

# ELETRÔNICA ANALÓGICA

Nivaldo Carleto

CONTROLE E PROCESSOS INDUSTRIAIS

# ELETRÔNICA ANALÓGICA

Nivaldo Carleto

CONTROLE E PROCESSOS INDUSTRIAIS



## **Autor**

### **Nivaldo Carleto**

Bacharel em Engenharia Elétrica pela Universidade de Marília, possui licenciatura plena na área Elétrica pelo Centro Paula Souza, especialização em Engenharia de Produção (UNESP), em Sistemas de Informações Geográficas (UFSCar) e em Didática e Metodologia do Ensino Superior (Anhanguera Educacional) e mestrado em Ciências e Tecnologia Nuclear na área de Materiais (IPEN/CNEN/USP), com projeto desenvolvido no Centro Tecnológico da Marinha do Brasil em São Paulo (CTMSP). É doutor em Agronomia, pela UNESP de Jaboticabal/SP, na área de Ciência do Solo, e doutor em Educação Escolar, pela UNESP de Araraquara/SP, na área de Política, Gestão e Informática Aplicada na Gestão Educacional. Atualmente é professor da Faculdade de Tecnologia de Taquaritinga/SP (FATEC). Tem experiência nas áreas de Engenharia de Produção, Engenharia Elétrica e de Telecomunicações, Micro-ondas de Potência e Física (Eletricidade e Eletromagnetismo).

### **Design Instrucional**

Sarah Resende

### **Projeto Gráfico**

NT Editora

### **Revisão**

Filipe Lopes

Ricardo Moura

### **Capa**

NT Editora

### **Editoreção Eletrônica**

Kaleo Amorim

### **Ilustração**

Rodrigo Souza

## **NT Editora, uma empresa do Grupo NT**

SCS Quadra 2 – Bl. C – 4º andar – Ed. Cedro II

CEP 70.302-914 – Brasília – DF

Fone: (61) 3421-9200

sac@grupont.com.br

www.nteditora.com.br e www.grupont.com.br

Carleto, Nivaldo.

Eletrônica analógica / Nivaldo Carleto – 1. ed. reimpr. – Brasília: NT Editora, 2018.

208 p. il. ; 21,0 X 29,7 cm.

ISBN 978-85-8416-246-8

1. Eletrônica. 2. Componentes.

I. Título

Copyright © 2018 por NT Editora.

Nenhuma parte desta publicação poderá ser reproduzida por qualquer modo ou meio, seja eletrônico, fotográfico, mecânico ou outros, sem autorização prévia e escrita da NT Editora.

## ÍCONES

Prezado(a) aluno(a),

Ao longo dos seus estudos, você encontrará alguns ícones na coluna lateral do material didático. A presença desses ícones o(a) ajudará a compreender melhor o conteúdo abordado e a fazer os exercícios propostos. Conheça os ícones logo abaixo:



### **Saiba mais**

Esse ícone apontará para informações complementares sobre o assunto que você está estudando. Serão curiosidades, temas afins ou exemplos do cotidiano que o ajudarão a fixar o conteúdo estudado.



### **Importante**

O conteúdo indicado com esse ícone tem bastante importância para seus estudos. Leia com atenção e, tendo dúvida, pergunte ao seu tutor.



### **Dicas**

Esse ícone apresenta dicas de estudo.



### **Exercícios**

Toda vez que você vir o ícone de exercícios, responda às questões propostas.



### **Exercícios**

Ao final das lições, você deverá responder aos exercícios no seu livro.

**Bons estudos!**

## Sumário

<b>1 PRINCÍPIOS DE ELETRÔNICA .....</b>	<b>9</b>
1.1 Conhecendo um pouco sobre eletrônica.....	9
1.2 Componentes passivos e ativos .....	14
1.3 Materiais isolantes, condutores e semicondutores.....	20
<b>2 TRANSISTOR DE EFEITO DE CAMPO (<i>FIELD EFFECT TRANSISTOR</i> – FET) 25</b>	
2.1 Conhecendo o transistor de efeito de campo ( <i>field effect transistor</i> – FET).....	25
2.2 Funcionamento de um JFET .....	29
2.3 Funcionamento de um MOSFET .....	39
<b>3 AMPLIFICADOR OPERACIONAL .....</b>	<b>49</b>
3.1 Conhecendo o amplificador operacional.....	49
3.2 Funcionamento de um amplificador operacional.....	53
3.3 Circuitos com amplificador operacional.....	62
<b>4 CIRCUITO INTEGRADOR E DIFERENCIADOR.....</b>	<b>71</b>
4.1 Conhecendo o circuito integrador e diferenciador .....	71
4.2 Circuito integrador com amplificador operacional.....	80
4.3 Circuito diferenciador com amplificador operacional.....	85
<b>5 FILTROS PASSIVOS E ATIVOS .....</b>	<b>92</b>
5.1 Conhecendo os filtros passivos e ativos.....	92
5.2 Filtros passivos e suas aplicações .....	95
5.3 Filtros ativos e suas aplicações .....	106
<b>6 CIRCUITO INTEGRADO .....</b>	<b>111</b>
6.1 Conhecendo os circuitos integrados.....	111
6.2 Processos e tecnologias de manufatura .....	117
<b>7 TRANSMISSORES .....</b>	<b>130</b>
7.1 Conhecendo os transmissores.....	130
7.2 Princípio básico de operação do transmissor .....	137
7.3 Tipos de transmissores .....	141
<b>8 RECEPTORES.....</b>	<b>154</b>
8.1 Conhecendo os receptores.....	154
8.2 Princípio básico de operação do receptor .....	157
8.3 Tipos de receptores .....	160

<b>9 OSCILADORES .....</b>	<b>169</b>
9.1 Conhecendo os osciladores.....	169
9.2 Princípio básico de operação do oscilador .....	172
9.3 Tipos de osciladores .....	175
<b>10 FONTE DE ALIMENTAÇÃO .....</b>	<b>188</b>
10.1 Conhecendo a fonte de alimentação .....	188
10.2 Tipos de fontes de alimentação.....	192
<b>GLOSSÁRIO .....</b>	<b>203</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>207</b>



Caro(a) estudante,

Seja bem-vindo à **Eletrônica analógica!**

A Eletrônica é a área da ciência que trata dos dispositivos eletrônicos e de suas aplicações práticas, seja na indústria, seja em nosso cotidiano moderno. É possível dizer que é a parte da Física que estuda tanto a estrutura física dos dispositivos eletrônicos quanto as suas grandezas elétricas para fins de cálculo e de projeto de circuitos. Como exemplos de aplicações da eletrônica, podemos mencionar: o controle de sistemas robóticos, a confecção de placas de computadores, a operação de controladores lógicos programáveis, o funcionamento dos amplificadores operacionais e dos circuitos integrados, assim como a construção de fontes de alimentação e de sistemas de telecomunicações. Diante disso, a Eletrônica fundamenta-se em componentes manufaturados com materiais semicondutores, os quais possuem propriedades específicas quando comparados com os materiais metálicos (condutores) ou isolantes.

A partir de 1950, a utilização dos dispositivos eletrônicos semicondutores impulsionou mudanças significativas na indústria e na sociedade em razão da invenção do transistor, substituindo, com isso, as tradicionais válvulas. Como consequência, o avanço em pesquisa e desenvolvimento de dispositivos semicondutores possibilitou novas aplicações e o surgimento de empresas especializadas na área em questão (eletrônica). O resultado desse avanço tecnológico foi a produção em larga escala de bens de consumo, como televisores, telefones, computadores e celulares (*smartphones*). Além disso, houve grande investimento nos meios de comunicação, sobretudo em aplicações espaciais, como é o caso do desenvolvimento de satélites, de telescópios, de sondas e de ônibus espaciais.

Neste material, você terá a oportunidade de estudar os principais componentes eletrônicos utilizados em diversos circuitos, tais quais transistores FET (JFET e MOSFET), amplificadores operacionais, circuitos integradores e diferenciadores, filtros ativos, circuitos integrados, transmissores, receptores, entre outros. Além disso, apresentaremos os princípios básicos de funcionamento e a modelagem matemática de cada componente eletrônico.

Aplicar no cotidiano as noções básicas de análise de circuitos eletrônicos para identificar as suas principais características técnicas e operacionais são exemplos de habilidades e de competências desenvolvidas neste estudo. Tudo para atender às exigências estabelecidas na formação de profissionais técnicos da área. Nesse sentido, os objetivos deste componente curricular são:

- conhecer os fundamentos teóricos da eletrônica para executar os conceitos práticos;
- entender o funcionamento de alguns transistores especiais, como os JFETs e os MOSFETs, para operar suas principais aplicações;
- compreender a operação dos amplificadores operacionais para fins de análise e aplicações em circuitos eletrônicos;
- apresentar as características dos circuitos integradores e diferenciadores para realizar as suas aplicabilidades como amplificadores operacionais;
- estudar os circuitos integrados para entender seus aspectos construtivos e operacionais;
- conhecer os transmissores, os receptores e os filtros para exercer o funcionamento de inúmeros circuitos eletrônicos utilizados em nosso cotidiano moderno.

Não perca tempo! Aproveite a oportunidade para ampliar os seus conhecimentos!

**Bons estudos!**

**Nivaldo Carleto**



# 1 PRINCÍPIOS DE ELETRÔNICA

Vamos iniciar nossos estudos sobre Eletrônica Analógica?

Nesta lição, iremos conhecer um pouco sobre a área da Eletrônica e sua evolução histórica, os **componentes passivos** e **ativos** utilizados em circuitos eletrônicos, bem como as diferenças entre materiais condutores, isolantes e semicondutores. Está preparado(a) para essa fascinante jornada de conhecimento? Então, mãos à obra e bons estudos!



**Componentes passivos:** componentes que não geram energia, embora alguns possam armazená-la, como é o caso do capacitor (armazena energia elétrica).

**Componentes ativos:** componentes que oferecem energia e ganho de corrente ao circuito. Como exemplos, podemos mencionar os diodos.

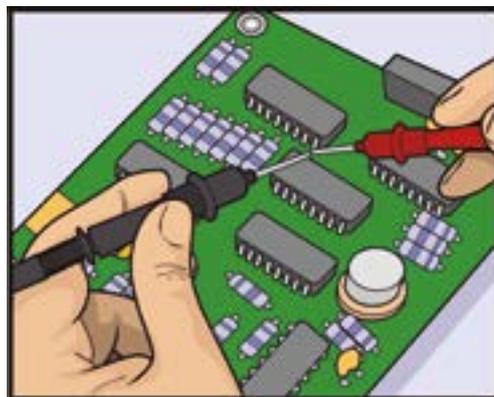
## Objetivos

Ao finalizar esta lição, você deverá ser capaz de:

- conhecer os princípios e a evolução da eletrônica;
- entender a importância da eletrônica em nosso cotidiano;
- avaliar os componentes passivos e ativos em um circuito eletrônico;
- analisar as principais características dos componentes de um circuito eletrônico;
- compreender as principais diferenças entre os materiais condutores, isolantes e semicondutores.

## 1.1 Conhecendo um pouco sobre eletrônica

Você sabia que, para entender sobre eletrônica, é importante conhecer a sua evolução histórica? Ou seja, saber como surgiu e a sua importância em nosso cotidiano moderno. Pois bem, então vamos começar definindo o que é eletrônica?



Eletrônica é a área da ciência que estuda os componentes eletrônicos, tais como diodos, transistores, amplificadores operacionais, filtros e circuitos integrados. Ela, no entanto, necessita dos conhecimentos de eletricidade e de física para compreender, respectivamente, o funcionamento dos circuitos eletrônicos e a teoria dos materiais semicondutores. Muito interessante, não é? Agora, vamos viajar um pouco no tempo para entender a história da eletrônica?



**Efeito termiônico:** aumento do fluxo de elétrons que saem de um metal em razão do aumento de temperatura.

**Arco voltaico:** cargas elétricas movimentando através do ar com alta velocidade e elevadas temperaturas.

**Eletroscópio:** aparelho que acusa a existência de cargas elétricas; indica se um corpo está eletrizado.

**Radiotelegrafia:** telegrafia sem fio pela qual são transmitidas mensagens através do espaço por meio de ondas eletromagnéticas.



A evolução histórica da eletrônica contempla várias descobertas e inúmeros experimentos. Diante disso, é difícil elencar todos os acontecimentos, tendo em vista a constante busca de novas tecnologias. Portanto, o objetivo dos próximos parágrafos é apresentar algumas descobertas interessantes, sem a intenção de substituir ou esgotar o assunto contemplado na literatura moderna.

### Importante

A origem dos equipamentos eletrônicos está relacionada com pesquisas desenvolvidas por Thomas Alva Edison, que, em 1883, descobriu o efeito termiônico. O experimento elaborado por ele demonstrou o surgimento de uma corrente elétrica unidirecional no vácuo entre um filamento aquecido e uma placa metálica.

Em 1887, Heinrich Hertz realizou experimentos com **arcos voltaicos**, verificando o comportamento de descargas elétricas de alta tensão. Não obstante, em 1888, William Hallwachs demonstrou que um **eletroscópio** com esfera de zinco perde sua carga negativa quando essa esfera é exposta à luz ultravioleta. Os físicos alemães Elster e Geitel estudam o fenômeno demonstrado por Hallwachs e observam que os metais alcalinos, sódio e potássio, emitem elétrons também sob influência da luz comum.



Em 1897, John Ambrose Fleming, engenheiro eletrônico e físico britânico, faz a primeira aplicação prática do efeito termiônico, sendo considerado um dos pioneiros da **radiotelegrafia**. Ele construiu um diodo detector (tubo diodo) para sinais de radiofrequência. Esse diodo foi o primeiro detector de ondas de rádio.

### Símbolo diodo detector



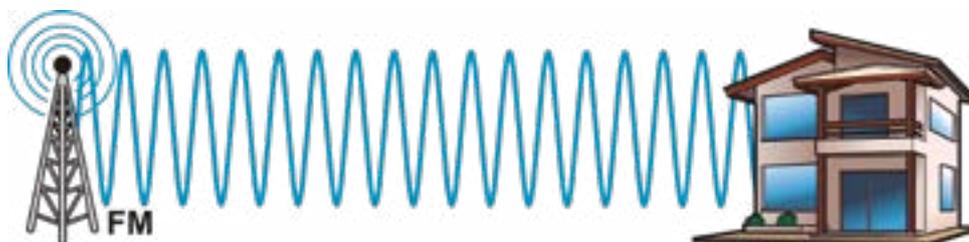
Lee de Forest, engenheiro eletricitista e inventor americano, nascido em Council Bluffs, Iowa, conhecido como o “pai do rádio”, inventou a válvula de três eletrólitos (tríodo) em 1906.

Jonathan Zenneck, físico e engenheiro alemão, contribuiu para o desenvolvimento da radiotelegrafia e das técnicas de alta frequência na Alemanha. Inventou o medidor de ondas elétricas em 1899. Em 1905, desenvolveu o tubo de Braun e criou o osciloscópio catódico.

### Osciloscópio catódico

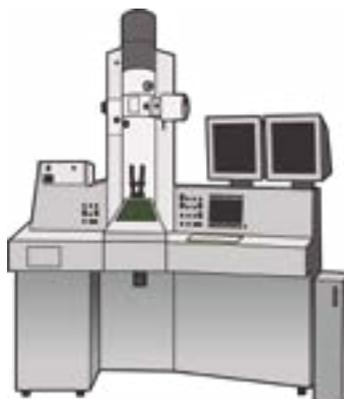


Edwin Howard Armstrong, engenheiro eletrônico norte-americano, inventou o processo de transmissão de sinais de rádio por frequência modulada (FM). Além disso, possui como invenções no campo da radiotelegrafia o **circuito regenerativo** (1912), o **circuito super-heteródino** (1918) e o **circuito super-regenerativo** (1920).



Vladimir Zworykin estudou engenharia eletrotécnica em 1912 no Instituto de Tecnologia de São Petersburgo e desenvolveu todo o sistema eletrônico da televisão moderna. Foi o primeiro a transformar uma imagem em uma corrente elétrica. Inventor do iconoscópio, ponto de partida para o sistema de televisão, colaborou na elaboração de outros equipamentos eletrônicos, por exemplo, o microscópio eletrônico.

### Microscópio eletrônico



**Circuito regenerativo:** circuito receptor que permite que um sinal de rádio seja amplificado muitas vezes pelo mesmo dispositivo ativo.

**Circuito super-heteródino:** circuito que usa mistura de frequências para converter um sinal recebido em uma frequência fixa intermediária (IF), que pode ser mais conveniente do que a frequência de rádio original.

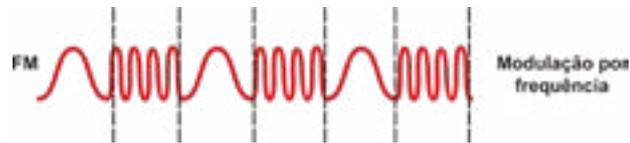
**Circuito super-regenerativo:** considerado o tipo mais comum entre os receptores de frequência modulada disponível comercialmente.



**Modulação:** técnica na qual as características da portadora (sinal) são modificadas com a finalidade de transmitir as informações.

**Radiofonia:** sistema de transmissão de sons que se utiliza das propriedades das ondas eletromagnéticas. Também conhecida como telefonia sem fio ou radiotelefonia.

Robert Alexander Watson-Watt, físico escocês e descendente de James Watt, o famoso engenheiro e inventor do motor a vapor, em 1925, concebeu um sistema de detecção de um objeto e de medida da distância por meio de ondas eletromagnéticas. Então, nasceu o *radio detection and ranging* (RADAR), cujas primeiras estações foram instaladas na Inglaterra.



Em 1928, a **modulação** de frequência é prevista por Armstrong. Com isso, foi possível que uma mesma onda portadora permitisse várias comunicações telefônicas simultâneas. Como consequência, surgiu a técnica das comunicações múltiplas, disponibilizando o uso do telefone às pessoas.

#### Saiba mais

Blumldin e Schönberg desenvolvem em 1930 um sistema comercial para tratar a imagem elétrica produzida pelo tubo de Zworykin, permitindo, com isso, a transmissão à distância.

Manfred Barthélemy, físico francês, foi considerado um dos criadores da televisão na França. Dedicou-se primeiro à criação de aparelhos de medição e, depois, à **radiofonia**. Durante a 1ª Guerra Mundial, construiu transmissores e participou da instalação do centro de comunicação na Torre Eiffel. Interessou-se em seguida pela televisão, aperfeiçoando o dispositivo do escocês John Baird, sendo encarregado de uma transmissão de TV em 1935.



O primeiro computador, o *electronic numeral integrator and calculator* (ENIAC), teve seu desenvolvimento iniciado em 1943, mas só se tornou operacional após a 2ª Guerra Mundial. O ENIAC pesava 30 toneladas, media 5,50 m de altura e 25 m de comprimento, ocupando 180 m<sup>2</sup> de área construída. Possuía em torno de 70 mil resistores e aproximadamente 18.000 válvulas a vácuo! Quando acionado pela primeira vez, o ENIAC consumiu tanta energia que as luzes da Filadélfia, nos Estados Unidos, piscaram, em razão do enorme consumo de energia das válvulas! Incrível, não é?!



#### Saiba mais

O *universal automatic computer* (UNIVAC) se tornou em 1951 o primeiro computador a lidar com dados numéricos e alfabéticos com mais facilidade. Também foi o primeiro computador disponível comercialmente, sendo utilizado no censo americano da década de 1950.

Os computadores de primeira geração foram superados pelos transistorizados, entre o fim da década de 1950 e início de 1960, devido à invenção do transistor, proporcionada por John Bardeen, Walter Houser Brattain e William Bradford Shockley em 1947, os quais foram contemplados com o Prêmio Nobel de Física em 1956.

### ENIAC - Computador de primeira geração



Esses computadores de segunda geração (os transistorizados) já eram capazes de fazer um milhão de operações por segundo. Por sua vez, foram superados pelos computadores de terceira geração, com circuitos integrados, em meados de 1960 e final de 1970. O início da década de 1980 foi caracterizado pelo desenvolvimento do microprocessador e pela evolução dos microcomputadores e computadores pessoais. A partir do ano 2000 e até os dias atuais, a eletrônica vem se desenvolvendo rapidamente de forma contínua, permitindo ao ser humano explorar novos horizontes! O que você pensa a respeito da história da eletrônica? Muito interessante, não é?

#### Dicas

Quando iniciar os estudos sobre circuitos eletrônicos, procure sempre entender o seu princípio básico de funcionamento, bem como os principais conceitos e definições. Esses conhecimentos básicos permitem melhor entendimento sobre os problemas com os quais você, futuro técnico, vai se deparar no cotidiano moderno. Pense nisso!

#### Exercitando

Em relação ao processo histórico da eletrônica, qual das alternativas é a correta?

- a) A evolução da eletrônica foi um avanço para o surgimento de novas tecnologias.
- b) A evolução da eletrônica é consequência da válvula.
- c) A válvula é considerada um avanço da eletrônica.
- d) A eletrônica depende de forma exclusiva dos processos de comunicação.

**Comentário:** se você pensou na alternativa "a", está correto(a)! Parabéns! A evolução da eletrônica foi um avanço para o desenvolvimento de novas tecnologias e novos equipamentos eletrônicos utilizados em nosso cotidiano e nas industriais de manufatura.

## 1.2 Componentes passivos e ativos

Os circuitos eletrônicos são constituídos de componentes (dispositivos) eletroeletrônicos que podem ser classificados como passivos e/ou ativos. Os componentes passivos não geram energia, embora alguns possam armazená-la, como é o caso do capacitor (armazena energia elétrica) e do indutor (armazena energia magnética) e não oferecem ganho (amplificação) de corrente ou de tensão para o circuito. Os resistores, os capacitores e os indutores são exemplos clássicos de componentes passivos! Por sua vez, os componentes ativos oferecem energia e ganho de corrente ao circuito. Como exemplos destes últimos, podemos mencionar os diodos, os transistores, os amplificadores operacionais, os circuitos integrados e as fontes de alimentação.



### Saiba mais

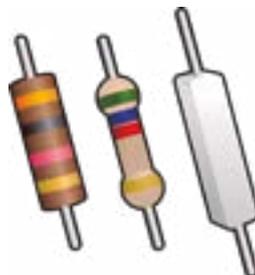
Basicamente, tanto os componentes passivos quanto os componentes ativos estão presentes na grande maioria dos circuitos eletrônicos, sendo projetados e instalados conforme a necessidade de aplicação.

Agora, iremos estudar as principais características de cada componente passivo:

#### • Resistor

O resistor é um dispositivo muito utilizado em placas de circuitos elétricos e eletrônicos. Basicamente, a sua função é limitar a corrente elétrica no circuito para atender às exigências técnicas e operacionais de outros dispositivos, como, por exemplo, os diodos, os transistores e os circuitos integrados que trabalham com tensões e correntes da ordem de mA (miliampère –  $10^{-3}$ ) e de  $\mu\text{A}$  (microampère –  $10^{-6}$ ). Observe a ilustração:

#### Resistores elétricos



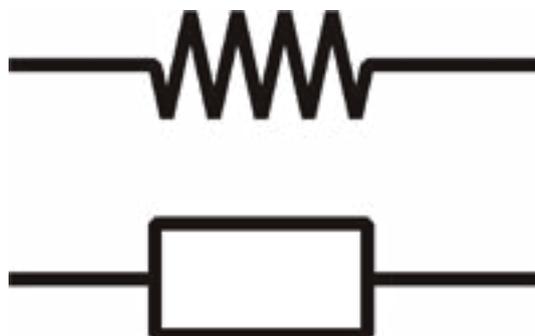
Todo resistor tem a sua resistência elétrica ( $R$ ), cuja unidade de medida é o ohm ( $\Omega$ ). Você pode estar se perguntando: a resistência elétrica do chuveiro, do ferro elétrico, da torradeira ou do forno elétrico também é um resistor? A resposta é sim! Contudo, nesse caso, a “resistência” presente em tais equipamentos elétricos tem a função de converter a energia elétrica em energia térmica (efeito Joule), diferentemente de um resistor utilizado em um circuito eletrônico. A figura a seguir apresenta uma resistência de um chuveiro elétrico. Observe:

#### Resistência de um chuveiro elétrico



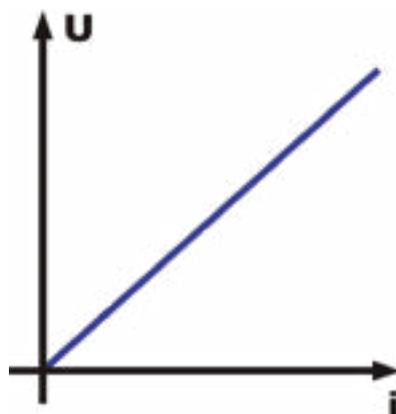
A simbologia e o comportamento gráfico do resistor elétrico podem ser observados, respectivamente, nas figuras a seguir.

#### Simbologias de resistores elétricos



Analisando a próxima figura, observamos que a relação entre a tensão elétrica ( $U$ ) e a corrente elétrica ( $I$ ) é, na verdade, a resistência elétrica ( $R$ )! Diante disso, George Simon Ohm enunciou a sua primeira Lei, ou seja, a Primeira Lei de Ohm, caracterizada pela expressão:  $U = R \times I$  [V].

#### Curva característica de um resistor elétrico ( $U \times I$ )



### Exercitando

Em relação ao resistor elétrico, é possível afirmar que:

- a) a sua resistência é calculada por meio da relação  $I/U$ .
- b) ele é um componente ativo de circuito.
- c) ele converte energia elétrica em resistência.
- d) ele converte energia elétrica em energia térmica.

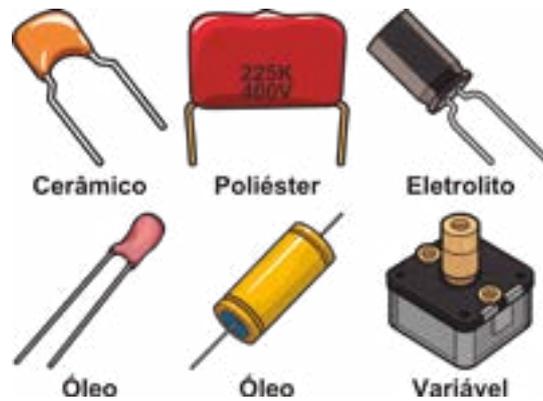
**Comentário:** se você marcou a alternativa "d", está correto(a)! Parabéns! Uma das funções do resistor elétrico (resistência elétrica de um chuveiro, por exemplo) é converter energia elétrica em energia térmica, também conhecido como efeito Joule.



## • Capacitor

O capacitor também é um dispositivo muito utilizado em placas de circuitos elétricos e eletrônicos. Basicamente, a sua função é armazenar energia elétrica para o circuito, atendendo, dessa forma, às especificações de projeto. Existem no mercado diversos tipos de capacitores, os quais dependem do material, da tecnologia de fabricação e do tipo de aplicação. Esta figura apresenta alguns destes tipos:

### Tipos de capacitores encontrados no mercado

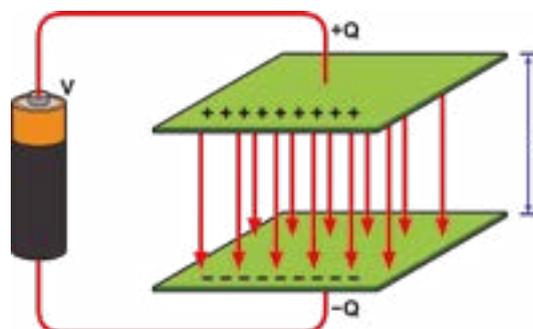


### Importante

Se invertermos a polaridade (polo positivo e polo negativo) de um capacitor eletrolítico no momento de instalação, ele poderá explodir! Isso não acontece com o capacitor do tipo cerâmico. Portanto, é necessário conhecer as características técnicas e operacionais do componente antes de conectá-lo ao circuito. Então, fique atento e tome muito cuidado!

Todo capacitor tem a sua capacitância ( $C$ ) que pode ser calculada pela relação entre a quantidade de carga ( $Q$ ) armazenada em suas placas e a tensão ( $U$ ) aplicada em suas extremidades. Ou seja:  $C = Q / U$  [F]. A unidade da capacitância de um capacitor é o farad (F). Vale ressaltar ainda que é possível calcular a capacitância ( $C$ ) de um capacitor conhecendo a área ( $A$ ) das placas e a distância ( $d$ ) entre elas, bem como a constante de permissividade no vácuo ( $\epsilon_0$ ). Ou seja:  $C = \epsilon_0 \times (A / d)$  [F]. Observe a figura a seguir.

### Capacitor de placas paralelas



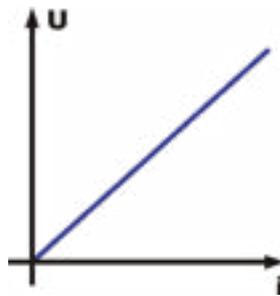
As simbologias e o comportamento gráfico do carregamento do capacitor podem ser observados, respectivamente, nestas figuras:

### Simbologias de capacitores



É possível carregar um capacitor de placas paralelas, conforme apresentamos anteriormente, ligando os seus terminais em uma fonte de alimentação ( $U$ ). À medida que o capacitor vai adquirindo cargas elétricas ( $Q$ ), a tensão elétrica entre as placas vai aumentando de forma proporcional. Devido a essa proporcionalidade, o comportamento gráfico entre a carga e a tensão aplicada nas placas é uma reta, conforme veremos na próxima figura. Em determinado instante, a tensão no capacitor iguala-se à da fonte de alimentação, atingindo um equilíbrio eletrostático entre ambos. Nesse momento, o capacitor encontra-se totalmente carregado.

### Comportamento gráfico do carregamento do capacitor



### Exercitando

Em relação ao capacitor, é possível afirmar que:

- a) ele armazena energia térmica.
- b) ele armazena energia elétrica.
- c) ele armazena energia magnética.
- d) ele é um componente ativo de circuito.

**Comentário:** se você pensou na alternativa “b”, está correto(a)! Parabéns! O capacitor armazena energia elétrica entre as suas placas para atender às exigências operacionais do circuito eletrônico.

### • Indutor

O indutor, também conhecido como solenoide ou bobina, é um componente elétrico capaz de armazenar energia magnética. Esse componente é utilizado em circuitos elétricos, eletrônicos e digitais. Os indutores são construídos de um material condutor, normalmente de cobre, enrolado sobre um núcleo. Este, por sua vez, pode ser de ar, **ferrite**, **ferro doce**, ou qualquer outro material que armazena energia magnética. Basicamente, os indutores são encontrados em companhias, chaves contatoras (chaves estáticas), transformadores, válvulas solenoides e filtros do tipo passa baixa.



**Ferrite:** classe de compostos constituídos por ferro oxidado e outros metais em um estado cerâmico quebradiço.

**Ferro doce:** também conhecido como ferro mole, devido à facilidade de magnetização, é um metal com alto índice de pureza.





### Importante

Quanto melhor for o material do núcleo, maior será o armazenamento e a transferência de energia magnética para o sistema eletrônico. Portanto, prefira materiais que apresentam boa permeabilidade magnética e baixa perda de energia. Como exemplo, podemos mencionar a liga de FeSi (Ferro Silício) com grão orientado (GO) e lâminas da ordem  $\mu\text{m}$  (micrômetro).

**Permeabilidade magnética:** relação entre o fluxo magnético (B) e a intensidade do campo magnético (H) exterior ao material (FeSi, por exemplo). Ou seja:  $\mu = B/H$ .

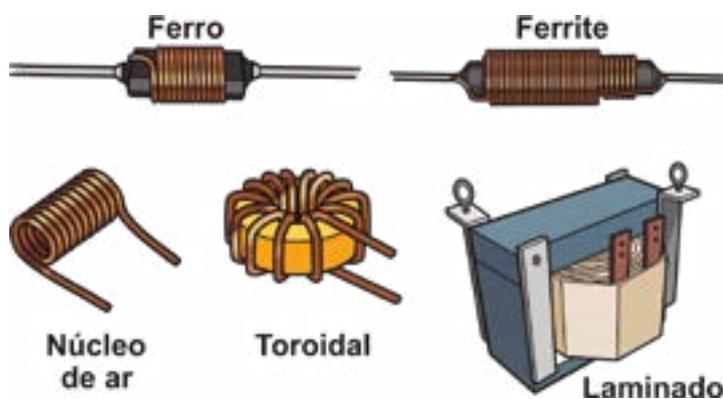
**Grão orientado:** material com propriedades magnéticas altamente diferenciadas.

**Espiras:** tipo de circuito elétrico que produz campo magnético na passagem de uma corrente elétrica alternada.

**Toroide:** sólido gerado pela rotação de uma curva plana fechada em torno de um eixo coplanar e não secante.

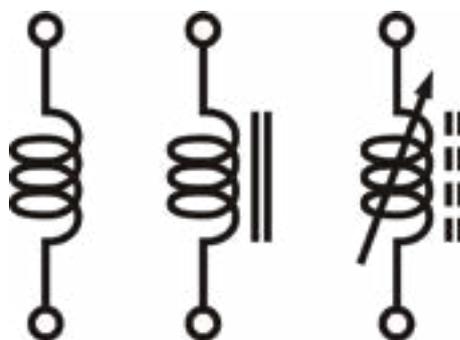
Existem diversos tipos de indutores no mercado, eles dependem do material do núcleo e da quantidade de **espiras** (n) para as inúmeras aplicações. A figura seguinte apresenta alguns desses tipos, vejamos:

### Tipos de indutores encontrados no mercado



Todo indutor tem a sua indutância (L) que pode ser calculada em função do número de espiras (N), do valor do fluxo magnético ( $\Phi$ ) e da quantidade de corrente elétrica (i) que circula no fio condutor da bobina (indutor). Ou seja:  $L = N\Phi / i$ . A unidade da indutância é o henry (H). Também, é possível calcular a indutância conhecendo as suas dimensões físicas. Entretanto, para conhecer qual é a expressão matemática utilizada para o cálculo, é necessário especificar o indutor, por exemplo, se é um **toroide**, uma bobina chata ou mesmo um transformador de energia. As simbologias normalmente utilizadas para representar um indutor são estas:

### Simbologias de indutores



## Exercitando

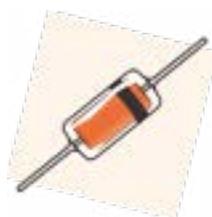
Em relação ao indutor, é possível afirmar que:

- a) ele armazena energia térmica.
- b) ele armazena energia eletrostática.
- c) ele armazenada energia magnética.
- d) a sua função é limitar a corrente no circuito e armazenar energia magnética.

**Comentário:** se você pensou na alternativa “c”, está correto(a)! Parabéns! A função do indutor é armazenar energia magnética no circuito. Além disso, ele pode atuar tanto como uma bobina quanto como um transformador de energia, desde que seja projetado para esses fins.

Agora, veja as principais características de cada componente ativo:

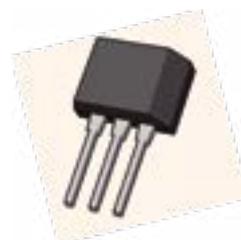
### • Diodo



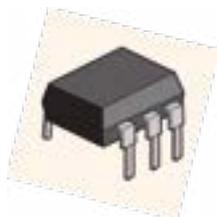
O diodo semicondutor é um componente muito utilizado em circuitos retificadores. Construídos de material silício, sua função é retificar a forma de onda CA de entrada de um circuito para atender algum tipo de equipamento que funcione em corrente contínua (CC). Podemos encontrar os diodos retificadores em fontes de tensão, carregadores de celular e fontes de *notebooks*, por exemplo.

### • Transistor bipolar

Inventado em 1947 nos Laboratórios da Bell Telephone (EUA) por Walter Houser Brattain, William Bradford Shockley e John Bardeen, o transistor é um dispositivo eletrônico amplamente utilizado em circuitos eletrônicos como amplificadores operacionais.



### • Circuito integrado



O circuito integrado, também conhecido com CI, **microchip** ou *chip*, é um circuito eletrônico constituído por milhares (ou milhões) de dispositivos semicondutores, como transistores. Construído sobre um fino substrato de material semicondutor, o CI é considerado uma evolução no mundo da eletrônica. Detalhes construtivos e de manufatura dos circuitos integrados serão abordados nas próximas lições.

### • Fonte de alimentação

A fonte de alimentação é um equipamento utilizado para alimentar os componentes de um circuito. Ela pode ser de corrente alternada (CA) ou de corrente contínua (CC), dependendo das exigências de projeto. Além das fontes de tensão, existem também as fontes de corrente, que são projetadas e configuradas conforme as exigências operacionais do circuito eletroeletrônico. Na última lição, conheceremos melhor esse importante componente de circuito.



**Micro-chip:** circuito integrado composto de diversos componentes ativos, por exemplo, transistores.



## Exercitando

Assinale a alternativa que contenha dois componentes passivos e três componentes ativos de circuito.

- Resistor, capacitor, indutor, diodo e transistor.
- Resistor, capacitor, indutor, diodo e fonte de alimentação.
- Resistor, capacitor, indutor, diodo e circuito integrado.
- Resistor, indutor, diodo, transistor e circuito integrado.

**Comentário:** se você pensou na alternativa "d", está correto(a)! Parabéns! O resistor e o indutor são os componentes passivos e o diodo, o transistor e o circuito integrado são considerados componentes ativos.



**Bandas de energia:** composição das bandas de valência e de condução, caracterizando, com isso, os níveis de energia dos elétrons.

## 1.3 Materiais isolantes, condutores e semicondutores

Para determinarmos e entendermos se um material é isolante, condutor ou semicondutor, é necessário conhecer a estrutura atômica e as bandas de energia do material estudado. Então, vamos conhecer um pouco sobre as bandas de energia? Assim, ficará mais fácil compreender as características destes materiais.

### • Bandas de energia

Na estrutura atômica de qualquer átomo (material) isolado, existem bandas de energia (níveis de energia) associadas a cada camada eletrônica e a cada elétron em órbita, essas bandas são diferentes para cada elemento (material) (BOYLESTAD; NASHELSKY, 2013).

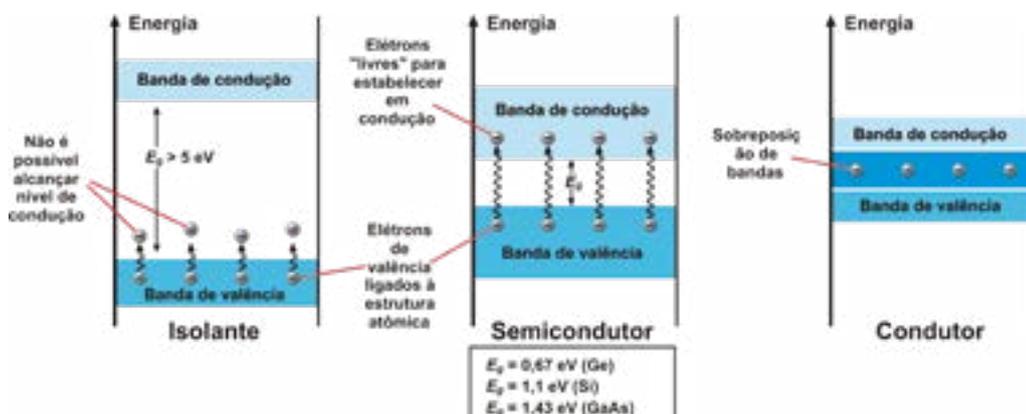


### Importante

Quanto maior a distância de um elétron em relação ao núcleo, maior o estado de energia, e qualquer elétron que tenha deixado seu átomo de origem tem um estado de energia mais alto do que qualquer outro elétron na estrutura atômica.

A figura a seguir apresenta as bandas de energia dos materiais isolantes, condutores e semicondutores.

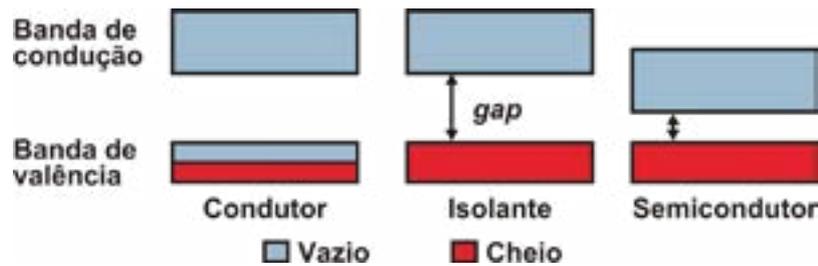
**Bandas de energia: materiais isolantes, condutores e semicondutores**



Fonte: BOYLESTAD; NASHELSKY (2013).

Observando a figura anterior, podemos verificar que os elétrons podem assumir dois níveis de energia, são eles: o **nível inferior**, também conhecido como **banda de valência**, em que o elétron está preso por ação de uma força ao núcleo. E o **nível superior**, também conhecido como **banda de condução**, em que o elétron pode circular livremente dependendo da estrutura atômica do material.

Entre esses níveis, existe uma região na qual o elétron não pode permanecer, é a região proibida ou **gap de energia** ( $E_g$ ). Nesse sentido, quanto maior o *gap* do material, menor a possibilidade de o elétron passar da banda de valência para a banda de condução. Vamos analisar as três condições apresentadas na figura, as quais caracterizam se um material é isolante, semicondutor ou condutor de energia? Então, mãos à obra!



No material isolante, o *gap* é maior, quando comparado com os outros materiais. Com isso, torna-se muito difícil um elétron na camada de valência chegar à camada de condução, já que a energia na região proibida chega a ser maior que 5 eV (elétron volt) ( $E_g > 5 \text{ eV}$ ). Por outro lado, em materiais semicondutores, a energia de *gap* é bem menor! Além disso, cada material tem uma  $E_g$  específica, o que diferencia o seu desempenho em um circuito eletrônico. Por exemplo, o germânio (Ge) tem  $E_g = 0,67 \text{ eV}$ , o silício (Si) tem  $E_g = 1,1 \text{ eV}$  e o arseneto de gálio (GaAs) tem  $E_g = 1,43 \text{ eV}$ . Enquanto os materiais condutores possuem os níveis de energia sobrepostos. Isto é, existe uma sobreposição das bandas de valência e de condução, o que facilita a mobilidade dos elétrons livres e, conseqüentemente, a passagem de corrente elétrica no material condutor de energia.

### Saiba mais

Como exemplos de materiais isolantes, podemos mencionar a madeira, a cerâmica, o vidro e a borracha. Já em relação aos materiais condutores, é possível citar o alumínio, o cobre, o níquel e o cobalto. Por outro lado, os semicondutores mais comuns são o germânio, o gálio, o arsênio e o silício.

Você conseguiu entender a diferença de um material com base nos estudos dos níveis de energia (bandas de valência e de condução)? Esperamos que sim!

### Dicas

Em projetos de circuitos eletrônicos, o técnico deve consultar os manuais dos componentes para certificar-se das suas condições operacionais, tendo em vista que, se tratando de semicondutores, por exemplo, as tensões de operação dos materiais são distintas, como é o caso do Ge e do Si. Portanto, fique atento!



**Banda de valência:** banda de energia formada por níveis de energia, ocupada por elétrons semilivres, que estão um pouco mais separados do núcleo, quando comparados com os demais elétrons.

**Banda de condução:** região dentro da banda de valência mais próxima ao nível de Fermi, parcialmente preenchida com elétrons.

**Gap de energia:** neste estado, o semicondutor tem características de um isolante elétrico.

**Elétron-volt (eV):** Quantidade de energia cinética ganha por um único elétron quando acelerado por uma diferença de potencial de um volt (1V) no vácuo.



## Exercitando

Assinale a alternativa que indica a região das bandas de energia na qual o elétron não pode permanecer.

- a) Região proibida ou *gap* de energia ( $E_g$ ).
- b) Região de *gap* de energia ( $E_g$ ) ou camada de valência.
- c) Região de condução ou região proibida ( $E_g$ ).
- d) Região proibida ou de condução ( $E_g$ ).

**Comentário:** se você pensou na alternativa “a”, está correto(a)! Parabéns! Entre as bandas (ou níveis) de energia, existe uma região na qual o elétron não pode permanecer, é a região proibida ou *gap* de energia ( $E_g$ ). Nesse sentido, quanto maior o *gap* do material, menor a possibilidade de o elétron passar da banda de valência para a banda de condução.

## Resumindo

Nesta lição, conhecemos um pouco sobre a história da eletrônica. Estudamos também os principais componentes passivos (resistor, capacitor e indutor) e ativos (diodo, transistor, circuito integrado e fonte de alimentação) encontrados em circuitos eletroeletrônicos. Além disso, tivemos a oportunidade de conhecer as principais diferenças entre os materiais condutores, isolantes e semicondutores estudando as bandas de energia. Por fim, realizamos alguns exercícios para fixar os conceitos, definições e aplicações dos componentes passivos e ativos de circuitos.

Veja se você se sente apto a:

- listar os princípios e a evolução da eletrônica;
- descrever a importância da eletrônica em nosso cotidiano;
- reconhecer os componentes passivos e ativos em um circuito eletrônico;
- explicar as principais características dos componentes de um circuito eletrônico;
- identificar as principais diferenças entre os materiais condutores, isolantes e semicondutores.

O que achou desse assunto? Esperamos que tenha gostado. Não deixe de ampliar os seus estudos por meio de pesquisas e leituras. Faça muitos exercícios aplicativos e anote as observações que achar necessárias.

Bons estudos e até a próxima lição!

## Exercícios

**Questão 1** – A eletrônica é a área da ciência que trata dos dispositivos eletrônicos nas seguintes aplicações:

- a) informática e cabeamento de redes.
- b) máquinas e componentes mecânicos.
- c) controle de sistemas robóticos e sistemas de telecomunicações.
- d) entretenimento e jogos digitais.

**Questão 2** – A eletrônica fundamenta-se em componentes manufaturados com materiais:

- a) condutores.
- b) semicondutores.
- c) metálicos.
- d) isolantes.

**Questão 3** – Para conhecer os conceitos e os dispositivos eletrônicos, é importante estudar:

- a) eletrodinâmica.
- b) eletricidade.
- c) física.
- d) eletricidade e física.

**Questão 4** – A origem dos equipamentos eletrônicos está relacionada com pesquisas desenvolvidas por:

- a) Thomas Alva Edison, que, em 1883, descobriu o efeito termiônico.
- b) Thomas Alva Edison, que, em 1893, descobriu o efeito termiônico.
- c) Thomas Alva Edison, que, em 1983, descobriu o efeito termiônico.
- d) Thomas Alva Edison, que, em 1803, descobriu o efeito termiônico.

**Questão 5** – O primeiro computador, o ENIAC, consumia muita energia, tendo em vista que ele possuía:

- a) em torno de 7 mil resistores e aproximadamente 18.000 válvulas a vácuo.
- b) em torno de 70 mil resistores e aproximadamente 18.000 válvulas a vácuo.
- c) em torno de 70 mil resistores e aproximadamente 8.000 válvulas a vácuo.
- d) em torno de 70 mil resistores e aproximadamente 1.000 válvulas a vácuo.



Parabéns, você finalizou esta lição!

Agora responda às questões ao lado.

**Questão 6** – Os circuitos eletrônicos são constituídos de componentes (dispositivos) eletroeletrônicos que podem ser classificados como:

- a) eletrônicos e elétricos.
- b) passivos e ativos.
- c) passivos e elétricos.
- d) ativos e eletrônicos.

**Questão 7** – Os componentes passivos não geram energia, embora alguns possam armazená-la, como é o caso do:

- a) indutor e do resistor.
- b) capacitor e do resistor.
- c) capacitor e do indutor.
- d) indutor e do amplificador.

**Questão 8** – Os transistores e os amplificadores operacionais são componentes ativos, pois:

- a) oferecem energia e ganho de corrente ao circuito.
- b) oferecem ganho de corrente ao circuito.
- c) oferecem energia ao circuito.
- d) oferecem corrente ao circuito.

**Questão 9** – Basicamente, a função do resistor é:

- a) limitar a tensão elétrica no circuito para atender às exigências técnicas e operacionais de outros dispositivos.
- b) limitar a potência elétrica no circuito para atender às exigências técnicas e operacionais de outros dispositivos.
- c) limitar a resistência elétrica no circuito para atender às exigências técnicas e operacionais de outros dispositivos.
- d) limitar a corrente elétrica no circuito para atender às exigências técnicas e operacionais de outros dispositivos.

**Questão 10** – Algebricamente, a primeira lei de Ohm afirma que:

- a)  $U = R \times I$  [V].
- b)  $R = U \times I$  [ $\Omega$ ].
- c)  $U = R / I$  [V].
- d)  $U = I / R$  [V].