudos.

Assinale as atividades realizadas:

Estudo do documento resumo:

- Leitura do documento resumo;
- Exercícios do documento resumo;
- Atividade avaliativa do documento resumo.
- Obtive êxito e entendi o conteúdo deste documento;
- Ainda não entendi bem o conteúdo e estudarei o mesmo com mais profundidade.

Estou com dúvidas, irei estudar com mais detalhes este conteúdo:

- Assistir a apresentação relacionada ao conteúdo (apresentação 01);
- Ler os capítulos deste conteúdo no livro (capítulos 01 e 02).

Ainda estou com dúvidas:

- Entrarei em contato com o professor.

Obtive êxito, então seguirei em frente:

- Responder ao quiz deste conteúdo no Moodle;
- Informar ao professor que estou avançando com o conteúdo.

Parabéns, continue estudando com afinco e vamos em frente!!

---

# CONTEÚDO

---

**- OBJETIVO DE APRENDIZAGEM -  
PRINCÍPIOS DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS**

## 1 Introdução

O conteúdo a ser estudado neste tópico da disciplina se refere aos elementos iniciais de um sistema de energia elétrica, descrevendo-se os principais elementos que o compõem.

Assim, é fundamental que você conheça e saiba descrever os principais elementos de um sistema de energia elétrica, além dos tipos de diagramas de circuitos para instalações elétricas. Além disso, é essencial que você conheça as implicações que ocorrem quando um ser humano é submetido a um choque elétrico.

### 1.1 Conteúdo – O que irei estudar

Estudaremos neste tópico:

- O sistema de energia elétrica;
- Diagramas unifilar e multifilar;
- Choque elétrico;
- Sistemas de aterramento.

### 1.2 Metodologia – O que devo fazer e como fazer

Leia com atenção o conteúdo a seguir. Ao final deste tópico são apresentados exercícios resolvidos. Após são apresentados alguns exercícios propostos.

Ao realizar estas atividades e se sentir confiante para progredir, siga os passos indicados na primeira página deste documento.

Espera-se que após estudar este assunto, você consiga:

- Descrever os elementos de um sistema de energia elétrica;
- Saber explicar o que são diagramas unifilares e multifilares;
- Comentar sobre os sistemas de aterramento de uma instalação elétrica;
- Descrever as consequências para os seres humanos ao levarem choques elétricos.

A atividade avaliativa deste objetivo de aprendizagem consistirá em perguntar ao estudante para descrever o sistema de energia elétrica brasileiro.

Exemplo de atividade avaliativa:

1. Cite alguns elementos que compõem o sistema elétrico brasileiro.
2. Comente sobre fontes geradoras de energia elétrica.
3. Descreva com suas palavras o que são os diagramas unifilar e multifilar.
4. Comente sobre as consequências de se levar um choque elétrico.

---

## 2 O Sistema de Energia Elétrica

### 2.1 Introdução

A energia elétrica disponibilizada nas residências, comércio e indústrias, é originada, geralmente, a partir do sistema de energia elétrica brasileiro (ligados na rede = *on grid*). Em sistemas isolados, por exemplo, ilhas ou locais remotos, pode-se ter os geradores e consumidores separados (ilhados = *off grid*).

A seguir serão apresentados os principais elementos do sistema elétrico e alguns aspectos de sua operação.

### 2.2 Sistema elétrico brasileiro

O sistema elétrico de maneira geral e o brasileiro em particular, é formado pelos seguintes elementos ou subsistemas:

- Geração – conjunto de geradores de energia elétrica, tais como: usinas hidrelétricas, termoelétricas, termonucleares, eólicas, solares, dentre outras;
- Transmissão – conjunto de linhas de transmissão da energia elétrica dos geradores até a distribuição;
- Distribuição – conjunto de linhas elétricas que conectam as estações (subestações) abaixadoras de tensão até os consumidores.

Em algumas referências na literatura também se considera o conjunto de subestações elevadoras, abaixadoras e conversoras como sendo o sistema de transformação.

A Figura 1 apresenta uma representação simplificada e didática do sistema de energia elétrica, com seus principais subsistemas ou elementos. Já a Figura 2 mostra o sistema simplificado, com a identificação em diferentes cores dos diferentes elementos ou subsistemas que compõem o sistema de energia elétrica. Ainda, a Figura 3 mostra um diagrama elétrico simplificado do sistema de energia elétrica, apontando os níveis mais comuns para as tensões nos principais pontos do sistema. Por sua vez, na Figura 4 se tem a representação do sistema de energia elétrica com os principais níveis de tensão do mesmo.

Os níveis de tensão do sistema de energia elétrico brasileiro (de acordo com Mussoi, 2016<sup>1</sup>) são classificados como:

---

<sup>1</sup> Mussoi, Fernando L. R. *Instalações Elétricas. Apostila. Departamento Acadêmico de Eletrônica, Câmpus Florianópolis, Instituto Federal de Santa Catarina – IFSC, 2016.*

- Extra baixa tensão (EBT) – até 50 V em corrente alternada (CA) e 120 V em corrente contínua (CC);
- Baixa tensão (BT) – até 1000 V em corrente alternada (CA) e até 1500 V em corrente contínua (CC);
- Alta tensão (AT) – acima de 1000 V em corrente alternada (CA) e acima de 1500 V em corrente contínua (CC);
- Extra alta tensão (EAT) – acima de 35 kV;
- Ultra alta tensão (UAT) – acima de 350 kV.

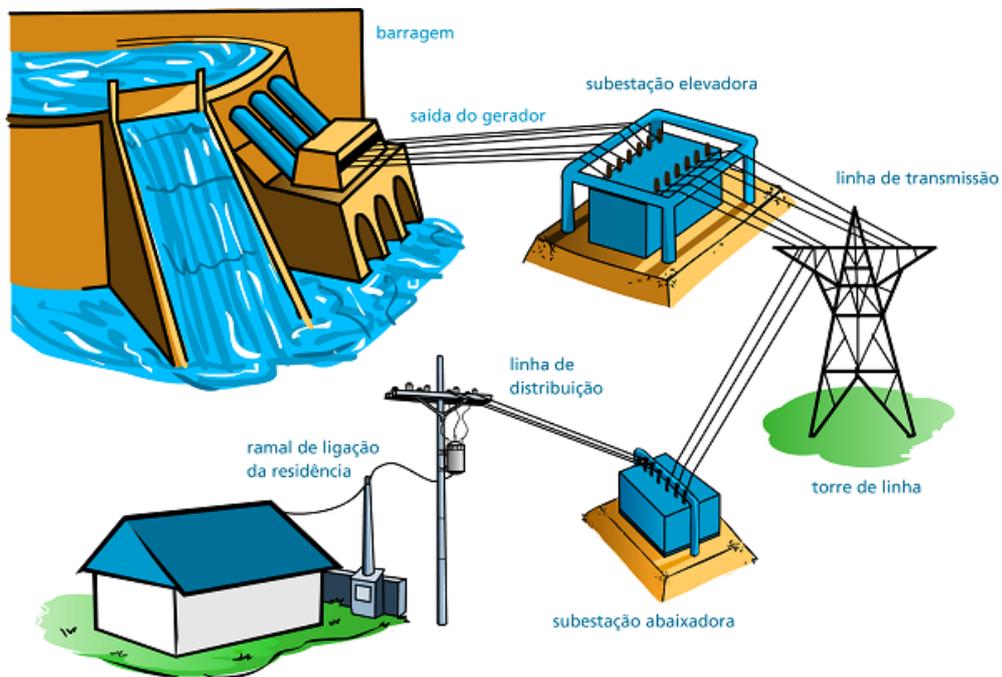


Figura 1 – Estrutura simplificada e didática do sistema de energia elétrica.

Fonte: <https://www.mundodaeletrica.com.br>. Acesso em 20/05/2021.

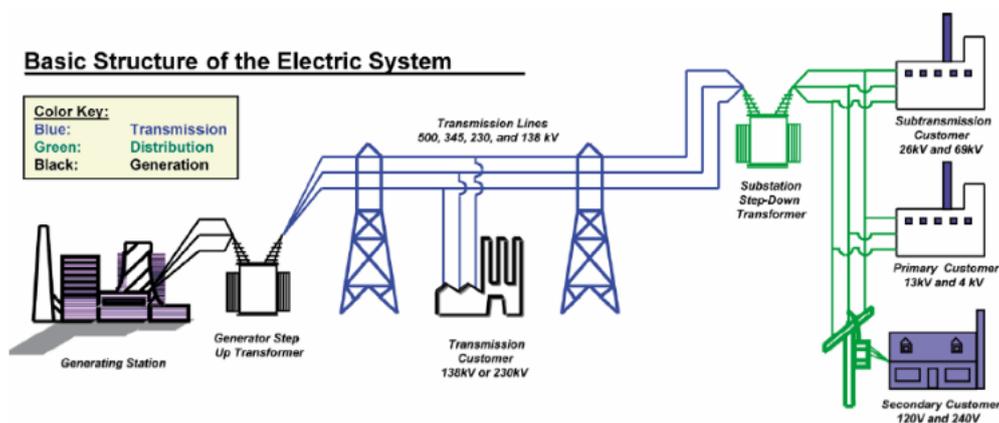


Figura 2 – Estrutura simplificada do sistema de energia elétrica.

Fonte: <https://i2.wp.com/esco-qd.com.br>. Acesso em 20/05/2021.

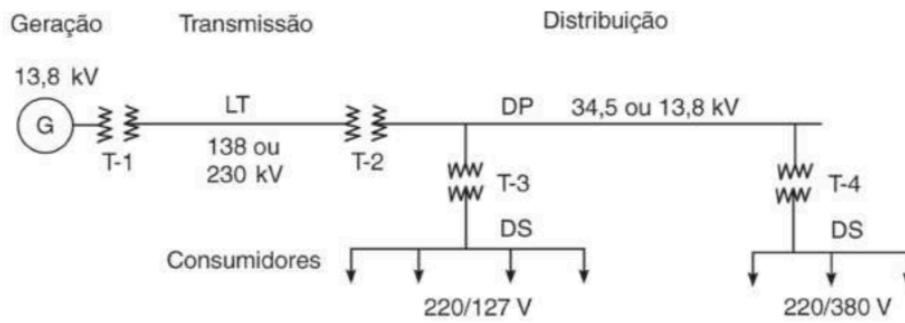


Figura 3 – Diagrama elétrico simplificado do sistema de energia elétrica.

Fonte: (Creder, 2002).

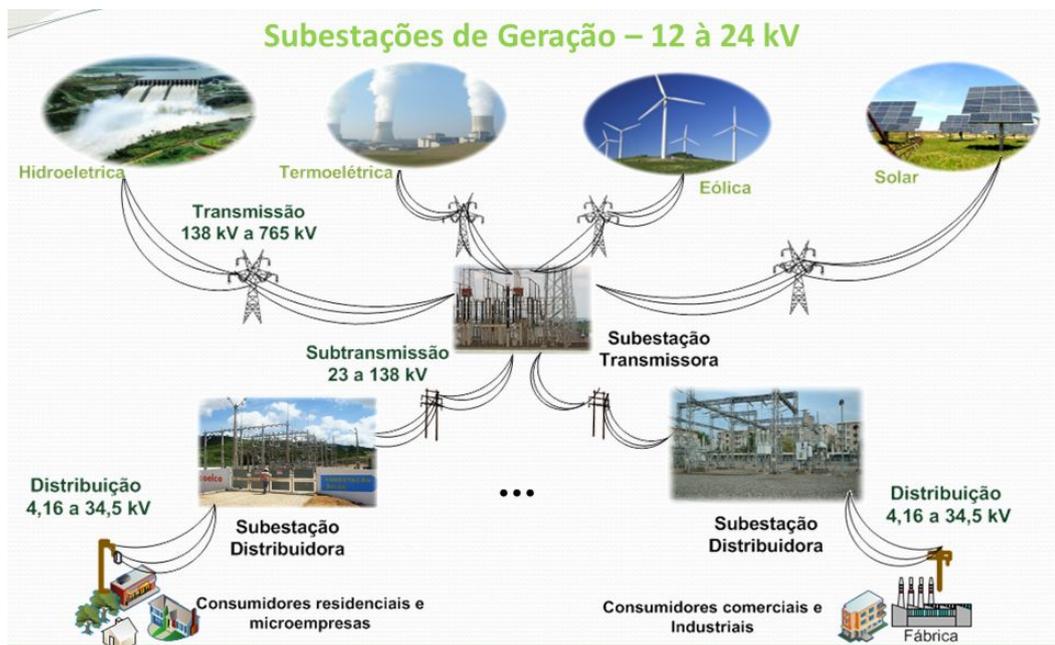


Figura 4 – Estrutura típica do sistema de energia elétrica.

Fonte: <https://i1.wp.com/sunsetenergia.com.br>. Acesso em 20/05/2021.

Atualmente com o uso de energias alternativas e a evolução da eletrônica de potência, é possível implementar sistemas elétricos complexos, ligados (*on-grid*) ou não (*off-grid*) no sistema de energia elétrica, sendo comuns termos como *smart grid* (rede ou sistema elétrico inteligente) e microrredes (*micro grid*). De acordo com (Joabel, 2016), uma microrrede engloba a integração de vários recursos de geração distribuída e um conjunto de cargas em uma pequena rede local (*microgrid*), formado por redes de média (MT) e baixa tensão (BT).

A construção e operação de microrredes ou de redes elétricas inteligentes envolve o conhecimento de diferentes áreas do conhecimento, como elétrica, eletrônica, sistemas de comunicação, controle, segurança, dentre outras.

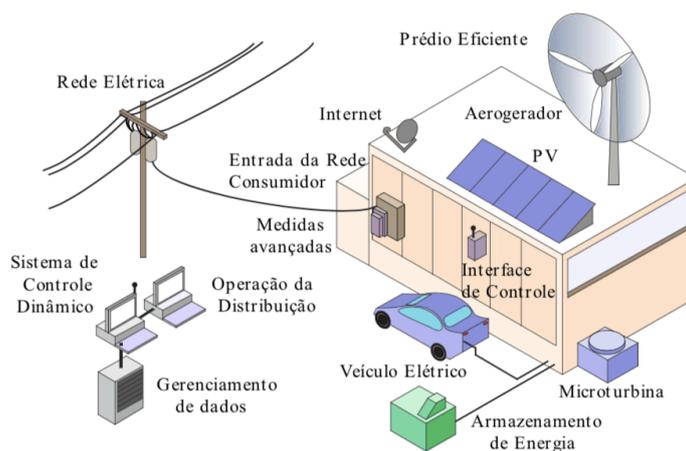


Figura 5 – Exemplo de microrrede predial.

Fonte: (Moia, 2016)<sup>2</sup>.

## 2.3 Geração de energia elétrica

A geração de energia elétrica pode ser realizada por diferentes princípios e elementos. No Brasil, em virtude da abundância de recursos hídricos, é comum a utilização de usinas hidrelétricas; sendo comum atualmente a construção de parques para geração de energia alternativa. Define-se como energia alternativa ou renovável, aquela gerada a partir de fontes de energia renováveis, tais como: solar, eólica, hídrica e geotérmica. Assim, a geração de energia no Brasil, em virtude de utilizar em grande escala a geração hidrelétrica, é considerada limpa, em contraste com sistemas de energia elétrica que utilizam intensamente usinas termoelétricas a partir da queima de carvão ou termonucleares a partir do uso de urânio, por exemplo.

A Figura 6 mostra imagens da Usina Hidrelétrica Itaipu Binacional, uma das maiores do mundo, que gerou em 2016 103,1 milhões de MWh (megawatts-hora), que detem o recorde mundial de geração de energia elétrica (Fonte: <https://www.itaipu.gov.br>, acessado em 20/05/2021). De acordo com a empresa (Itaipu Binacional), “desde o começo de sua operação, em maio de 1984, há 34 anos e sete meses do início do acionamento de suas primeiras unidades geradoras, Itaipu acumula 2,6 bilhões de MWh, energia suficiente para iluminar o mundo inteiro por 42 dias com eletricidade limpa e renovável e mais barata que a termoelétrica. Já Três Gargantas (na China) acumula produção de 1,2 bilhão de MWh, menos da metade do acumulado de Itaipu” (grifado e adendo nosso).

Ainda na Figura 6 mostra-se uma imagem do Complexo Termoelétrico Jorge Lacerda, no município de Tubarão – SC, com capacidade total de 857 MW, formado por sete grupos geradores, agrupados em três usinas: Jorge Lacerda A, com duas unidades geradoras de 50 MW e duas de 66

<sup>2</sup> Moia, Joabel. Sistema de Conversão Estática CA-CC Bidirecional Aplicado à Microrredes CC Bipolares. Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, 2016.

MW cada, Jorge Lacerda B, com duas unidades de 131 MW cada e, Jorge Lacerda C, com uma unidade geradora de 363 MW (Fonte: <https://www.engie.com.br>, acessado em 20/05/2021.).

A Figura 7 mostra uma imagem do sistema de geração termonuclear de Angra dos Reis – RJ, em contraste com o parque de geração solar e eólico na cidade de Tubarão – SC. O sistema de energias alternativas na cidade de Tubarão – SC, próximo à Usina Termoelétrica Jorge Lacerda, possui uma usina solar (Usina Fotovoltaica Nova Aurora) com capacidade de 3 MW de pico, gerados com tecnologia de módulos fotovoltaicos de silício amorfo/microcristalino (a-Si/ $\mu$ c-Si), silício multicristalino/policristalino (p-Si) e disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS), todos com 1 MW cada um; além de uma usina eólica (Central Eólica Tubarão) de 2,1 MW, com uma torre de 120 metros e rotor com diâmetro de 110 metros.

O sistema fotovoltaico instalado no Câmpus Florianópolis do IFSC em 2018, mostrado na Figura 8, é composto por 260 módulos fotovoltaicos de 270 W (de pico) e 5 inversores de 15 kW de 220/380 V, gerando em torno de 70 kW de pico. Por fim, as Figura 8 e Figura 9 mostram outros exemplos de geradores de energia elétrica, alguns possíveis no Brasil, enquanto outros são específicos de determinadas regiões do planeta.



*Usina Hidrelétrica de Itaipu Binacional.*

Fonte: <https://www.itaipu.gov.br>. Acesso em 20/05/2021.



*Complexo Termoelétrico Jorge Lacerda.*

Fonte: <https://www.grandejornal.com.br>. Acesso em 20/05/2021.

*Figura 6 – Exemplos de geradores de energia elétrica.*



*Usina Nuclear de Angra dos Reis.*

Fonte: <http://www.planetaterrazul.com.br>. Acesso em 20/05/2021.



*Planta de energias alternativas.*

Fonte: <http://fotovoltaica.ufsc.br>. Acesso em 20/05/2021.

*Figura 7 – Exemplos de geradores de energia elétrica.*



Planta solar do IFSC – Câmpus Florianópolis.

Fonte: <http://florianopolis.ifsc.edu.br/>. Acesso em

20/05/2021.



Exemplos de sistemas com biomassa.

Fonte: <https://peteletricaufff.wordpress.com/>.

Acesso em 20/05/2021.

Figura 8 – Exemplos de geradores de energia elétrica.



Usina de Pecém- CE (maremotriz).

Fonte: <https://marsemfim.com.br>. Acesso em

20/05/2021.



Usina geotérmica.

Fonte: <https://www.cittadiniecologisti.it/>. Acesso em

20/05/2021.

Figura 9 – Exemplos de geradores de energia elétrica.

## 2.4 Transmissão de energia elétrica

O sistema de transmissão de energia elétrica brasileiro era muito simples inicialmente, conforme se pode observar na Figura 10, tornando-se um sistema complexo e interligado, com suas principais linhas de transmissão mostradas na Figura 11.

A transmissão de energia elétrica pode ser realizada em corrente contínua (HVDC - *high-voltage direct current*) ou alternada, tendo estas como características:

- Transmissão em corrente contínua – menores perdas do que em corrente alternada; necessidade de conversão ca-cc (retificação) logo após à geração e conversão cc-ca próximo à distribuição (inversão); dificuldade para elevação e diminuição, envolvendo conversores cc-cc ou transformadores eletrônicos; menores custos para linhas de longa distância;
- Transmissão em corrente alternada – maiores perdas do que em corrente contínua; simplicidade para elevação e diminuição com transformadores eletromagnéticos; custos mais altos em linhas de longa distância.

A Figura 12 mostra um exemplo de linha de transmissão de energia elétrica. As tensões típicas das linhas de transmissão, conforme a classificação em classes são:

- A1 – tensão de fornecimento igual ou superior a 230 kV;
- A2 – tensão de fornecimento de 88 kV a 138 kV;
- A3 – tensão de fornecimento de 69 kV.

Assim, as tensões do sistema de transmissão interligado (SIN – Sistema Nacional Interligado) são da classe A1, enquanto as classes A2 e A3 são denominadas de subtransmissão.

A Figura 13 mostra uma imagem da subestação de Foz do Iguaçu, onde é feita a elevação de tensão e conversão ca-cc (retificação) da energia elétrica gerada pela Usina Itaipu Binacional, destacando-se as quadriválvulas do sistema, formadas por quatro tiristores em série.

A conexão da Usina Itaipu Binacional ao sistema elétrico brasileiro ocorre de duas formas, uma em corrente alternada e outra em corrente contínua. O sistema de corrente contínua é formado por duas linhas com tensão da ordem de  $\pm 600$  kV, com extensão de aproximadamente 810 km, entre as subestações de Foz do Iguaçu (PR) e Ibiuna (SP); sendo que a conversão ca-cc e cc-ca é realizada por oito conversores em cada subestação; sistema este que está operando desde 1984. Por sua vez, o sistema de corrente alternada opera com tensão de 765 V, conectando as subestações de Foz do Iguaçu (PR) e Tijuco Preto (SP), com uma extensão da ordem de 900 km (Fonte: <https://www.itaipu.gov.br>. Acesso em 20/05/21).

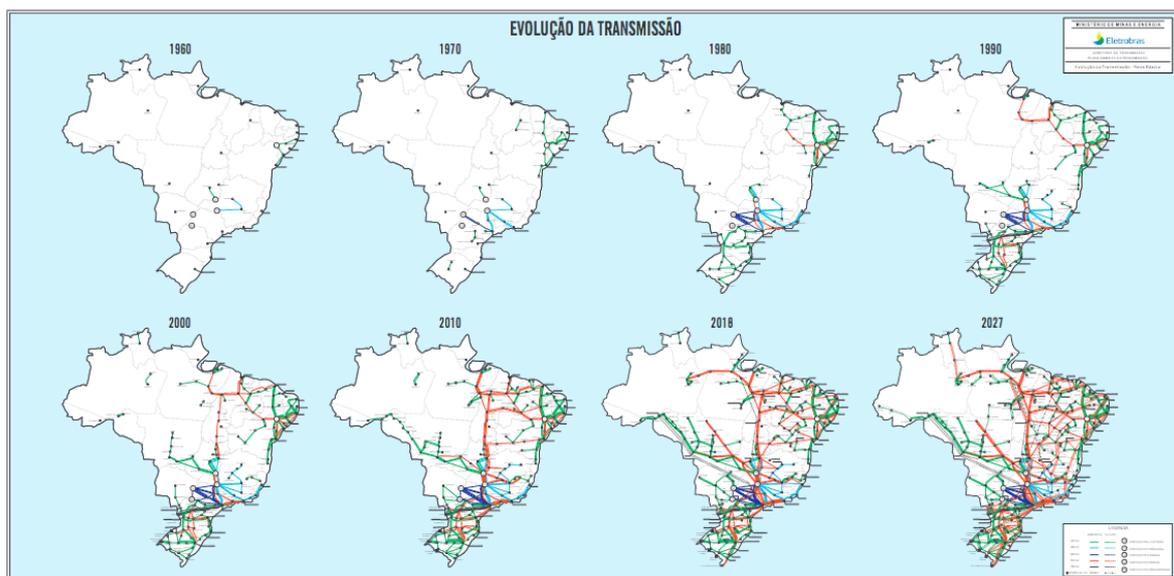


Figura 10 – Evolução do sistema de energia elétrica brasileiro.

Fonte: <https://eletrobras.com>. Acesso em 20/05/2021.



Figura 11 – Mapa das principais linhas de transmissão do sistema elétrico brasileiro interligado.

Fonte: <https://eletrobras.com>. Acesso em 20/05/2021.



Figura 12 – Exemplo de linhas de transmissão.

Fonte: <https://agenciabrasil.ebc.com.br>. Acesso em 20/05/2021.



Figura 13 – Subestação de elevação e conversão ca-cc em Foz do Iguaçu- PR e quadriválvulas do sistema.

Fonte: <https://www.furnas.com.br/>. Acesso em 20/05/2021.

## 2.1 Distribuição de energia elétrica

A distribuição de energia elétrica é realizada pelas concessionárias de energia elétrica, como por exemplo, a CELESC em Santa Catarina.

A Figura 14 mostra um exemplo de rede de distribuição de energia elétrica. Em relação aos níveis das tensões de fornecimento na distribuição, considera-se que as tensões secundárias são aquelas usadas para atendimento a residências, comércios e pequenas indústrias; sendo regulamentadas por norma pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e definidas por cada concessionária de energia elétrica em sua área de abrangência; sendo que para Santa Catarina a CELESC disponibiliza as seguintes tensões (Fonte: <https://www.aneel.gov.br/tensoes-nominais>. Acesso em 20/05/2021):

- Tensão Nominal 1 – 380/220 V;

- Tensão Nominal 2 – 440/220 V;
- Tensão Nominal 3 – 220/127 V.



Figura 14 – Exemplo de rede de distribuição.

Fonte: <https://www.palhocense.com.br/>. Acesso em 20/05/2021.

É importante destacar, como se observa na Figura 4, que conforme a potência dos consumidores, estes podem estar conectados em diferentes pontos do sistema de distribuição, isto é, em alimentação primária ou secundária. As linhas de distribuição denominadas de primárias são de média tensão (valores entre 2,3 kV e 44 kV) e geralmente estão afixadas nos postes da concessionária de energia elétrica em conjuntos de três condutores aéreos, dispostos horizontalmente, por exemplo, sustentados por cruzetas em postes de concreto. Já as linhas de distribuição secundárias são em baixa tensão (valores entre 110 V e 440 V), conectadas diretamente nas residências consumidoras, por exemplo, e afixadas nos postes em alinhamento vertical e abaixo da rede primária de alta tensão.

A transformação da tensão primária (alta tensão) para a tensão secundária (baixa tensão) e distribuição aos consumidores residenciais, por exemplo, é realizada pelos transformadores de distribuição, como mostrado na Figura 15.

As redes de distribuição podem ser classificadas em quatro tipos (Fonte: <https://www.abradee.org.br>. Acesso em 20/05/2021.), exemplificadas na Figura 16:

- Rede de Distribuição Aérea Convencional: os condutores são sem isolamento (nus), montados respeitando-se uma distância de isolamento entre os mesmos. Estas redes são muito comuns no Brasil, sendo susceptíveis à ocorrência de falhas (descargas atmosféricas, curto-circuito, contato com galhos de árvores, etc.);
- Rede de Distribuição Aérea Compacta: são mais recentes, da década de 1990,

sendo mais compactas e mais seguras e menos susceptíveis a falhas, pois utilizam condutores isolados;

- Rede de Distribuição Aérea Isolada: os condutores são isolados suficientemente para não ser necessário o afastamento entre os mesmos, ou seja, podendo ser trançados; neste caso aumentando a resistência mecânica e ocupando menos espaço. São redes mais caras e utilizadas em condições especiais;
- Rede de Distribuição Subterrânea: são utilizados condutores isolados, montados sob a superfície, isto é, ficando enterradas no solo ou na estrutura, aumentando a confiabilidade e a estética do sistema, além de diminuir a manutenção. Estas redes tem alto custo, empregadas em situações especiais e regiões de alta densidade demográfica.



Figura 15 – Exemplos de transformadores de distribuição.

Fonte: <http://transformadoresjundiai.com.br>. Acesso em 20/05/2021.



Aérea convencional



Aérea compacta



Aérea isolada



Subterrânea

Figura 16 – Exemplos de tipos de redes de distribuição.

Fonte: <https://www.celesc.com.br>. Acesso em 20/05/2021.

A concessionária de energia elétrica CELESC, no Manual de Procedimentos (disponível em <https://www.celesc.com.br>), informa que os critérios de escolha são, dentre outros: segurança, análise técnica, meio ambiente, confiabilidade e custo do investimento.

Em Santa Catarina, o sistema típico de linha de transmissão é mostrado na Figura 17, onde deve-se atentar que o fornecimento secundário, em baixa tensão, é realizado por quatro fios, sendo

três fases e um condutor neutro e de proteção. Percebe-se que o ponto central da conexão em estrela (Y) do transformador abaixador de distribuição origina o condutor neutro, e pelo fato de ser aterrado, faz também o papel de condutor de proteção.

As tensões de fase, isto é, medidas entre as fases e o neutro, são nominalmente de 220 V e com frequência de 60 Hz. Já as tensões de linha, medidas entre duas fases, são de 380 V; isso nas redes convencionais em Santa Catarina.

A tensão de linha pode ser calculada a partir da tensão de fase por:

$$V_L = V_F \cdot \sqrt{3}$$

$$V_L = 220 \cdot \sqrt{3} \cong 381V$$

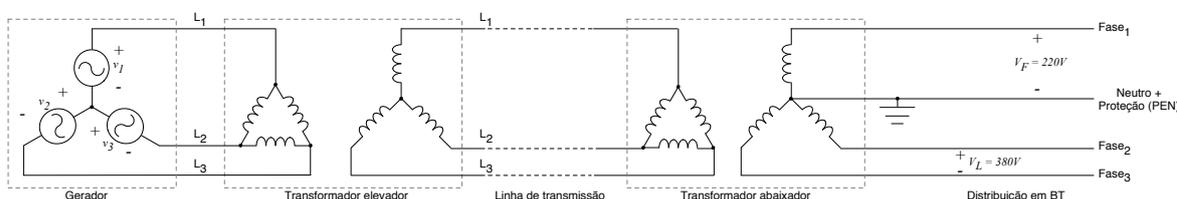


Figura 17 – Sistema típico de rede de distribuição de energia elétrica.

Fonte: Adaptado de (Creder, 2002).

As tensões das redes de distribuição são regulamentadas pela ANEEL no módulo 8 do Prodist<sup>3</sup>, sendo que as faixas para 220 V de tensão nominal ao consumidor final, na rede secundária, entre fase e neutro, são:

- Adequada: tensão da rede entre 202 V e 231 V;
- Precária: tensão entre 191 V e 202 V ou entre 231 V e 233 V;
- Crítica: tensão abaixo de 191 V ou acima de 233 V.

Assim, a tensão entregue pela concessionária de energia elétrica, na entrada das residências deve estar na faixa entre 202 V e 231 V. Por sua vez, a frequência pode ter uma variação, em regime permanente, de 59,9 Hz a 60,1 Hz.

Para a tensão de linha, isto é, entre duas fases, com valor nominal de 380 V, as faixas de tensão regulamentadas pela ANEEL são:

- Adequada: tensão da rede entre 350 V e 399 V;
- Precária: tensão entre 331 V e 350 V ou entre 399 V e 403 V;

<sup>3</sup> Prodist, módulo 8. Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST. 2010.

- Crítica: tensão abaixo de 331 V ou acima de 403 V.

Os níveis de tensão no sistema elétrico brasileiro são mostradas na Tabela 1, com destaque aos valores mais usuais em Santa Catarina.

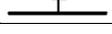
Por fim, é importante destacar que a simbologia dos elementos constituintes de instalações elétricas prediais, é padronizado pela norma NBR 5444, sendo que para os condutores disponibilizados pela concessionária de energia elétrica se tem os símbolos mostrados na Tabela 2.

Tabela 1 – Níveis de tensão do sistema elétrico brasileiro.

Transmissão (kV)	Distribuição Primária (AT) (kV)	Distribuição Secundária (BT)	
		Monofásica (V)	Trifásica (V)
69	13,8	110/220	115/230
138	23	115/230	120/208
230	Não usado	127/254	127/220
500		220/440	<b>220/380</b>
750		120/240	254/440

Fonte: Adaptado de (Mussoi, 2016).

Tabela 2 – Símbolos dos condutores do sistema de distribuição de energia elétrica.

Símbolo	Significado
	Condutor fase no interior de eletroduto
	Condutor neutro no interior de eletroduto
	Condutor terra no interior de eletroduto

Fonte: NBR 5444.

## 3 Proteção e Segurança

### 3.1 Introdução

O sistema de energia elétrica, as instalações elétricas e os usuários estão sujeitos a riscos e falhas, em virtude dos efeitos causados por diferentes situações e fenômenos. Assim, neste capítulo se pretende abordar de forma sintética sobre os sistemas de proteção e aterramento.

### 3.2 Descargas elétricas

Raios ou descargas elétricas atmosféricas são descargas elétricas de grande intensidade que ocorrem na atmosfera, decorrentes do acúmulo de cargas elétricas nos elementos do ambiente, podendo ocorrer internamente nas nuvens ou entre as nuvens e a terra, ou vice-versa.

A norma NBR 5419 define como descarga atmosférica a descarga elétrica de origem atmosférica entre uma nuvem e a terra ou entre nuvens, consistindo em um ou mais impulsos de vários quiloampères (Fonte: NBR 5419, Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas). Por

sua vez, o raio é definido com um dos impulsos elétricos de uma descarga atmosférica para a terra.

A proteção das redes de energia elétrica e dos equipamentos a ela conectados, além dos usuários do sistema, é provida por uma série de equipamentos e procedimentos regulamentados por norma. Assim, se tem elementos internos e externos aos equipamentos ou volumes que se deseja proteger.

A proteção do sistema e dos usuários ocorre pelo sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA), definido na NBR 5419 como o sistema completo destinado a proteger uma estrutura contra os efeitos das descargas atmosféricas. É composto de um sistema externo, formado por captadores (elementos para interceptar as descargas atmosféricas, como para-raios, por exemplo), subsistema de condutores de descida e subsistema de aterramento e de um sistema interno de proteção, formado por dispositivos que reduzem os efeitos elétricos e magnéticos da corrente de descarga atmosférica dentro do volume a proteger (como varistores, supressores de surtos, dentre outros). Alguns elementos de proteção presentes em redes elétricas de baixa tensão serão estudados posteriormente neste curso de Acionamentos Eletrônicos.

A norma NBR 5419 detalha o regramento para o projeto e instalação do sistema de proteção contra descargas atmosféricas, não sendo detalhado aqui, em vista do escopo deste documento.

É importante destacar que em algumas regiões do Brasil ocorre uma incidência grande de descargas atmosféricas, conforme se pode observar no mapa elaborado pelo INPE/CGPDI para o biênio 2018/2019; onde em alguns locais se tem em média em torno de 300 eventos por dia.



Figura 18 – Exemplos de descargas atmosféricas.

Fonte: <https://www.copel.com>. Acesso em 20/05/2021.

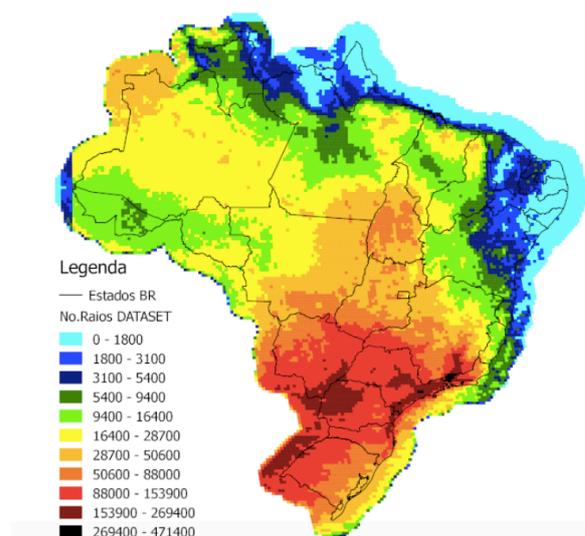


Figura 19 – Mapa de descargas atmosféricas do INPE/CGPDI, biênio 2018/2019.

Fonte: <http://www.inpe.br>. Acesso em 20/05/2021.

### 3.1 Choque elétrico

O choque elétrico pode ser definido como uma perturbação e que causa efeitos diversos nos organismos vivos quando estes são percorridos por correntes elétricas; ressaltando que o convencional é se referir a choque elétrico do ponto de vista humano, mas sabendo-se que a corrente elétrica causa efeitos tanto em seres vivos como em materiais e dispositivos de maneira geral (Fonte: adaptado de Vieira, 2005<sup>4</sup>).

Em termos legais, a Norma Regulamentadora (NR) 10 versa sobre segurança em instalações e serviços em eletricidade, sendo aplicável para geração, transmissão, distribuição e consumo, incluindo as etapas de projeto, construção, montagem, operação, manutenção das instalações elétricas e quaisquer trabalhos realizados nas suas proximidades, observando-se as normas técnicas oficiais estabelecidas pelos órgãos competentes e, na ausência ou omissão destas, as normas internacionais cabíveis. O objetivo da NR 10 é estabelecer os requisitos e condições mínimas objetivando a implementação de medidas de controle e sistemas preventivos, de forma a garantir a segurança e a saúde dos trabalhadores que, direta ou indiretamente, interajam em instalações elétricas e serviços com eletricidade.

Em termos de instalações elétricas, a NBR 5410 estabelece as condições a que devem satisfazer as instalações elétricas de baixa tensão, a fim de garantir a segurança de pessoas e animais, o funcionamento adequado da instalação e a conservação dos bens; aplicando-se aos seguintes casos:

- Aos circuitos elétricos alimentados sob tensão nominal igual ou inferior a 1000 V em corrente alternada, com frequências inferiores a 400 Hz, ou a 1500 V em corrente contínua;
- Aos circuitos elétricos, que não os internos aos equipamentos, funcionando sob uma tensão superior a 1000 V e alimentados através de uma instalação de tensão igual ou inferior a 1000 V em corrente alternada (por exemplo, circuitos de lâmpadas a descarga, precipitadores eletrostáticos etc.);
- A toda fiação e a toda linha elétrica que não sejam cobertas pelas normas relativas aos equipamentos de utilização; e
- Às linhas elétricas fixas de sinal (com exceção dos circuitos internos dos equipamentos).

---

<sup>4</sup> VIEIRA, S. I. *Manual de Saúde e Segurança do Trabalho: segurança, higiene e medicina do trabalho. Vol. 3. São Paulo: LTr, 2005.*

Por outro lado, a NBR 5410 não se aplica a:

- Instalações de tração elétrica;
- Instalações elétricas de veículos automotores;
- Instalações elétricas de embarcações e aeronaves;
- Equipamentos para supressão de perturbações radioelétricas, na medida que não comprometam a segurança das instalações;
- Instalações de iluminação pública;
- Redes públicas de distribuição de energia elétrica;
- instalações de proteção contra quedas diretas de raios. No entanto, esta Norma considera as consequências dos fenômenos atmosféricos sobre as instalações (por exemplo, seleção dos dispositivos de proteção contra sobretensões);
- Instalações em minas;
- Instalações de cercas eletrificadas.

Os choques elétricos podem ser estáticos, dinâmicos ou por descargas atmosféricas. Em termos de circulação da corrente elétrica no corpo humano, pode-se ter cinco situações possíveis, conforme mostrado na Figura 20, sendo sempre consideradas mais perigosas aquelas casos em que a corrente elétrica circula pelo coração.

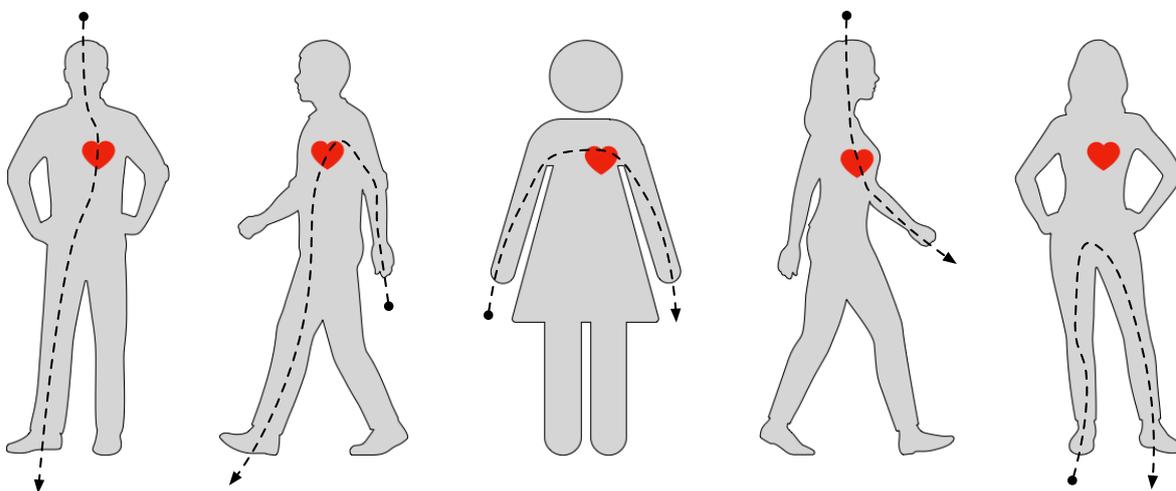


Figura 20 – Percursos da corrente elétrica no corpo humano.

As percepções e consequências dos choques elétricos são listadas na Tabela 3. É importante que sempre que ocorrer a exposição a um choque elétrico, seja acionado o setor responsável pelo pronto atendimento ou o órgão competente, como o Corpo de Bombeiros ou SAMU, por exemplo.

Tabela 3 – Efeitos do choque elétrico.

Corrente	Efeito	Percepção
1 mA	Apenas perceptível	Formigamento
10 mA	Contração muscular	Dor
16 mA	Contração muscular	Máxima dor tolerável
20 mA	Parada respiratória	Convulsões
100 mA	Ataque cardíaco	Fibrilação
2 A	Parada cardíaca	Queimaduras
3 A	Valor mortal	Queimaduras profundas

Fonte: Adaptado de <https://www.ufrj.br>. Acesso em 20/05/2021.

### 3.1 Sistemas de aterramento

Os sistemas de energia elétrica e seus equipamentos, conforme o caso, são aterrados visando a proteção do próprio sistema e dos usuários.

Aterramento é definido como a ligação de estruturas ou instalações com a terra, a fim de se estabelecer uma referência para a rede elétrica e permitir que fluam para a terra correntes elétricas de naturezas diversas (Creder, 2002).

As correntes elétricas que devem fluir pelo sistema de aterramento podem ser originadas por descargas atmosféricas (raios); descargas eletrostáticas; correntes de filtros, supressores de surtos e para-raios; e correntes de faltas (defeitos) para a terra (fuga de corrente).

Em relação ao sistema de aterramento, de acordo com (Creder, 2002), os tipos básicos de são:

- Aterramento funcional – aquele que consiste na conexão à terra de um dos condutores da rede de energia elétrica (em geral o neutro);
- Aterramento de proteção – aquele que consiste na ligação à terra das massas e dos elementos estranhos à instalação, evitando choques elétricos aos usuários dos mesmos por contato direto com o equipamento sob falta.

A Tabela 4 apresenta os símbolos dos condutores de proteção, para representação nos diagramas da instalação elétrica.

A classificação dos esquemas de aterramento, conforme a NBR 5410, segue um padrão específico de identificação, podendo ser:

- Esquema TN – o esquema TN possui um ponto da alimentação diretamente aterrado, sendo as massas ligadas a esse ponto através de condutores de proteção (mostrado na Figura 21). Este esquema pode ter variações, que são:
  - Esquema TN-S – o condutor neutro e o condutor de proteção são distintos;

- Esquema TN-C-S - em parte do qual as funções de neutro e de proteção são combinadas em um único condutor;
- Esquema TN-C – no qual as funções de neutro e de proteção são combinadas em um único condutor, na totalidade do esquema.
- Esquema TT – possui um ponto da alimentação diretamente aterrado, estando as massas da instalação ligadas a eletrodo(s) de aterramento eletricamente distinto(s) do eletrodo de aterramento da alimentação (mostrado na Figura 22);
- Esquema IT – todas as partes vivas são isoladas da terra ou um ponto da alimentação é aterrado através de impedância (mostrado nas Figura 23 e Figura 24). As massas da instalação são aterradas, tendo-se então:
  - A – Sem aterramento da alimentação;
  - B – Alimentação aterrada através de impedância;
  - B.1 – Massas aterradas em eletrodos separados e independentes do eletrodo de aterramento da alimentação;
  - B.2 – Massas coletivamente aterradas em eletrodo independente do eletrodo de aterramento da alimentação;
  - B.3 – Massas coletivamente aterradas no mesmo eletrodo da alimentação.

Tabela 4 – Símbolos dos condutores de proteção.

Símbolo	Significado
	Condutor neutro (N)
	Condutor de proteção (PE)
	Condutor combinando as funções de neutro e de condutor de proteção (PEN)

Fonte: NBR 5410.

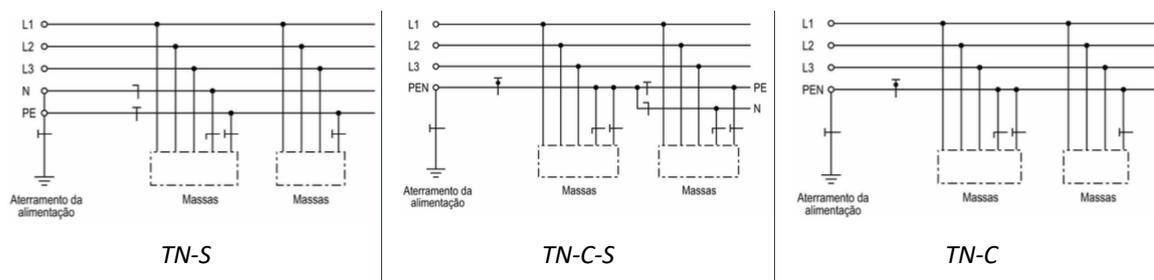


Figura 21 – Esquema TN.

Fonte: NBR 5410.

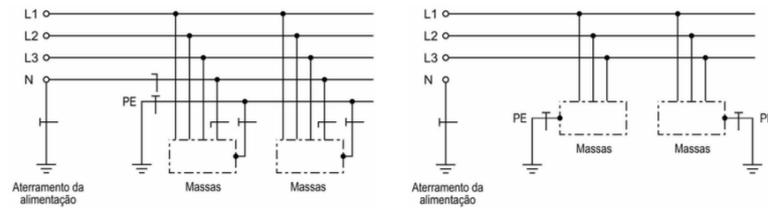


Figura 22 – Esquema TT.

Fonte: NBR 5410.

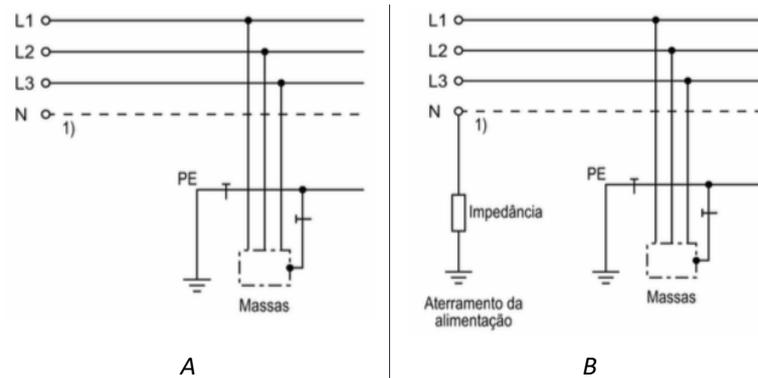


Figura 23 – Esquema IT.

Fonte: NBR 5410.

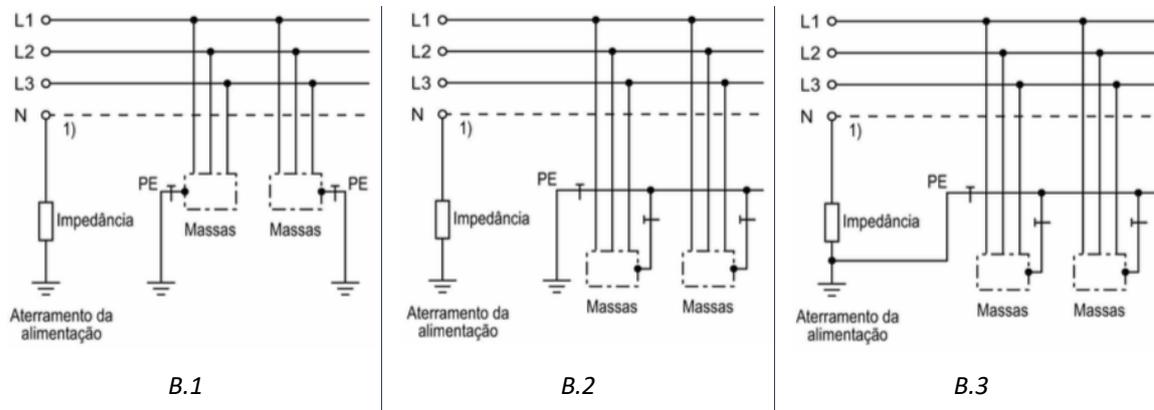


Figura 24 – Esquema IT.

Fonte: NBR 5410.

A Figura 25 mostra um sistema típico de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica no Brasil, onde se percebe que do gerador até o primário do transformador de distribuição se tem um circuito trifásico (fases A, B e C), sem aterramento e sem neutro. Já a partir do secundário do transformador abaixador da distribuição, se passa a ter um sistema com trifásico com neutro (N). Neste circuito não foi representado o condutor de proteção (PEN), pois em geral, no sistema elétrico brasileiro, o condutor Neutro é aterrado, tendo-se então um sistema do tipo TN-C.

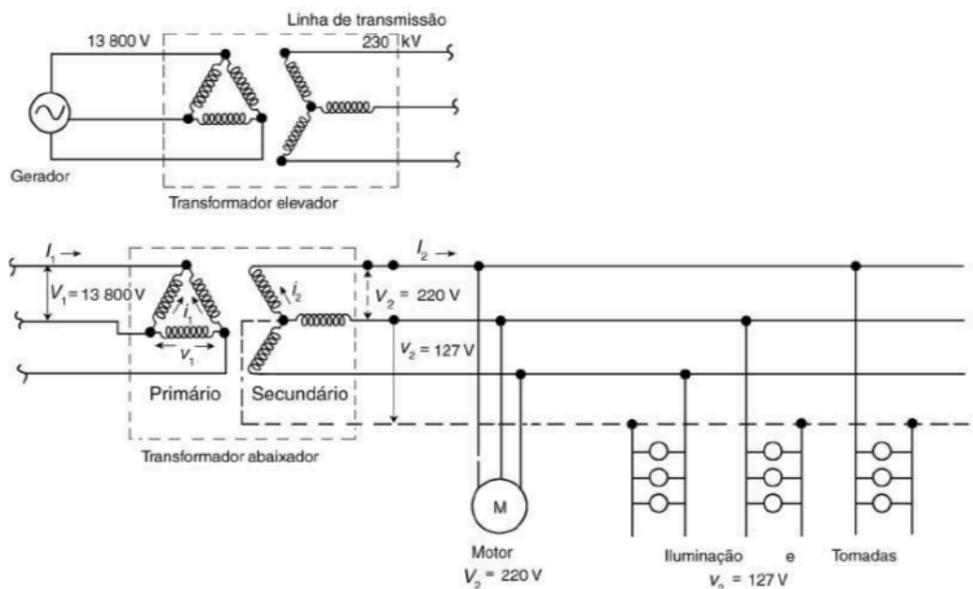


Figura 25 – Sistema típico de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica.

Fonte: (Creder, 2002).

Em virtude de o sistema elétrico ser aterrado, ou seja, estar na mesma referência dos usuários, tem-se uma diferença de potencial entre os condutores fase e a terra. Isso implica que os usuários, que estão no mesmo referencial da terra, estarão submetidos à uma diferença de potencial de 220 V quando tocarem os condutores fase de uma instalação elétrica de baixa tensão.

A Figura 26 mostra duas situações distintas, utilizando-se ou não transformador de isolamento ( $T_1$ ). No primeiro caso, sem o uso de transformador de isolamento, o usuário está no referencial de terra, por intermédio de duas impedâncias, que são:

- $Z_H$  – Impedância do corpo do usuário, somando-se as vestimentas (roupas e calçados). Esta impedância é afetada pela umidade da pele, se o usuário está seco ou molhado, se está vestido, usando calçados ou não e o grau de isolamento destes calçados;
- $Z_T$  – Impedância de terra, isto é, entre a superfície (chão) onde o usuário está e o sistema de aterramento da rede de energia elétrica. Esta impedância é afetada pela distância da superfície onde o usuário está apoiado e a terra, do material desta superfície e do caminho, se está molhada ou seca, de seu nível de isolamento, dentre outros fatores.

O usuário pode tocar no condutor fase ou no condutor PEN (neutro mais proteção), como está mostrado nas situações A e B da Figura 26, respectivamente. Na situação B, considera-se que, idealmente, não há diferença de potencial entre o condutor PEN e o usuário, não ocorrendo a circulação de corrente elétrica e não sujeitando-se o usuário a um choque elétrico.

Já na situação A, quando o usuário toca o condutor fase, este estará submetido a uma diferença de potencial (tensão elétrica) de 220 V em relação à sua referência e ao condutor neutro e de proteção, fechando um caminho para circulação de corrente mostrado na Figura 26. Neste caso, se as impedâncias do caminho ( $Z_H + Z_T$ ) forem baixas, o usuário poderá estar submetido a um choque elétrico fatal ou com graves consequências para sua integridade fisiológica.

Em virtude deste risco, sempre que os usuários estarão manipulando equipamentos que impliquem em riscos à vida, é imprescindível o uso de transformadores de isolamento, que tem relação de transformação unitária, por exemplo, mas que provem isolamento elétrico entre a entrada e a saída. Exemplos de situações em que se deve utilizar transformador de isolamento são quando da operação de máquinas em locais úmidos ou molhados, como minas, por exemplo.

A Figura 26 mostra novamente o usuário tocando acidentalmente nos condutores do lado secundário do transformador isolador, identificados como  $L_1$  e  $L_2$ , visto que agora o circuito do lado secundário não está aterrado, não se identificando então os condutores por fase, neutro, por exemplo. Percebe-se pela figura o usuário não ficará submetido à diferença de potencial, pois o lado secundário está isolado do primário e da referência de terra. Assim, não há caminho para a circulação de corrente elétrica se o usuário tocar acidentalmente nos condutores  $L_1$  ou  $L_2$ .

No entanto é necessário atentar que, se o usuário tocar simultaneamente nos condutores  $L_1$  e  $L_2$ , estará submetido novamente a diferença de potencial de 220 V, ficando sujeito ao choque elétrico e suas consequências.

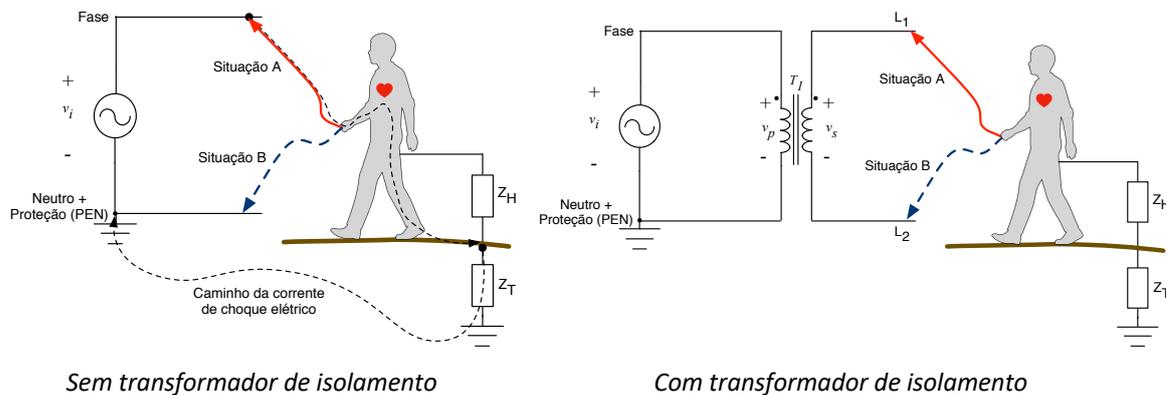


Figura 26 – Usuário tocando acidentalmente os condutores da instalação elétrica.

Além da questão de risco de choque elétrico, conforme mostrado anteriormente, também se tem implicações nas conexões dos instrumentos de medição ao se medir grandezas da rede de energia elétrica, isso em virtude de o sistema elétrico ser aterrado.

A Figura 27 mostra um esboço de conexão de um osciloscópio na rede de energia elétrica. É importante notar que os equipamentos possuem cabos de conexão com três fios (fase, neutro e

proteção), enquanto o sistema de energia elétrica pode ser a dois fios (fase e neutro mais proteção).

A massa do equipamento de medição é conectada ao condutor de proteção do mesmo, resultando que as ponteiros de medição, em seus terminais negativos (-, menos), também estão conectadas aos condutores de proteção; isso para a proteção dos usuários contra choque elétrico. No entanto, isso implica que, se o osciloscópio for utilizado para se medir a tensão diretamente na rede de energia elétrica, além de se ter o risco de danificar o equipamento por sobretensão, pode ocorrer um curto-circuito pelas ponteiros, provando a destruição das mesmas. Esta situação é mostrada na Figura 27, na parte inferior, quando se conecta a ponteira negativa (menos) no condutor fase, fechando um caminho de circulação de corrente pelo condutor de proteção e provando um curto-circuito na rede de energia elétrica.

Assim, recomenda-se que sejam utilizados transformadores de isolamento/medição ou ponteiros isoladas, que operam com tensões mais elevadas e podem ser conectadas diretamente na rede de energia elétrica sem risco de curto-circuito.

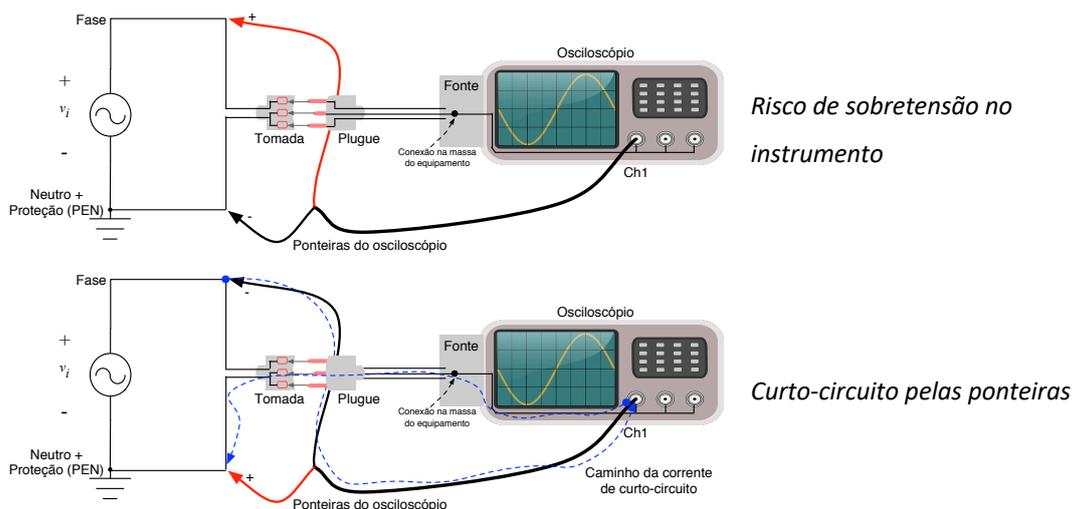


Figura 27 – Conexão de instrumento de medição diretamente na rede de energia elétrica.

## 4 Diagramas Elétricos

### 4.1 Introdução

A representação dos elementos das instalações elétricas e suas conexões é realizado por intermédio de diagramas elétricos, que basicamente podem ser do tipo unifilar ou multifilar. É ainda possível, apesar de não ser usual, se representar os elementos e suas conexões por meio de desenhos que se aproximam mais do aspecto real do que se está desejando representar, tendo utilidade didática ou artística, por exemplo.

## 4.2 Diagrama unifilar

O diagrama unifilar (um fio) é utilizado para a representação de instalações elétricas com muitos elementos, por exemplo em uma planta baixa. Assim, por meio da utilização de símbolos e códigos, é possível simplificar e facilitar a representação dos circuitos.

A Figura 28 mostra o diagrama unifilar de uma instalação elétrica, sobre a planta baixa da edificação. Nota-se que os condutores são representados por símbolos, e as linhas que interconectam os elementos representam a tubulação (eletrodutos) para a passagem da fiação. Os elementos do sistema também são representados pelos seus respectivos símbolos.

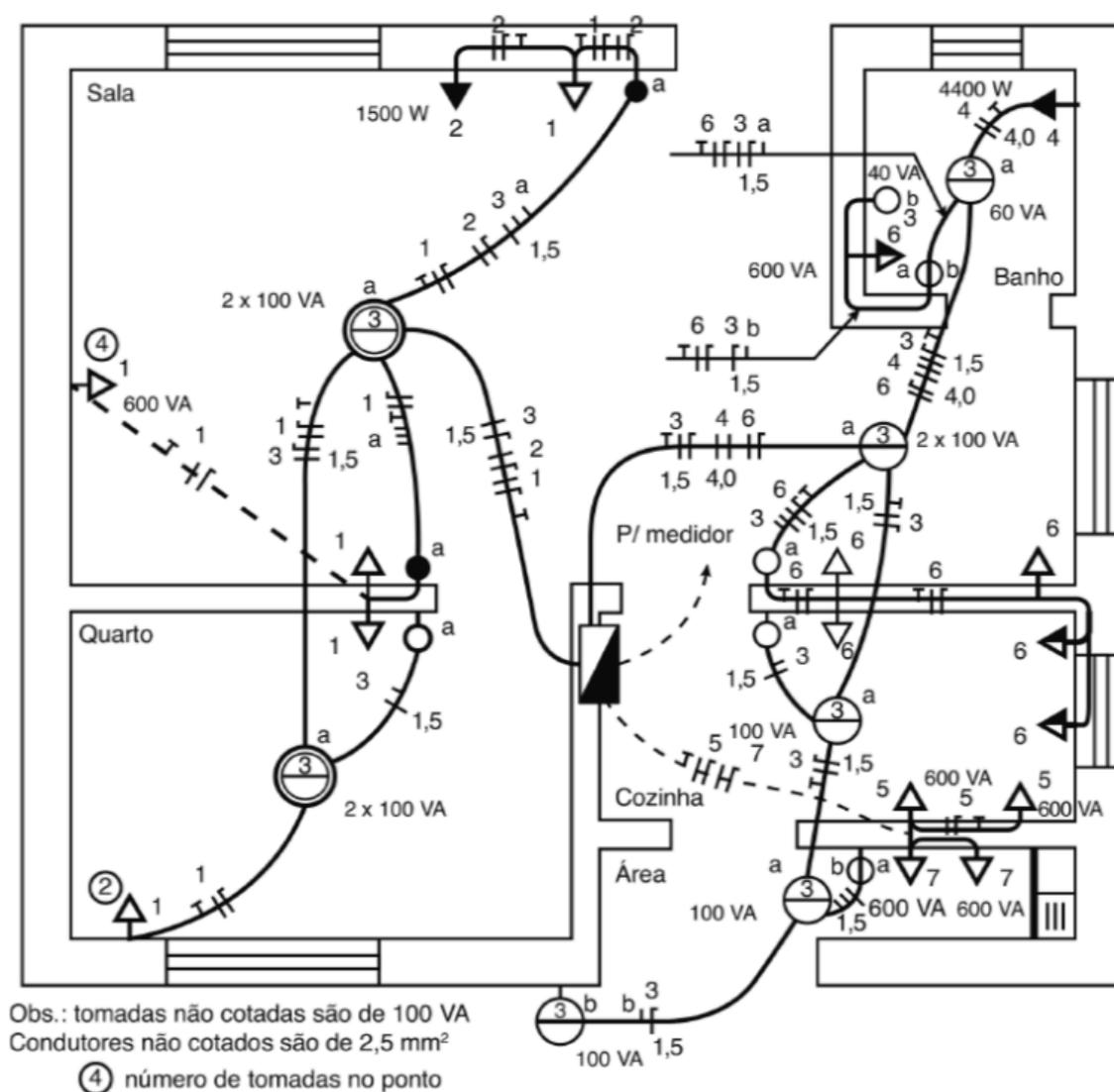


Figura 28 – Diagrama unifilar de uma instalação elétrica.

Fonte: (Creder, 2002).

### 4.3 Diagrama multifilar

O diagrama multifilar (vários fios) representa todas as conexões dos elementos do circuito elétrico da instalação, como serão executados na prática, resultando em um esquemático completo de um circuito ou instalação. Em circuitos eletrônicos, quando se representa o circuito elétrico de um equipamento, se está desenhando o diagrama multifilar daquele dispositivo, resultando no esquemático do mesmo.

A Figura 29 mostra o diagrama multifilar (trifilar) da instalação elétrica mostrada na Figura 28, com o objetivo de representar os elementos de proteção daquela instalação.

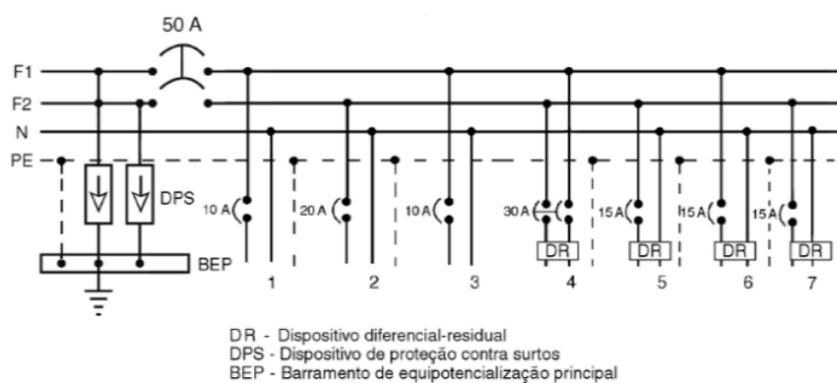


Figura 29 – Diagrama multifilar de parte de uma instalação elétrica.

Fonte: (Creder, 2002).

### 4.1 Diagramas unifilar, multifilar e funcional ou desenho em perspectiva

Em algumas situações com objetivos técnicos, didáticos ou estéticos, pode-se utilizar também a representação em perspectiva de uma instalação ou elementos do sistema.

A Figura 30 apresenta um circuito de iluminação, formado por três lâmpadas comandadas por três interruptores simples, conectadas em uma rede de energia elétrica com os condutores fase e neutro. Neste caso foram apresentados os diagramas unifilar, multifilar e desenho em perspectiva, podendo-se notar as diferenças entre os mesmos e suas características, quais sejam:

- Diagrama unifilar – mais simples de elaborar, representando o circuito em pouco espaço e com poucos elementos representativos;
- Diagrama multifilar – representa todas as conexões dos elementos do sistema, sendo fiel ao circuito elétrico que deve ser executado para o correto funcionamento da instalação;
- Diagrama funcional ou desenho em perspectiva – permite representar tridimensionalmente a instalação elétrica, com figuras mais próximas da representação real de seus elementos.

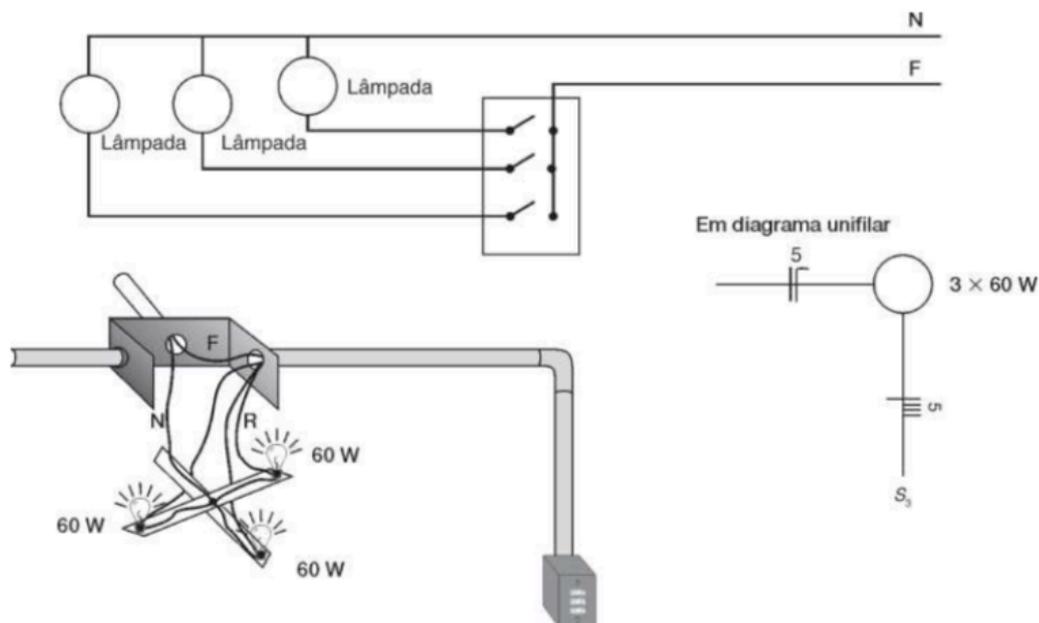


Figura 30 – Diagramas unifilar, multifilar e desenho em perspectiva de um circuito de iluminação.

Fonte: (Creder, 2002).

## 5 Exercícios

### Exercícios Resolvidos

**ER 01.** Cite as principais etapas do sistema de energia elétrica?

As principais etapas ou partes do sistema de energia elétrica são: geração, transmissão e distribuição.

**ER 02.** Os consumidores em baixa tensão são alimentados em que tensão e qual sua amplitude em Santa Catarina?

A alimentação dos consumidores em baixa tensão é secundária, sendo que a tensão entre fase e neutro (monofásica) é de 220 V.

**ER 03.** O que é um diagrama unifilar?

Diagrama unifilar é aquele que permite representar os elementos da instalação elétrica de maneira simplificada e utilizando um condutor (fio) apenas, com os condutores representados por símbolos.

**ER 04.** Qual a finalidade do condutor de proteção?

O condutor de proteção tem por finalidade proteger os usuários contra choques elétricos, descargas atmosféricas e correntes de fuga, por exemplo.

---

## Exercícios Propostos

---

**EP 01.** Comente sobre algumas formas de se gerar energia elétrica.

**EP 02.** Explique o que são tensão de fase e tensão de linha?

**EP 03.** Cite consequências de se levar um choque elétrico.

**EP 04.** A partir de que corrente o choque elétrico é prejudicial ao ser humano?

**EP 05.** O que é um condutor PEN?

---

## 6 Atividade Avaliativa

---

### 6.1 Introdução – O que preciso saber

Ao final deste objetivo de aprendizagem são apresentadas cinco questões, que devem ser respondidas sem consultar o material. Se você conseguir responder as questões e conferir as respostas com o gabarito abaixo, parabéns, você concluiu com êxito este tópico. Caso tenha errado alguma questão, revise o conteúdo relacionado com a mesma e refaça a questão, procurando se concentrar mais desta vez, para acertar o exercício e fixar bem o conteúdo.

---

**AA 01.** O que o sistema de distribuição de energia elétrica?

**AA 02.** Em um sistema onde a tensão de fase é de 220 V, qual o valor da tensão de linha?

**AA 03.** Explique o que é um diagrama multifilar.

**AA 04.** Qual a finalidade de se utilizar transformadores de isolamento?

**AA 05.** Quais os condutores disponibilizados pela concessionária de energia elétrica, em Santa Catarina, em uma instalação elétrica residencial típica?

---

AA 01. O sistema de distribuição de energia elétrica realiza a conexão dos consumidores à rede elétrica, podendo ser em baixa ou alta tensão. É de responsabilidade das concessionárias de energia elétrica.

AA 02. Se a tensão de fase é de 220 V, a tensão de linha será de 380 V.

AA 03. Diagrama multifilar é aquele que representa todas as conexões dos elementos da instalação elétrica, empregando múltiplos condutores.

AA 04. O objetivo de se utilizar transformadores de isolamento é a proteção dos usuários contra choques elétricos ou a proteção de instrumentos de medição para se medir as grandezas da rede de energia elétrica, por exemplo.

AA 05. A CELESC disponibiliza em sua rede de distribuição, em geral, quatro condutores, sendo três fases e o condutor de neutro mais proteção.