

# UNIP

UNIVERSIDADE PAULISTA

## Ciência da Computação Interdisciplinar

**Autor:** Prof. Álvaro A. Colombero Prado

**Colaboradoras:** Profa. Vanessa Lessa

Profa. Christiane Mazur Doi

## Professor conteudista: Álvaro A. Colombero Prado

Bacharel em Sistemas de Informação pela Universidade Paulista (UNIP, 2010), com pós-graduação *lato sensu* em Engenharia de Software (UNIP, 2011). Mestre em Engenharia de Produção pela UNIP (2013). É professor dos cursos de bacharelado em Ciência da Computação e Sistemas de Informação na UNIP, no campus Tatuapé, atuando há dez anos na área de docência no Ensino Superior.

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

P896c      Prado, Álvaro A. Colombero.

Ciência da Computação Interdisciplinar / Álvaro A. Colombero Prado. – São Paulo: Editora Sol, 2023.

148 p., il.

Nota: este volume está publicado nos Cadernos de Estudos e Pesquisas da UNIP, Série Didática, ISSN 1517-9230.

1. Resistores. 2. Capacitores. 3. Circuitos. I. Título.

CDU 681.3

U518.33 – 23

Profa. Sandra Miessa  
**Reitora**

Profa. Dra. Marília Ancona Lopez  
**Vice-Reitora de Graduação**

Profa. Dra. Marina Ancona Lopez Soligo  
**Vice-Reitora de Pós-Graduação e Pesquisa**

Profa. Dra. Claudia Meucci Andreatini  
**Vice-Reitora de Administração e Finanças**

Prof. Dr. Paschoal Laercio Armonia  
**Vice-Reitor de Extensão**

Prof. Fábio Romeu de Carvalho  
**Vice-Reitor de Planejamento**

Profa. Melânia Dalla Torre  
**Vice-Reitora das Unidades Universitárias**

Profa. Silvia Gomes Miessa  
**Vice-Reitora de Recursos Humanos e de Pessoal**

Profa. Laura Ancona Lee  
**Vice-Reitora de Relações Internacionais**

Prof. Marcus Vinícius Mathias  
**Vice-Reitor de Assuntos da Comunidade Universitária**

## **UNIP EaD**

Profa. Elisabete Brihy  
Profa. M. Isabel Cristina Satie Yoshida Tonetto  
Prof. M. Ivan Daliberto Frugoli  
Prof. Dr. Luiz Felipe Scabar

### **Material Didático**

Comissão editorial:

Profa. Dra. Christiane Mazur Doi  
Profa. Dra. Ronilda Ribeiro

Apoio:

Profa. Cláudia Regina Baptista  
Profa. M. Deise Alcantara Carreiro  
Profa. Ana Paula Tôrres de Novaes Menezes

Projeto gráfico:

Prof. Alexandre Ponzetto

Revisão:

Vitor Andrade  
Andressa Picosque



# Sumário

## Ciência da Computação Interdisciplinar

APRESENTAÇÃO.....	7
INTRODUÇÃO.....	8

### Unidade I

1 SOBRE OS COMPONENTES ELETRÔNICOS.....	9
1.1 Resistores.....	9
1.1.1 Quem foi Georg Ohm?.....	10
1.1.2 Grandezas elétricas: resistência, tensão e corrente.....	11
1.1.3 Lei de Ohm.....	13
1.2 Tipos de resistores.....	15
1.2.1 Resistores de carvão e filme de carbono.....	15
1.2.2 Resistores de filme metálico.....	18
1.2.3 Resistores de potência e de fio.....	19
1.2.4 Potenciômetros.....	20
1.2.5 Fotorresistores e termístores.....	22
2 LEITURA DOS VALORES DOS RESISTORES.....	24
2.1 Códigos de cores: resistores de três, quatro e cinco faixas.....	25
2.1.1 Resistores de quatro faixas.....	25
2.1.2 Resistores de cinco faixas.....	26
2.1.3 Resistores de três faixas.....	27
2.2 Entendendo a tolerância dos resistores.....	29
2.3 Sistemas de valores E6, E12 e E24.....	30
2.3.1 Série E6.....	30
2.3.2 Série E12.....	31
2.3.3 Série E24.....	31
3 ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES.....	31
3.1 Resistores em série.....	32
3.2 Resistores em paralelo.....	33
3.3 Associações em série/paralelo.....	35
4 DIVISORES DE TENSÃO.....	36
4.1 O que é o divisor de tensão.....	36
4.2 Proporcionalidade no divisor.....	39
4.3 O potenciômetro como divisor de tensão.....	44

## Unidade II

5 CAPACITORES.....	54
5.1 História dos capacitores e sua relação com Michael Faraday.....	54
5.2 Conceitos de carga elétrica e capacitância .....	55
5.3 Leitura dos valores dos capacitores.....	58
5.3.1 Capacitores com códigos de leitura direta.....	58
5.3.2 Capacitores com códigos de três números .....	59
5.3.3 Capacitores com valores com ponto decimal .....	60
5.4 Carga e descarga do capacitor.....	62
5.4.1 Capacitores em corrente contínua .....	63
5.4.2 Capacitores em corrente alternada.....	66
5.4.3 Reatância capacitiva .....	68
5.4.4 O capacitor como filtro .....	69
6 TIPOS DE CAPACITORES E SUAS CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS.....	70
6.1 Capacitores de filme poliéster.....	70
6.2 Capacitores cerâmicos.....	72
6.3 Capacitores eletrolíticos.....	73
6.4 Capacitores variáveis .....	75
6.5 Supercapacitores .....	77
6.6 Capacitores de tântalo .....	78
6.7 Capacitores mais antigos (mas ainda usados).....	79
6.7.1 Capacitores de papel .....	80
6.7.2 Capacitores a óleo.....	81
6.7.3 Capacitores de mica/mica prateada.....	82
7 ASSOCIANDO E TESTANDO CAPACITORES .....	83
7.1 Associando capacitores em série e em paralelo .....	84
7.1.1 Capacitores em paralelo.....	84
7.1.2 Capacitores em série.....	85
7.2 Testando capacitores para fuga ou curto.....	88
7.3 Equivalent Series Resistance (ESR).....	93
8 SOBRE A CONSTRUÇÃO DE CIRCUITOS ELETRÔNICOS .....	95
8.1 Os circuitos <i>breadboard</i> e os primórdios da eletrônica .....	96
8.2 A clássica montagem ponto a ponto .....	100
8.3 Circuitos impressos.....	108
8.3.1 Processo de fabricação de circuitos impressos com caneta resistente ao ácido.....	110
8.4 Técnica de construção tipo ilhas Manhattan .....	120
8.5 Placas de circuito impresso padrão: ilhadas e trilhadas.....	124
8.6 Matrizes de contatos <i>protoboard</i> .....	128
8.7 Um item de segurança na bancada: a lâmpada série .....	135

## APRESENTAÇÃO

Em tempos de profundas mudanças e avanços tecnológicos, nos vemos cada vez mais rodeados de dispositivos dos mais diversos tipos, fornecendo-nos comodidades das mais diversas, impactando nossa qualidade de vida e também o mundo ao nosso redor. Contudo, é notável que muitas vezes desconhecemos como determinadas tecnologias funcionam por dentro, por mais que estejamos familiarizados com elas.

Este é um livro-texto que vem, portanto, apresentar uma primeira introdução aos conceitos fundamentais e básicos da eletrônica, fornecendo subsídios iniciais para a compreensão da construção e também da operação de dispositivos tecnológicos simples, mas que servem de base para o entendimento do que se passa dentro de computadores, celulares, tablets e quaisquer outros gadgets tecnológicos que fazem parte do nosso dia a dia.

Neste livro-texto, serão apresentados os resistores e capacitores, componentes essenciais para a compreensão do funcionamento dos circuitos eletrônicos e também de sua operação, com seus respectivos detalhes técnicos, cálculos e aplicações práticas envolvidas. Uma parte apresentando algumas técnicas construtivas simples para circuitos eletrônicos complementa o assunto abordado.

Vale acrescentar que este material é escrito em linguagem simples e direta, simplificando o entendimento do leitor. Adicionalmente, são inseridas muitas imagens, bem como os itens chamados de "observação" e de "lembrete", que auxiliam na solução de eventuais dúvidas. Os itens chamados de "saiba mais" possibilitam que você amplie seus conhecimentos. Há, ainda, muitos exemplos de aplicação, resolvidos em detalhes, o que implica a fixação dos assuntos abordados.

## INTRODUÇÃO

Em termos gerais, não é possível dissociar a computação da eletrônica, uma vez que essa última teve sua origem na primeira. Assim, ao aluno da área da computação é de grande importância o conhecimento das tecnologias básicas empregadas dentro das máquinas – muitas vezes poderosas – que operamos.

Assim, este livro-texto inicia uma série que aborda os conceitos básicos utilizados para a construção de circuitos eletrônicos, que fornecem subsídio para que vocês, alunos, possam elaborar soluções de hardware para protótipos que podem acompanhar um trabalho de conclusão de curso, por exemplo, ou mesmo projetos pessoais e profissionais que trarão grande êxito e realização.

O conteúdo deste livro-texto foi dividido em duas unidades.

Na unidade I, será abordada a teoria sobre as três principais grandezas elétricas: a tensão, a corrente e a resistência. Depois, será explanada a lei de Ohm, que relaciona essas três grandezas, sendo a seguir apresentados os componentes eletrônicos resistores. Serão dados detalhes históricos, técnicos e sobre os cálculos básicos que os envolvem.

Na unidade II, são apresentados os capacitores e as características que lhes permitem armazenar cargas elétricas. Será apresentada a unidade de medida que lhes foi atribuída, o farad (F), e também serão abordados alguns cálculos. A seguir, há um breve resumo das principais técnicas que podem ser utilizadas na construção de circuitos eletrônicos, partindo de soluções simples, como as montagens ponto a ponto, até o uso das matrizes de contatos e a fabricação caseira de circuitos impressos, que podem ser aplicadas pelo aluno na construção de suas próprias soluções.

É esperado que o aluno tenha uma boa leitura e se sinta motivado a conhecer mais sobre a eletrônica e sua relação com os computadores modernos, através desta disciplina.

Bons estudos.



# Unidade I

## 1 SOBRE OS COMPONENTES ELETRÔNICOS

A eletrônica, enquanto atividade profissional, ganhou forma na primeira metade do século XX, através do trabalho de diversos cientistas, engenheiros e técnicos que aplicaram enorme esforço em desenvolver e aperfeiçoar novas tecnologias, e também em torná-las mais acessíveis e baratas para o consumo do público em geral.

Ao longo deste período, foram muitos os avanços obtidos nas técnicas de construção dos circuitos eletrônicos, passando desde simples soluções implementadas com um emaranhado de fios, por circuitos ponto a ponto, aos circuitos impressos e, mais atualmente, aos circuitos integrados de grande escala, de pequeniníssimo tamanho, mas com grande poder na solução de problemas. Os ganhos, para além da crescente miniaturização, relacionam-se também com uma maior confiabilidade e estabilidade de operação.

Nesta unidade, iremos apresentar os resistores, suas características e aplicações na prática, bem como os cálculos envolvidos em seu funcionamento.

### 1.1 Resistores

Um dos componentes eletrônicos mais universalmente utilizados, os resistores estão presentes em praticamente qualquer circuito eletrônico. Podem ser encontrados em uma enorme variedade de valores, tamanhos e tipos, e ser destinados a aplicações das mais diversas, em circuitos de baixa e alta potência.

De acordo com Capuano e Marino (2003), resistores são componentes que têm por finalidade oferecer uma oposição à passagem da corrente elétrica por meio de seu material.

A essa oposição chamamos de resistência elétrica, cujo valor é medido em ohms, unidade de medida cujo símbolo é a letra grega ômega ( $\Omega$ ). Os resistores podem ter os seus valores na casa de uns poucos ohms ou de seus múltiplos, podem ter valores fixos ou variáveis e sua tolerância pode também ser diferente, consoante o modelo em questão.

Contudo, para abordarmos mais profundamente todos esses assuntos, é importante antes de mais nada fazer uma breve digressão histórica a respeito de como os resistores ganharam a importância que têm hoje.



### Saiba mais

Aprofunde seus conhecimentos a respeito do tema em:

CAPUANO, F. G.; MARINO, M. A. M. *Laboratório de eletricidade e eletrônica*. São Paulo: Érica, 2003.

### 1.1.1 Quem foi Georg Ohm?

Georg Simon Ohm (figura a seguir) nasceu na Alemanha, no ano de 1789. Era filho de um serralheiro de nome Johann, que, apesar de não ter recebido educação formal, era possuidor de profundos conhecimentos técnicos, que adquiriu de forma inteiramente autodidata. Isso permitiu ao jovem Georg aprender com o pai conceitos de matemática, física, química e filosofia, que se tornariam a base de sua formação para o futuro.



Figura 1 – Litografia de Georg Ohm

Disponível em: <https://tinyurl.com/mrxyka9e>. Acesso em: 9 jun. 2023.

No ano de 1805, Georg entra para a Universidade de Erlangen, indo em seguida para a Suíça, onde passa a atuar como professor de matemática. Foi em 1817 que, ao estabelecer-se na cidade alemã de Colônia, iniciou a fazer experimentos no laboratório de física da escola em que trabalhava, utilizando-se de um aparato baseado em uma pilha elétrica (figura a seguir), inventada pelo físico italiano Alessandro Volta 17 anos antes.

Tendo em mente o interesse de Ohm por tornar-se professor universitário, este iniciou a produção de uma série de artigos científicos em que relatava os resultados de seus experimentos. No ano de 1825, publicou o trabalho "Aviso preliminar sobre a lei segundo a qual os metais conduzem a eletricidade

de contato", seguido por outra publicação no ano seguinte, em que apresentava diversas correções e melhorias das fórmulas para os cálculos do que hoje conhecemos como a lei de Ohm.

Juntamente a outros grandes nomes de seu tempo, como André-Marie Ampère, Claude Pouillet, James Prescott Joule, Michael Faraday e Gustav Kirchhoff, Ohm pavimentou todo um caminho para a medição e o cálculo de grandezas recém-descobertas, como a resistência, a corrente e a tensão elétrica.



Figura 2 – Aspecto de uma pilha de Volta

Disponível em: <https://shre.ink/lr7p>. Acesso em: 13 jun. 2023.

### 1.1.2 Grandezas elétricas: resistência, tensão e corrente

São três as principais grandezas elétricas que são úteis para a compreensão básica de qualquer circuito eletrônico: a resistência, a tensão e a corrente elétrica. Podemos sumarizar seus símbolos e unidades no quadro a seguir.

**Quadro 1 – Grandezas elétricas, seus símbolos e unidades**

Grandeza	Símbolo	Unidade
Tensão	V	Volt (V)
Corrente	I	Ampère (A)
Resistência	R	Ohm ( $\Omega$ )

Adaptado de: Marques (1988).

É fundamental ao aluno que deseja assimilar o básico da eletrônica compreender e também saber associar – decorar – essas grandezas, seus símbolos e unidades, para bom aproveitamento na matéria, uma vez que serão conceitos muito utilizados por todo o seu curso. Portanto, vamos esmiuçar cada uma dessas grandezas para sua compreensão.

A tensão, também denominada diferença de potencial, refere-se ao potencial elétrico que existe entre os dois terminais de um gerador de eletricidade qualquer, que pode ser uma pilha, bateria ou mesmo um dínamo de bicicleta. Ela é a força eletromotriz, portanto, que "empurra" os elétrons através dos fios que ligam o dito gerador (pilha, bateria...) ao circuito alimentado, fazendo-o funcionar. É medida em volts (V), sendo que existem circuitos que podem ser alimentados com pouco mais de 1 volt – como controles remotos, rádios portáteis (figura a seguir) e similares – até muitos milhares de volts, como os motores que movimentam os trens elétricos, elevadores e outros dispositivos em que se exige grande esforço.



Figura 3 – Aspecto interno de um radinho portátil AM, alimentado por uma única pilha grande de 1.5 V

Quando nos referimos à corrente elétrica, estamos falando do fluxo dos elétrons que saem de um gerador (como uma bateria), fluem pelo circuito que estão alimentando e retornam à referida bateria, constituindo o que chamamos de um circuito fechado. É medida em ampères (A), e também pode ser mensurada em valores que podem ir desde poucas frações de ampères até muitas centenas deles. Algo que se deve notar é que, quanto maior é a corrente que circula por um circuito, mais grossos também são os fios que o alimentam, bem como se perceberá um maior aquecimento desse circuito enquanto estiver funcionando.

Por fim, damos o nome de resistência elétrica à propriedade que qualquer corpo possui de opor-se à passagem da corrente elétrica. É medida em ohms ( $\Omega$ ), e podemos entendê-la simplesmente fazendo uma analogia com um engarrafamento de trânsito: se existe um estreitamento na estrada, os veículos tendem a movimentar-se mais devagar e com dificuldade, muitas vezes demorando muito tempo para passar por esse trecho, atingindo uma menor quantidade no final do dito estreitamento. Alguns motoristas mais apressadinhos podem até querer invadir o acostamento da estrada ou subir na calçada com seus veículos, mas isso será infrutífero para que cheguem mais rápido que os demais. Se assumirmos os veículos como sendo os elétrons circulantes e a estrada como um circuito elétrico, podemos entender facilmente o conceito da resistência elétrica.

E quanto aos motoristas que tentaram passar à frente dos demais invadindo o acostamento ou a calçada? Podemos dizer que eles são os elétrons que se "perderam" e foram convertidos em calor no circuito (figura a seguir). Desta forma, podemos dizer que todo circuito que apresenta uma resistência elétrica irá produzir um pouco de calor, pelo mínimo que seja, através de um fenômeno que chamamos de efeito Joule.

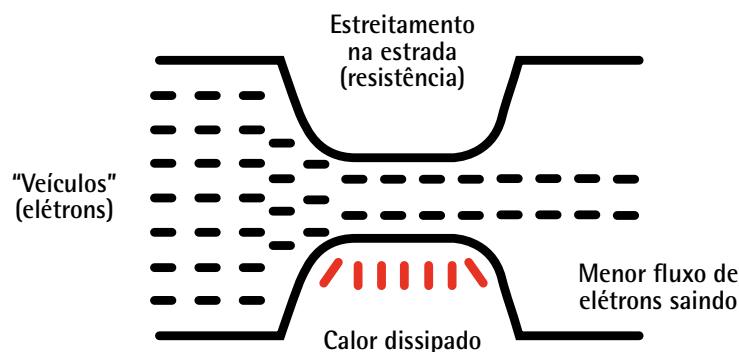


Figura 4 – Analogia da propriedade de resistência elétrica com um congestionamento de trânsito

### 1.1.3 Lei de Ohm

Para entender o conceito da lei de Ohm, primeiro é preciso ler o seu enunciado, que, de acordo com Marques (1988a, p. 4), diz: "a diferença de potencial entre os terminais de um circuito é igual ao produto da resistência desse circuito pela intensidade da corrente elétrica que por ele circula".

Assim, podemos dizer que, por exemplo, em um circuito, uma corrente elétrica de 3 ampères, ao passar por uma resistência de 10 ohms, produzirá sobre ela uma tensão ou diferença de potencial igual a 30 volts. Então, podemos sumarizar que a fórmula básica – simples, porém fundamental – da lei de Ohm será:

$$V = R \times I$$

Onde:

V: a tensão em volts

R: a resistência em ohms

I: a corrente em ampères

Note-se que aquilo que chamamos de circuito pode ser praticamente qualquer meio condutor de eletricidade, seja ele um componente eletrônico qualquer, um fio elétrico, uma lâmpada ou mesmo um circuito inteiro, com diversos componentes interligados entre si (MARQUES, 1988a).

Deve-se ter atenção também ao fato de que a proporcionalidade entre essas grandezas se mantém mesmo que efetuemos algumas alterações na fórmula em nível algébrico. Assim, podemos chegar a

mais duas variações da fórmula básica da lei de Ohm, de forma a obter, respectivamente, a corrente circulante em um circuito e sua resistência elétrica.

Assim, pode-se proceder ao mesmo enunciado, tendo "isolado" o termo que representa a corrente: a intensidade da corrente elétrica que percorre um circuito é igual ao quociente da diferença de potencial entre os terminais desse circuito, pela resistência que esse circuito apresenta à passagem da corrente (MARQUES, 1988a).

Dessa forma, podemos sumarizar a seguinte expressão matemática:

$$I = \frac{V}{R}$$

Da mesma maneira, é possível obter a resistência através de outra variação dessa fórmula, isolando-se o termo correspondente à resistência, de forma que terminamos com o seguinte enunciado: a resistência que um circuito apresenta à passagem da corrente elétrica é igual ao quociente da diferença de potencial (tensão) entre os terminais desse circuito pela intensidade da corrente que por ele passa (MARQUES, 1988a).

Temos então a seguinte fórmula:

$$R = \frac{V}{I}$$



### Observação

Um modo fácil de decorar as fórmulas da lei de Ohm é usar mnemônicas e também recursos gráficos, como a pirâmide de Ohm, que representamos a seguir.

Para a fórmula básica, normalmente se usa uma analogia em que se diz que ela é "a fórmula mais engraçada de todas, porque quem vê, ri" – o que ajuda a recordar a estrutura em que  $V = R \times I$ .

Outra forma também muito prática e fácil de decorar é utilizando uma estrutura gráfica de pirâmide dividida em três partes, colocando na parte superior a grandeza da tensão e na parte de baixo a corrente e a resistência, conforme figura:

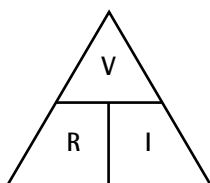


Figura 5 – Pirâmide de Ohm

Para descobrir a fórmula relacionada à grandeza que desejamos calcular, basta cobrir com o dedo o símbolo correspondente e observar a posição dos demais. Se estiverem um na frente do outro, multiplicam-se, e se estiverem um sobre o outro, dividem-se.

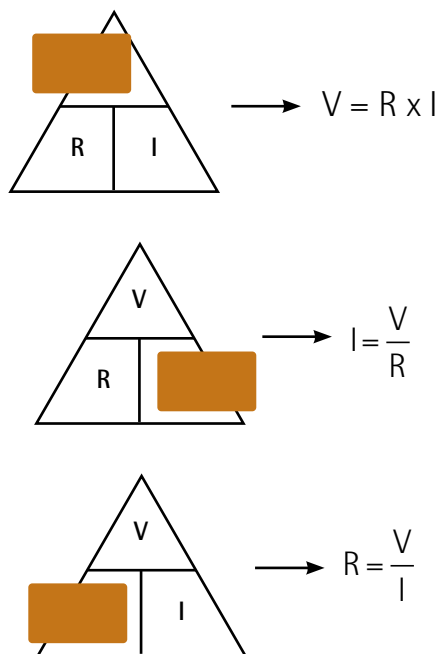


Figura 6 – Usos da pirâmide de Ohm

## 1.2 Tipos de resistores

São diversos os tipos de resistores que podem ser encontrados por aí, e cada tipo tem sua aplicação específica e características próprias, em especial no que concerne a tamanho, valores e potência dissipada.

Existem também tipos de resistores cujo valor ôhmico pode ser variado dentro de certa faixa, permitindo assim que ajustes importantes sejam feitos aos circuitos, e também que sejam usados como sensores, seja para mensurar um valor de tensão ou a presença ou ausência de luz e temperatura.

### 1.2.1 Resistores de carvão e filme de carbono

Os resistores feitos à base de carvão (ou carbono) são os tipos mais comuns e baratos que se podem encontrar. Normalmente, existem em valores que vão desde frações de ohm até alguns milhões de ohms, em potências que podem ir de 1/8 de watt (W) até 5 watts (figura a seguir). Podem ser fabricados de duas formas principais, utilizando uma mistura de material cerâmico com carvão ou com uma técnica mais aprimorada, que usa um filme de carbono, cujo "corte" dará ao resistor seu valor correto. Vamos detalhar mais esses processos a seguir.



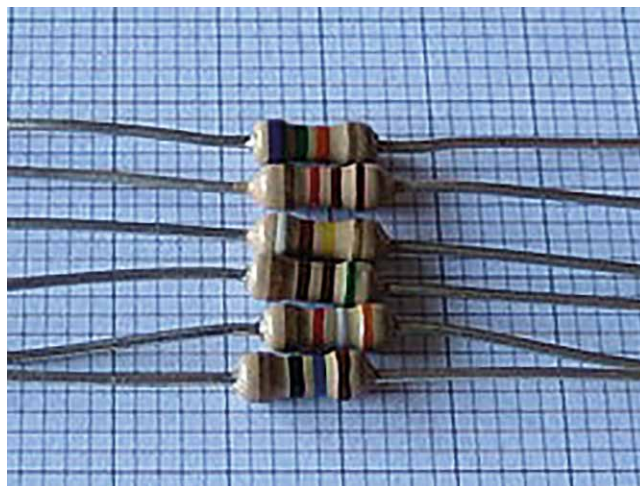


Figura 7 – Aspecto dos resistores de carvão

Disponível em: <https://shre.ink/IrVJ>. Acesso em: 13 jun. 2023.

### Resistores de carvão tipo *carbon composite* ou *carbon comp*

São um tipo mais antigo de resistor e representam o primeiro tipo de tecnologia a ser desenvolvida para a fabricação de resistores em grande quantidade, sendo utilizados desde os anos 1930 até hoje.

Em sua construção (figura a seguir), é utilizada uma espécie de massa feita de cerâmica misturada com pó de carvão, que então é moldada no formato de um pequeno cilindro e cozida em um forno especial. No caso, o valor ôhmico do resistor é determinado pela proporção entre o pó de carvão e a cerâmica aplicada na mistura: quanto mais carvão presente, menor será a resistência. Para resistores de valor mais alto, menos carvão é adicionado à cerâmica, perfazendo assim uma resistência maior.

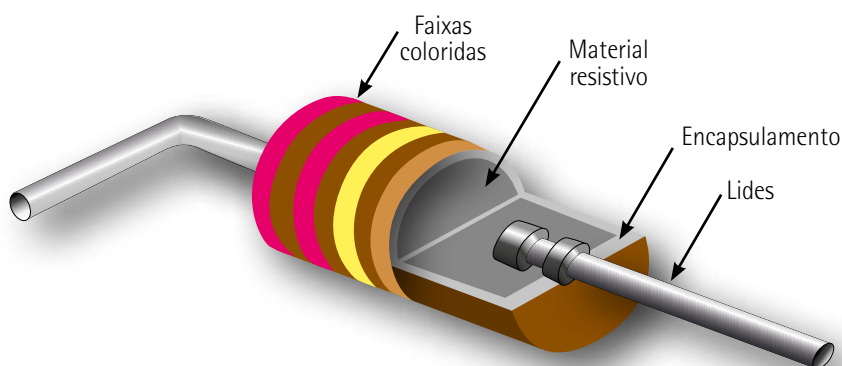


Figura 8 – Estrutura de um resistor *carbon composite*

Posteriormente, o cilindro de cerâmica cozido é encapsulado dentro de outro, feito de material plástico, e então selado hermeticamente, já com as suas lides instaladas nas laterais. Normalmente, os resistores tipo *carbon composite* são apenas encontrados em potências que vão de  $\frac{1}{2}$  a não mais que 3 watts, devido a limitações em seu processo construtivo. A tolerância (precisão dos valores) obtida é boa e está entre 5 e 20%, assunto no qual iremos nos aprofundar posteriormente.



Na figura a seguir, podem ser vistos alguns resistores *carbon composite*: os mais antigos são chamados pelos técnicos da época de *dog bones* (ou osso de cachorro, em alusão à figura popularizada nos desenhos animados do osso de origem bovina que os cães adoram roer) e os mais novos já são encapsulados em baquelite ou outros plásticos mais modernos e herméticos.



Figura 9 – Diversos resistores tipo *carbon composite*: os mais modernos (à esquerda) e os *dog bones*, mais antigos, à direita

Um problema recorrente nesse tipo de resistor é que, com a passagem de corrente e seu consequente aquecimento, ele pode apresentar uma alteração gradual de seu valor ôhmico, sempre para cima, o que pode, com o tempo, afetar o funcionamento do equipamento onde é instalado. Outro fator problemático também pode advir da intrusão de umidade no interior do encapsulamento plástico do resistor – algo mais grave ainda para os velhos resistores tipo *dog bone*, uma vez que eles são protegidos apenas por uma camada de tinta.

De qualquer forma, o uso dos resistores tipo *carbon composite* ainda segue em áreas específicas, sobretudo em áudio e em radiofrequência, onde seus benefícios são mais percebidos.

### Resistores tipo filme de carbono

Apesar de serem feitos, em essência, do mesmo material que os resistores *carbon composite*, os resistores de filme de carbono têm uma técnica construtiva completamente diferente, que lhes permite fornecer melhores resultados, além de maior durabilidade.

Sua fabricação, conforme a figura a seguir, é feita depositando quimicamente um filme de carvão sobre um cilindro cerâmico, tornando-o assim condutivo. A seguir, uma máquina faz um corte em espiral sobre este filme, de forma que o "caminho" para a corrente que passa torne-se mais longo. A ideia é que, quanto mais longo esse caminho é, mais estreita será a seção do filme pelo qual terá de passar a corrente, perfazendo maior resistência elétrica. Da mesma forma, um caminho mais curto terá uma seção de filme mais larga e resultará, consequentemente, em menor resistência.

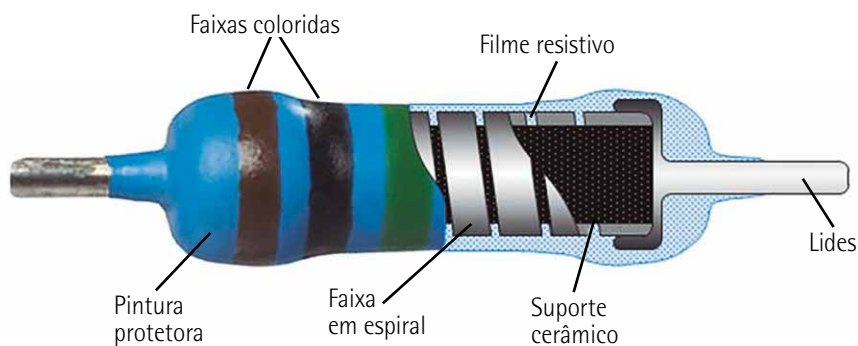


Figura 10 – Estrutura de um resistor de filme de carbono

Entre as vantagens desses resistores, sobressaem-se uma maior precisão nos valores obtidos (da ordem de 1 a 10%), maiores potências dissipadas (nominalmente até 5 W) e maior estabilidade em relação ao aquecimento e à intrusão de umidade. Sua construção também é muito mais barata, podendo ser produzidos e comercializados em enormes quantidades, e seu tamanho pode ficar bastante reduzido, consoante a potência para a qual o resistor foi desenhado. Normalmente, são mais encontrados nas versões de 1/8 e 1/4 de watt (figura a seguir).

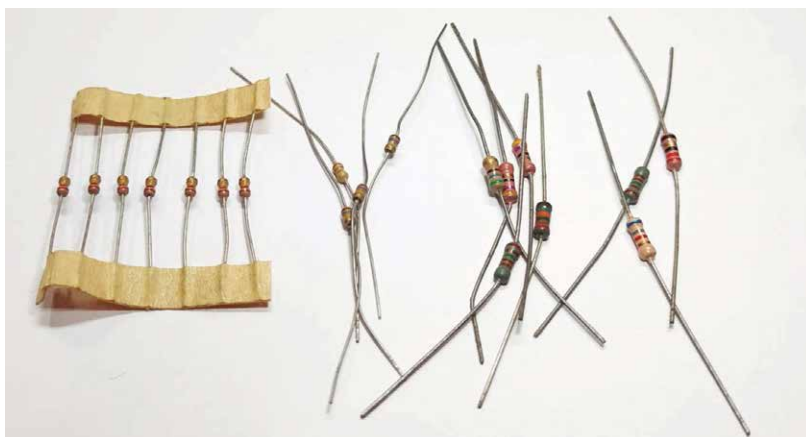


Figura 11 – Diversos resistores, de 1/8 W (à esquerda) e 1/4 W (à direita)

### 1.2.2 Resistores de filme metálico

Assemelham-se em muito em sua construção aos de filme de carbono. Contudo, diferentemente destes últimos, utilizam uma espécie de filme metálico resistivo, depositado a vácuo sobre uma superfície de porcelana isolante de alta pureza. A estrutura desses resistores é praticamente igual à apresentada na figura anterior.

O material usado na confecção do filme geralmente é o níquel-cromo – uma liga metálica largamente aplicada na fabricação de resistores por sua estabilidade e durabilidade quando submetida ao calor –, embora outros tipos de material também possam ser utilizados para aplicações específicas, como antimônio, estanho, tântalo ou mesmo ouro recoberto por platina, oferecendo diferentes resultados quanto a estabilidade e tolerância.

Antes de receber o material resistivo, o cilindro de cerâmica recebe os terminais para a conexão de suas lides e, a seguir, o processo de deposição é feito em diversas camadas, conferindo maior estabilidade. Posteriormente, é cortada sobre sua superfície um sulco em espiral, que confere a ele o valor correto.

Os resistores de filme metálico têm excelentes características para tolerância e estabilidade de operação, oferecem baixíssimo ruído e grande linearidade, além de possuírem baixíssimo coeficiente de temperatura, alterando muito pouco seu valor quando aquecidos. Assim, são amplamente aplicados em circuitos críticos e de alta precisão. Normalmente, são disponíveis em potências entre 1/8 e 1 W, uma vez que se prestam mais a serem componentes de alta precisão do que de potência.

### 1.2.3 Resistores de potência e de fio

Os resistores de fio foram um dos primeiros tipos a serem fabricados, sendo ainda largamente empregados nos dias de hoje. Como o próprio nome já diz, seu efeito se dá pela passagem da corrente elétrica através de um fio resistivo, geralmente enrolado sobre uma base, que normalmente é feita de porcelana, recoberto com uma tinta resistente ao calor (figura a seguir).

Em alguns modelos, essa cobertura é uma capa de cerâmica (que pode ser tanto cilíndrica quanto quadrada), com o núcleo cimentado em seu interior, conferindo grande resistência mecânica.

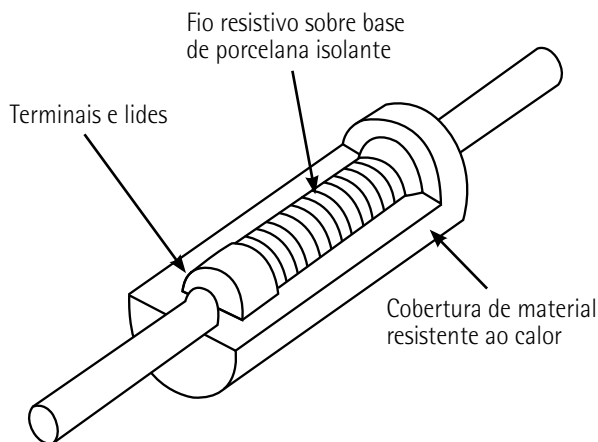


Figura 12 – Estrutura de um resistor de fio

Eles são construídos utilizando-se um fio de liga níquel-cromo ou de cobre-níquel-manganês, disposto em espiral sobre uma base que pode ser de cerâmica, vidro ou até mesmo plástico de alta temperatura, promovendo dissipações de grandes potências, com considerável aquecimento, além de permitir atingir valores resistivos muito baixos com boa precisão, indo de frações de ohm até alguns milhares de ohms.

Valores resistivos muito altos normalmente não são muito práticos, uma vez que seu tamanho geralmente é maior, já que são necessárias cada vez mais voltas de fio. Esses resistores podem ser encontrados em potências que vão desde 5 W até 100 W ou mais.



Normalmente, compõem-se de uma pista resistiva sobre a qual desliza um elemento cursor (figura a seguir), podendo estar disposto de forma linear ou rotativa. Essa pista é feita em carbono (de forma muito similar aos resistores tipo *carbon comp*) ou em fio, permitindo maiores potências de operação.

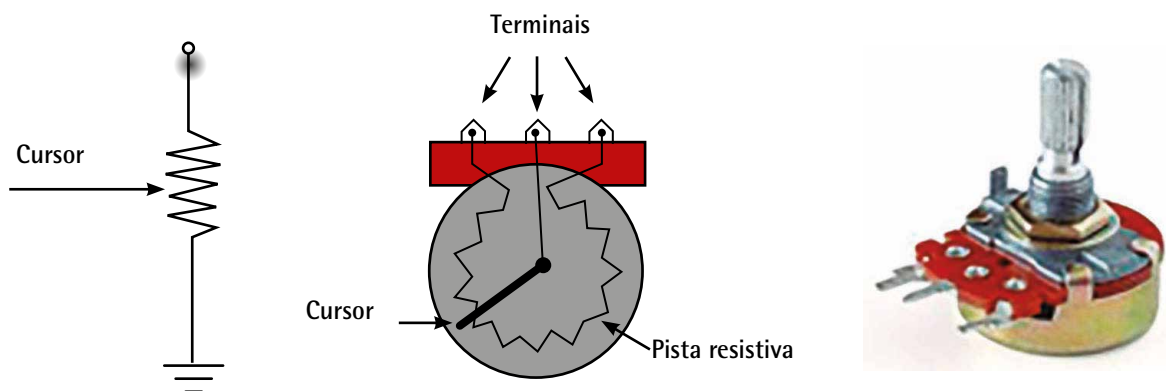


Figura 14 – Aspecto de um potenciômetro rotativo, sua construção e simbologia

Notem que os potenciômetros usualmente têm três terminais: dois situados nos extremos da pista resistiva e um ligado ao cursor, que por sua vez pode ser posicionado em qualquer lugar entre esses extremos. Isso permite que o potenciômetro seja usado tanto como um resistor de valor variável entre zero e seu valor nominal em ohms como também um divisor de tensão, uma vez que cada trecho entre os extremos e o cursor pode ser considerado um resistor por si só. Esse assunto será estudado em detalhes mais adiante, quando examinarmos o divisor de tensão.

Nos potenciômetros em que a pista é construída de forma linear, a atuação do cursor, em vez de rotativa, é retilínea, permitindo uma operação que pode ser mais adequada a aplicações mais específicas, como sensores de posição ou certos controles em equipamentos de áudio profissionais. Tais potenciômetros são chamados comumente de potenciômetros deslizantes (figura 15 A).

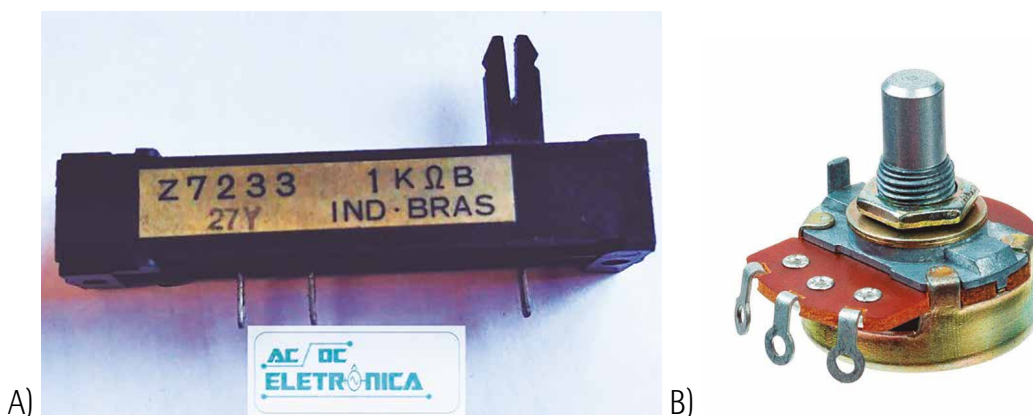


Figura 15 – A) Potenciômetro deslizante e B) potenciômetro de fio

Disponível em: A) <https://shre.ink/ILzt>; B) <https://shre.ink/ILzo>.

Acesso em: 26 jun. 2023.

Os potenciômetros de fio, também chamados popularmente como reostatos (figura 15 B), podem ser encontrados em valores não muito maiores do que alguns milhares de ohms, dissipando no máximo em torno de 5 W, limitação imposta pela própria construção, que normalmente é feita enrolando-se o fio resistivo sobre um substrato de mica, que depois é curvado para posicionar-se sob o cursor rotativo.



### Lembrete

Os potenciômetros são resistores cujo valor pode ser ajustado à vontade do usuário, sendo muito encontrados em aplicações como controles de volume e tonalidade em dispositivos de áudio e similares.

### 1.2.5 Fotorresistores e termístores

São tipos de resistores especiais, notadamente utilizados como sensores ou também como elementos de compensação em circuitos que exigem parâmetros de operação relativamente críticos. Apresentaremos a seguir os fotorresistores, os termístores e suas respectivas aplicações.

#### LDRs (*light dependant resistors*)

Trata-se de um tipo de fotossensor de grande simplicidade, baixo custo e ampla utilização na eletrônica, normalmente destinado a indicar se há presença ou ausência de luz incidindo sobre sua superfície. Tem um formato de disco, com a superfície fotossensível em sua parte superior e um par de terminais embaixo. É possível encontrá-lo em uma boa variedade de tamanhos e valores (figura a seguir).

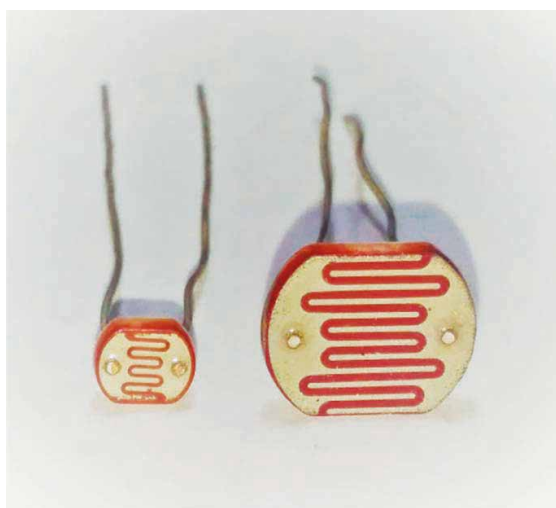


Figura 16 – Dois tamanhos de fotorresistores LDR, à base de sulfeto de cádmio (CdS)



Normalmente, são fabricados através da deposição de uma camada de sulfeto de cádmio (CdS) ou sulfeto de chumbo (PbS) sobre uma base de cerâmica isolante, protegida depois por uma cobertura de verniz transparente.

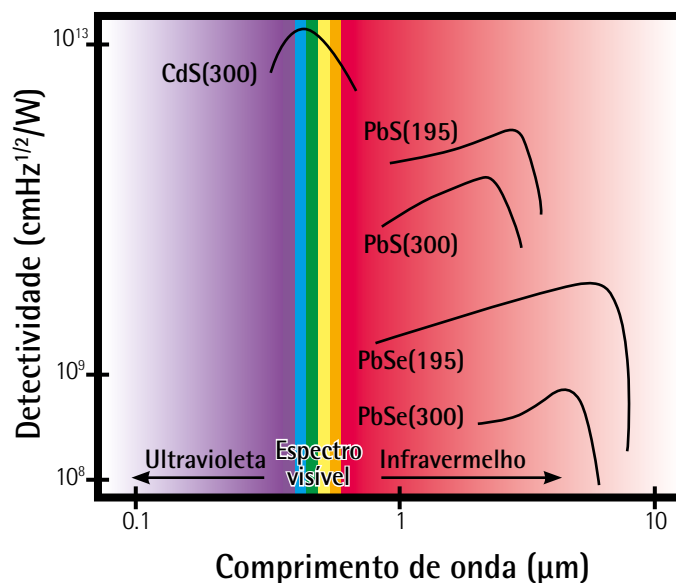


Figura 17 – Sensibilidade dos LDRs aos diversos comprimentos de onda da luz

Via de regra, todo fotorresistor apresenta baixa resistência (em torno de 100 ohms) quando sua face sensível está exposta à luz, e alta resistência (da ordem de alguns milhões de Ohms) quando no escuro.

Dependendo do tipo de material empregado, pode haver diferentes características a respeito da sensibilidade à luz de determinadas cores, ou mesmo valores mínimos e máximos de resistência quando exposto a diferentes intensidades luminosas. Em geral, os fotorresistores à base de sulfeto de cádmio apresentam maior sensibilidade para o azul/violeta, enquanto os tipos com sulfeto de chumbo tendem mais para os espectros do infravermelho, perfazendo bons detectores de calor (figura anterior).

### Termístores tipo NTC e PTC

Os termístores são resistores sensíveis a temperatura, alterando seu valor caso ela aumente ou diminua. São divididos em dois tipos: os NTC (ou *negative temperature coefficient* – coeficiente de temperatura negativa), cujo valor ôhmico diminui com o aumento de temperatura, e os PTC (ou *positive temperature coefficient* – coeficiente de temperatura positiva), cujo valor ôhmico aumenta com o aumento da temperatura à qual está submetido.

Normalmente, são fabricados pela deposição de materiais diversos, como cobalto, níquel, ferro, manganês, bário, estrôncio ou outros, sobre um substrato cerâmico.

Termístores do tipo NTC comumente são utilizados como sensores em aplicações que exigem uma variação de resistência sob grande mudança de temperatura, sendo os mais empregados em diversos tipos de equipamentos domésticos e industriais, enquanto os do tipo PTC são preferidos em situações que exigem rápida resposta a uma mudança brusca de temperatura, sendo utilizados amplamente como elementos de aquecimento autorregulados em aplicações específicas.

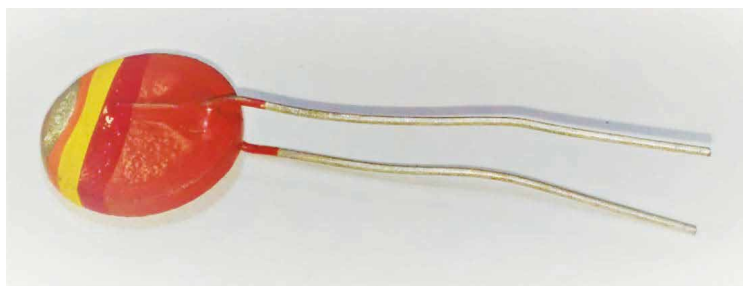


Figura 18 – Aspecto de um termistor do tipo NTC com identificação por código de cores

## 2 LEITURA DOS VALORES DOS RESISTORES

Nos primórdios da eletrônica, os resistores disponíveis – de fio ou de carvão – tinham seus valores em ohms escritos em algum cantinho, sempre com algarismos. Com o tempo, contudo, tal método começou a mostrar-se problemático, porque se a tinta utilizada para estampar o valor do componente fosse apagada por alguma razão (atrído, contato com algum solvente etc.), a menos que se tivesse à mão um ohmímetro, dispositivo com um galvanômetro e uma bateria e com o qual podemos medir resistências elétricas, ficava quase impossível descobrir depois o valor do dito resistor.

Tabela 1 – Relação das cores com os algarismos de 0 a 9

Cor		Algarismo
Preto		0
Marrom		1
Vermelho		2
Laranja		3
Amarelo		4
Verde		5
Azul		6
Violeta		7
Cinza		8
Branco		9

Assim, criou-se um método de identificação de valores para esses componentes através do uso de faixas coloridas, cada uma delas representando um número (tabela anterior), um multiplicador ou uma tolerância. Tal sistema mostrou-se muito mais confiável do que o sistema de valores



expressos numericamente, inclusive permitindo representação muito mais confiável de valores com ponto decimal, tornando-se padrão em praticamente todo o mundo.

Dessa forma, cada algarismo do valor ôhmico passa a ser representado por uma cor específica, bem como o número de zeros (multiplicador) que o valor do resistor irá empregar, conforme tabela a seguir. Valores de tolerância também são considerados nesse sistema.

**Tabela 2 – Relação das cores com os algarismos, multiplicadores e tolerâncias de resistores**

Cor												
Algarismo	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	-	-
Multiplicador	x1	x10	x100	x1k	x10k	x100k	-	-	-	-	x0.1	x0.01
Tolerância	-	1%	2%	-	-	-	-	-	-	-	5%	10%

## 2.1 Códigos de cores: resistores de três, quatro e cinco faixas

A forma de ler os resistores muda um pouco consoante o número de faixas que um resistor tem, uma vez que pode haver dois ou mais algarismos para expressar o valor, mantendo, contudo, apenas um algarismo multiplicador e um de tolerância.

### 2.1.1 Resistores de quatro faixas

Observemos o exemplo da figura a seguir, de um resistor com seu valor expresso em quatro faixas coloridas, que é o tipo mais comum encontrado atualmente.

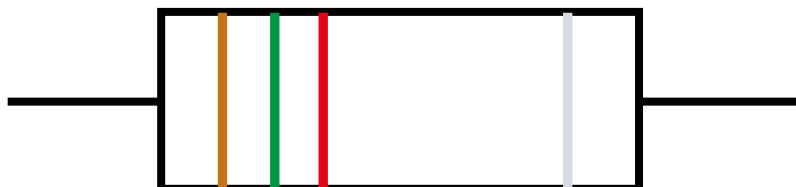


Figura 19 – Exemplo de um resistor com quatro faixas coloridas

É importante notar que três das faixas concentram-se em um lado do resistor e são, olhando-se da borda para dentro: primeiro algarismo, segundo algarismo e o multiplicador. A quarta faixa, isolada do lado oposto, é a tolerância, e a leitura do valor do resistor é sempre feita seguindo do primeiro algarismo para ela – ou da esquerda para a direita, conforme o exemplo.

Para procedermos à leitura, portanto, teremos:

- **primeiro algarismo:** marrom – 1;
- **segundo algarismo:** verde – 5;

- **multiplicador:** vermelho – x100;
- **tolerância:** prata – 10%.

Combinando os valores, teremos o número 15 multiplicado por 100 (que a prática nos leva a simplesmente "acrescentar dois zeros" ao final), perfazendo, portanto, o valor de 1500  $\Omega$  para o resistor, com uma tolerância de 10%.



### Observação

Em praticamente toda a literatura de eletrônica utilizam-se múltiplos da unidade de medida ohm para representar os valores dos resistores. Isso ocorre porque fica muito mais fácil escrever o valor assim, especialmente quando o número de zeros é maior. Assim, os valores podem ser expressos em k $\Omega$  (quilo-ohms, ou ohms x 1000) e M $\Omega$  (megohm, ou ohms x 1000000). Então, os valores podem ser mencionados conforme a tabela a seguir.

**Tabela 3 – Relação entre os valores lidos diretamente e com seus múltiplos**

Valor original lido	Valor com múltiplo
1000 $\Omega$	1 k $\Omega$
10000 $\Omega$	10 k $\Omega$
100000 $\Omega$	100 k $\Omega$
1000000 $\Omega$	1 M $\Omega$
10000000 $\Omega$	10 M $\Omega$

No jargão técnico, os mais antigos costumemente se utilizam de termos populares, como "quilo-ohms", "kohms", "megohms", para se referir a esses múltiplos, e normalmente usam apenas as letras k e M para expressar os valores acima de 1000. Logo, um resistor de 10000  $\Omega$  (ou 10 k $\Omega$ ) passa a ser referido apenas como 10k, aplicando a mesma lógica para outros valores.

Outro expediente muito utilizado é também o uso da letra no lugar do ponto decimal quando o valor do resistor o necessitar, como forma de evitar erros de leitura do valor quando o código está parcialmente apagado – algo herdado do tempo em que os resistores ainda tinham seus valores escritos. Dessa forma, um resistor de 4700 $\Omega$  ou 4.7 k $\Omega$  passa a ser nominado como 4k7 $\Omega$ , ou simplesmente 4k7.

### 2.1.2 Resistores de cinco faixas

Para os resistores de cinco faixas, a regra de leitura é a mesma: começa-se lendo pela borda em que as faixas estão agrupadas, de fora para dentro, deixando para ler a faixa da tolerância separadamente no final. Vamos observar o exemplo da figura a seguir:

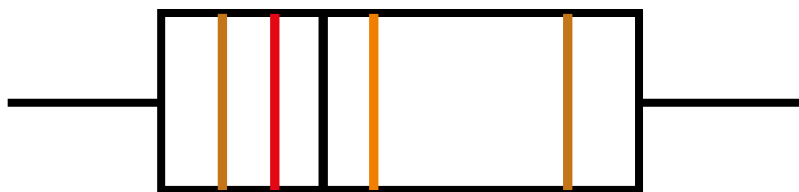


Figura 20 – Exemplo de um resistor com cinco faixas coloridas

Percebam que, nesse exemplo, temos três faixas para representar o valor, antes da quarta faixa, que nesse caso será o multiplicador, e da quinta faixa, que é a tolerância. Podemos proceder à leitura da seguinte forma:

- **primeiro algarismo:** marrom – 1;
- **segundo algarismo:** vermelho – 2;
- **terceiro algarismo:** preto – 0;
- **multiplicador:** laranja –  $\times 1000$ ;
- **tolerância:** marrom – 1%.

Combinando os valores, teremos o número 120, que, multiplicado por 1000, irá perfazer o mesmo que 120000  $\Omega$ , ou 120 k $\Omega$ , com uma tolerância de 1%.

Tal representação com cinco faixas é ideal para identificar resistores com valores "quebrados", como 224  $\Omega$ , 2k47 $\Omega$  ou 135 k $\Omega$ , sendo muito adotadas nos resistores de precisão, com tolerâncias baixas, algo de que falaremos adequadamente depois.

### 2.1.3 Resistores de três faixas

Deixamos esses resistores para o final porque são bastante antigos, não são mais fabricados, são encontrados apenas em equipamentos a válvula fabricados até a metade do século passado.

Nesses componentes, apenas temos três faixas para indicar o valor, sem considerar a tolerância. Isso porque, por padrão, a tolerância é de 20% nesses casos, não existindo muita preocupação para que o valor seja exato, uma vez que a própria natureza dos circuitos em que eram usados não exige por norma muita precisão em seus valores.

#### Decorando a tabela de cores dos resistores

Um grande problema para todo iniciante em eletrônica é não só aprender a interpretar corretamente os códigos de cores dos resistores, mas também conseguir lembrar-se das cores associadas a algarismos, multiplicador, tolerância e assim por diante.

Muitas vezes, o estudante depende de uma tabelinha impressa com as cores e valores correspondentes para consultar quando surge alguma dúvida, algumas inclusive de visualização muito prática, conforme a figura a seguir.



Figura 21 – Tabela de cores *Resist-o-Guide*, dos anos 1950

Disponível em: <https://shre.ink/IF7V>. Acesso em: 14 jun. 2023.

Um método um tanto quanto pouco ortodoxo, mas de grande auxílio para decorar a tabela de cores, utiliza uma frase mnemônica, aparentemente sem sentido algum, conforme segue:

"Papai e mamãe vão lá amanhã ver a vovó cozinhar bananas ouro e prata".

As letras iniciais de cada uma das palavras dessa frase podem ser utilizadas para lembrar a ordem das cores da tabela, uma vez que são as mesmas iniciais das cores em questão, conforme tabela a seguir.

**Tabela 4 – Correspondência entre as palavras mnemônicas e a tabela de cores dos resistores**

Palavra mnemônica	Cor	Algarismo	Multiplicador	Tolerância
Papai (e)	Preto	0	x1	-
Mamãe	Marrom	1	x10	1%
Vão	Vermelho	2	x100	2%
Lá	Laranja	3	x1000	-
Amanhã	Amarelo	4	x10000	-
Ver	Verde	5	x100000	-
A	Azul	6	x1000000	-
Vovó	Violeta	7	-	-
Cozinhar	Cinza	8	-	-
Bananas	Branco	9	-	-
Ouro (e)	Ouro		x0.1	5%
Prata	Prata		x0.01	10%

## 2.2 Entendendo a tolerância dos resistores

O leitor mais atento certamente já terá se deparado com a palavra "tolerância" em algum momento de sua leitura até aqui, e seguramente estará se perguntando do que se trata. Vamos, portanto, à explicação.

Como todo componente eletrônico fabricado em grandes quantidades, muitas vezes um resistor não vai ter exatamente o valor que estará expresso no código de cores em seu corpo. Isso se deve a pequenas variações na qualidade dos materiais empregados, a ajustes das máquinas utilizadas no processo de fabricação e até às condições em que o componente é guardado posteriormente, que podem fazer com que ele apresente um desvio em seu valor, que pode ser para cima ou para baixo.

É, portanto, a grandeza que representa essa variação que chamamos tolerância, nominalmente expressa sempre em uma porcentagem do valor do componente, e praticamente todo resistor terá essa "margem" em seu valor.

As tolerâncias mais comuns atualmente são de 5 e 10% para os resistores de filme de carbono, e este último valor está caindo lentamente em desuso, uma vez que é muito mais simples e fácil para os fabricantes projetarem seus componentes para uma faixa de tolerância mais estreita, como 5%, do que produzirem duas linhas diferentes, que no final custarão quase a mesma coisa.

Também podem ser encontrados resistores com 1% de tolerância, comumente do tipo de filme metálico, específicos para aplicações em que grande precisão é requerida, como em dispositivos de medição – por exemplo, multímetros e similares (que por padrão exigem que seus componentes tenham valores bem críticos, uma vez que podem afetar a qualidade dos resultados lidos) –, e outras aplicações nas quais a confiabilidade de operação deve ser alta, como dispositivos voltados para a área médica, militar e outros em que alta performance é requerida.

Os resistores de potência, como os de fio, em geral têm tolerância maior, que normalmente fica em torno de 5 a 10%, uma vez que são desenhados tendo-se em mente que suportem maior potência e aquecimento, não sendo tão necessário que tenham um valor exato, muito embora isso não seja norma.

Quanto aos resistores com apenas três faixas e 20% de tolerância, conforme consideramos anteriormente, são tipos bastante antigos e que eram utilizados em circuitos que não tinham parâmetros muito críticos de operação, aceitando desvios bem consideráveis em seus valores nominais.

Um ponto importante ainda a se levar em conta é que, quando operando constantemente em condições próximas a seu limite de potência, um resistor pode desenvolver aos poucos um desvio em seu valor ôhmico causado por aquecimento, sempre para cima, até um ponto em que passa a constituir um defeito que impeça (ou prejudique em muito) a operação do circuito em que está instalado. Isso ocorre especialmente com valores mais baixos (nominalmente abaixo de 100  $\Omega$ ). Nessa situação, dizemos que o resistor está "alterado", e precisa ser trocado.

É essencial notar que esse desvio é permanente e nunca ocorre para abaixo do valor nominal. Para identificar resistores que estão fora do valor, deve-se utilizar um multímetro em escala de ohms, muito embora em grande parte das vezes uma boa inspeção visual já seja de grande auxílio, pois os resistores nessas condições costumam apresentar sempre algum tipo de descoloração ou até marcas de escurecimento em seu corpo.

### 2.3 Sistemas de valores E6, E12 e E24

Nos primeiros tempos da eletrônica, não havia ainda muita padronização, tanto em relação aos métodos de fabricação quanto aos valores dos componentes eletrônicos. Cada fabricante adotava os seus próprios, muitas vezes causando confusão e mesmo algum tipo de dificuldade aos técnicos e projetistas da época.

Assim, em 1924 surgiu a Radio Manufacturers Association (RMA – Associação dos Fabricantes de Rádio), formada por 50 empresas do ramo e situada em Chicago, nos EUA, dedicando-se a princípio ao projeto e registro de novas patentes, passando com o tempo a também publicar algumas das primeiras normas técnicas para o ramo da eletrônica. Em 1936, a RMA propôs o primeiro conjunto de valores preferidos para a fabricação de resistores fixos.

Posteriormente, com o advento das normas técnicas mais modernas, foi editada a primeira versão da IEC63, em 1952, recebendo diversas melhorias nos anos seguintes, em 1963, 1967, 1977 e, finalmente, em 2015, com a norma IEC 60063:2015, que segue em vigência até hoje.

Os intervalos de valores utilizados, conforme normatização, são chamados popularmente de "Série E", uma vez que utilizam essa letra seguida do número de valores disponíveis na dita série. São mais comuns as séries E6, E12 e E24, existindo também outras, usadas em resistores de precisão.

Tais séries foram pensadas com base em uma progressão geométrica aplicada a uma escala logarítmica. Assim, cada componente é fabricado para situar-se em uma faixa de valores espaçados mais ou menos igualmente. Cada série subdivide um grau de magnitude de uma década em passos de 3, 6, 12, 24, 48, 96 ou 192 valores, considerando valores de tolerância de 40%, 20%, 10%, 5%, 2%, 1% e 0.5%, respectivamente.

#### 2.3.1 Série E6

Tem apenas seis valores, a saber: 1, 1.5, 2.2, 3.3, 4.7 e 6.8, os quais estão disponíveis na tabela a seguir com seus respectivos múltiplos.

A série E6 foi uma das primeiras a serem criadas e destinava-se aos resistores mais antigos, com três faixas coloridas e tolerância de 20%. Tais valores seguem em uso ainda hoje, porém foram "absorvidos" por outras séries mais modernas, como a E12 e a E24.

Tabela 5 – Valores da série E6

Valor x1	1 $\Omega$	1.5 $\Omega$	2.2 $\Omega$	3.3 $\Omega$	4.7 $\Omega$	6.8 $\Omega$
x10	10 $\Omega$	15 $\Omega$	22 $\Omega$	33 $\Omega$	47 $\Omega$	68 $\Omega$
x100	100 $\Omega$	150 $\Omega$	220 $\Omega$	330 $\Omega$	470 $\Omega$	680 $\Omega$
x1000	1 k $\Omega$	1k5 $\Omega$	2k2 $\Omega$	3k3 $\Omega$	4k7 $\Omega$	6k8 $\Omega$
x10000	10 k $\Omega$	15 k $\Omega$	22 k $\Omega$	33 k $\Omega$	47 k $\Omega$	68 k $\Omega$
x100000	100 k $\Omega$	150 k $\Omega$	220 k $\Omega$	330 k $\Omega$	470 k $\Omega$	680 k $\Omega$
x1000000	1 M $\Omega$	1M5 $\Omega$	2M2 $\Omega$	3M3 $\Omega$	4M7 $\Omega$	6M8 $\Omega$

### 2.3.2 Série E12

É uma extensão da E6 e engloba ao todo 12 valores, considerando-se os seis valores iniciais desta última. São eles: 1.0, 1.2, 1.5, 1.8, 2.2, 2.7, 3.3, 3.9, 4.7, 5.6, 6.8 e 8.2. Seus múltiplos também são praticamente os mesmos da série E6, valendo para eles as mesmas regras.

Com mais valores, é possível expressar uma maior faixa de resistências, sendo possível trabalhar com tolerâncias mais rígidas. Assim, a série E12 se destina aos resistores com tolerância de 10% (quarta faixa prateada), e todos os seus valores também são absorvidos pela série E24, apresentada logo a seguir.

### 2.3.3 Série E24

De forma semelhante às séries E6 e E12, a série E24 abrange todos os valores das séries anteriores, totalizando 24 intervalos: 1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.5, 1.6, 1.8, 2.0, 2.2, 2.4, 2.7, 3.0, 3.3, 3.6, 3.9, 4.3, 4.7, 5.1, 5.6, 6.2, 6.8, 7.5, 8.2 e 9.1. Atualmente, esta é a série mais usada e se destina aos resistores com tolerância de 5% (quarta faixa dourada), não por acaso os tipos mais comuns na indústria e no comércio.

Outras séries com mais valores, como a E48, E96 e E192, têm ainda mais números e destinam-se especialmente aos resistores de precisão, com tolerância de 1% ou até mesmo 0.5%, sendo fabricadas para resistências muito específicas, às vezes considerando mesmo frações de ohm, o que justifica, portanto, o grande número de possibilidades nessas séries.

## 3 ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES

Assim como qualquer outro componente eletrônico, os resistores podem ser associados – em série ou paralelo – para obter determinados valores que não existam dentro das séries mais usadas (como a E12 ou a E24) ou que não tenhamos à mão no momento, bem como para obter maiores dissipações de potência ou também para construir divisores de tensão resistivos, de que trataremos mais adiante.

Agora vamos estudar as associações possíveis dos resistores e entender como eles se comportam quando ligados em série, em paralelo ou em arranjos com múltiplos resistores em série/paralelo.

### 3.1 Resistores em série

Quando associamos resistores em série, temos uma situação em que a corrente elétrica fluindo pelo circuito deverá atravessar todos os resistores presentes na malha (que é o nome pelo qual usualmente se chama qualquer associação de resistores).

Nesse caso, a corrente que atravessa cada um dos componentes será, rigorosamente, sempre a mesma, sendo a resistência elétrica resultante dessa associação uma soma dos valores de todos os resistores presentes, conforme figura a seguir.

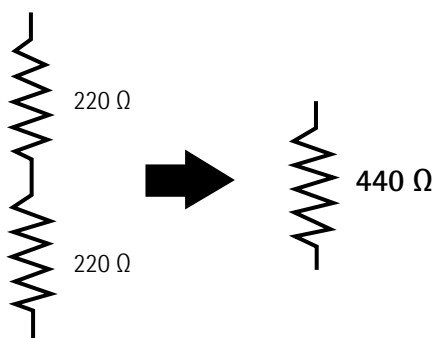


Figura 22 – Associação com dois resistores de  $220\ \Omega$  em série, totalizando  $440\ \Omega$

Observe que no exemplo temos dois resistores de  $220\ \Omega$  associados em série, totalizando  $440\ \Omega$ . Para associações com mais resistores, a regra segue a mesma, podendo ser aplicada para qualquer quantidade de resistores associados em série, conforme a malha com três resistores apresentada na figura a seguir.

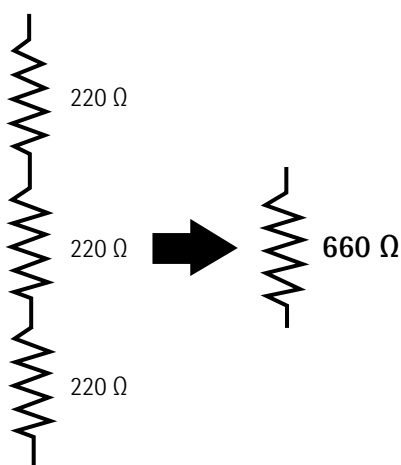


Figura 23 – Associação com três resistores de  $220\ \Omega$  em série, totalizando  $660\ \Omega$

Para este último exemplo, são associados em série três resistores de  $220\ \Omega$ , somando um total (ou resistência equivalente) de  $660\ \Omega$ . É importante frisar que essa regra de associação vale para resistores de quaisquer valores, inclusive diferentes entre si, bastando somar os seus valores para atingir a resistência equivalente.



Desta forma, podemos concluir que a associação em série de resistores é definida pela fórmula matemática:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

Onde:

$R_{eq}$ : é o valor da resistência equivalente

$R_1 \dots R_n$ : são os valores dos  $n$  resistores associados em série na malha

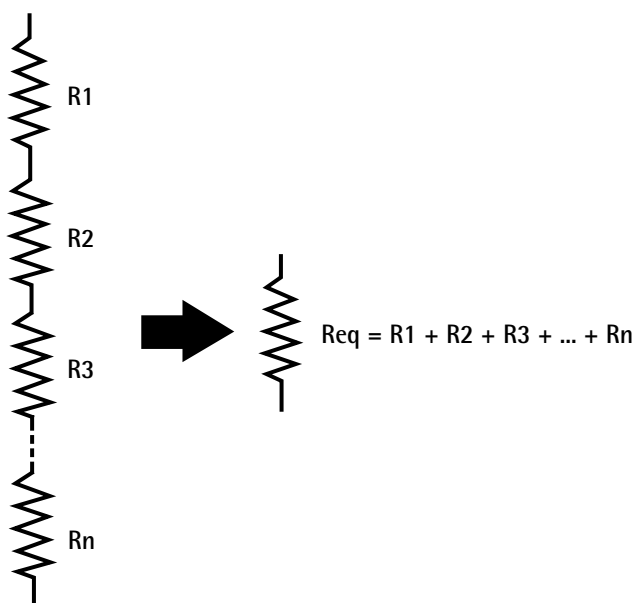


Figura 24 – Associação de resistores em série

### 3.2 Resistores em paralelo

Quando associamos resistores em paralelo, temos uma situação um pouco diferente da associação em série, uma vez que a corrente circulante pela malha será dividida entre os resistores constantes nela, diferentemente da situação anterior, na qual o caminho para os elétrons fluírem era apenas um.

Dessa forma, o valor de resistência elétrica resultante será não mais a simples soma dos valores dos resistores, mas sim o seguinte: o inverso da resistência equivalente da malha será igual aos inversos dos valores das resistências associadas em paralelo.

Para isso, podemos considerar a fórmula a seguir:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

Assim, para uma situação em que temos dois resistores associados em paralelo, conforme a figura a seguir, teremos:

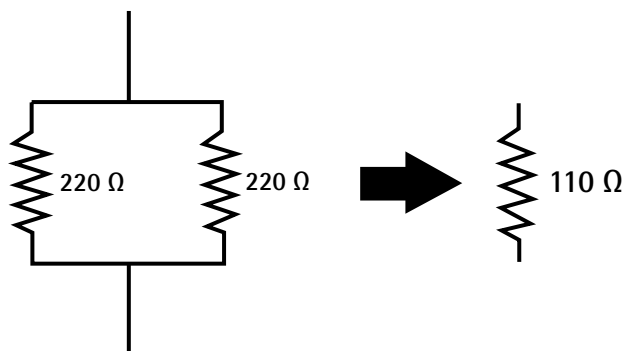


Figura 25 – Associação de dois resistores de 220 Ω em paralelo, totalizando 110 Ω

Nesse caso, podemos considerar a aplicação da fórmula a seguir:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{220 \, \Omega} + \frac{1}{220 \, \Omega}$$

Para melhor visualização, podemos considerar já com o inverso do resultado, que será:

$$R_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{220} + \frac{1}{220}}$$

Perfaz, ao final, 110 Ω. Observe que, via de regra, o valor do resistor equivalente de uma associação em paralelo sempre será menor do que o valor do menor resistor constante na malha.

A mesma fórmula se aplica a associações de três ou mais resistores em paralelo, e eles também podem ser de valores diferentes, conforme a figura a seguir.

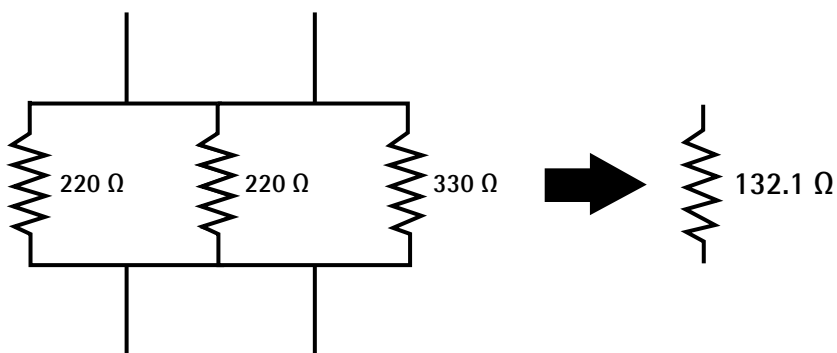


Figura 26 – Associação com três resistores em paralelo

Pode-se resolver a fórmula do seguinte modo:

$$R_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{220} + \frac{1}{220} + \frac{1}{330}}$$

Perfazendo, assim, um valor de resistência equivalente final de 132.1  $\Omega$ .

Contudo, em situações em que a malha apresenta apenas dois resistores de valores iguais, podemos assumir que o valor do resistor equivalente será sempre a metade do valor de qualquer um dos resistores associados. Assim, fica mais fácil fazer um cálculo "de cabeça" do valor final de uma associação em paralelo, muito embora implementar as fórmulas mencionadas não exija grande esforço mental, bastando ter à mão um pedaço de papel ou uma calculadora de bolso.

### 3.3 Associações em série/paralelo

No caso de malhas que tenham associações de resistores em série e paralelo, devemos considerar a divisão do circuito em pedaços menores, pois assim podemos tratar separadamente cada parte, considerando as fórmulas e tratativas já apresentadas anteriormente para cada tipo de associação.

Consideremos, para tal, o exemplo apresentado na figura a seguir, com uma associação em série/paralelo.

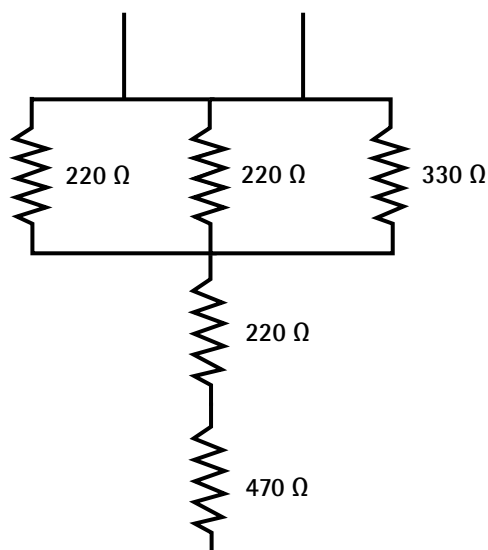


Figura 27 – Associação com múltiplos resistores em série/paralelo

Para obter o valor da resistência equivalente dessa malha, vamos primeiro associar os três resistores em paralelo, de 220  $\Omega$ , 220  $\Omega$  e 330  $\Omega$ , que, conforme vimos anteriormente no exemplo da figura 26, nos dará um valor de 132.1  $\Omega$ .

Depois disso, podemos considerar a associação em série desse valor com os outros dois resistores logo a seguir, de  $220\ \Omega$  e  $470\ \Omega$ , obtendo ao final um valor de  $822.1\ \Omega$ , conforme figura 28.

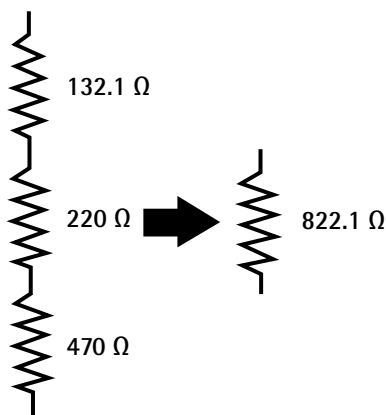


Figura 28 – Obtenção do valor em série da malha, após calcular a associação de resistores em paralelo

## 4 DIVISORES DE TENSÃO

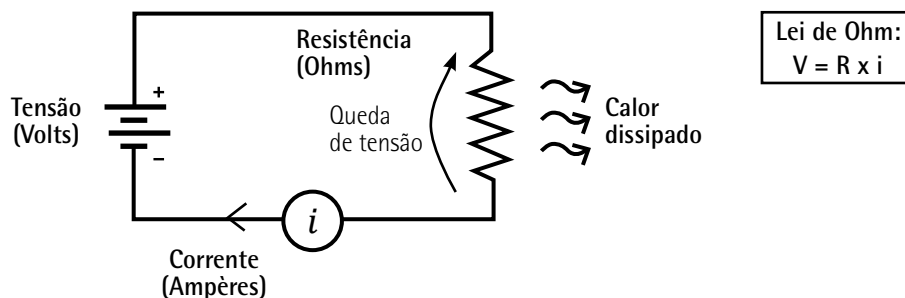
Seguramente, em toda a eletrônica, o divisor de tensão é o circuito mais simples de se construir e também de se entender o seu funcionamento. Em essência, ele se baseia no princípio da associação de resistores em série, na lei de Ohm e também na proporcionalidade das quedas de tensão entre os componentes nele contidos.

Vamos explorar o que são os divisores de tensão, entender seu funcionamento e também calcular seus valores através de alguma fórmula matemática básica.

### 4.1 O que é o divisor de tensão

Conforme já explanado, pode-se dizer que qualquer circuito elétrico apresenta alguma resistência e, conseqüentemente, está sujeito a operar conforme a lei de Ohm.

Observando a figura a seguir, podemos relembrar alguns detalhes importantes: a bateria é o gerador de tensão (força eletromotriz), que movimenta os elétrons através do circuito, produzindo uma corrente elétrica que, ao atravessar o resistor, produz uma queda de tensão, ao mesmo tempo que faz ele dissipar algum calor.



Lei de Ohm:  
 $V = R \times i$

Figura 29 – Princípios da lei de Ohm

Observe que a queda de tensão é inerente a qualquer circuito que possua um resistor e é peça-chave na construção, no dimensionamento e na compreensão de como o divisor de tensão (muitas vezes chamado de divisor resistivo) funciona.

Como vimos, o divisor de tensão é o circuito mais simples que existe e pode ser construído associando-se simplesmente dois resistores em série e alimentando-os com uma bateria, conforme figura a seguir.

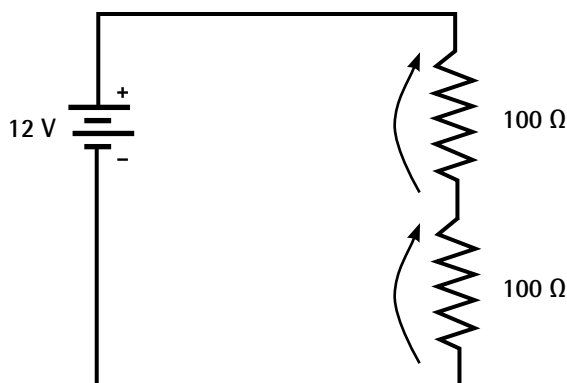


Figura 30 – Divisor de tensão com dois resistores

Observe que, para cada resistor constante na malha (ou circuito série), haverá sobre ele uma queda de tensão, segundo a lei de Ohm, cujo valor é diretamente proporcional ao valor do resistor em questão. Tal queda de tensão é representada na imagem pelas setas ao lado de cada resistor, e elas sempre estarão apontando para cima.

Dessa forma, o circuito atuará dividindo a tensão da bateria em duas partes proporcionais aos valores dos resistores associados, conforme se verifica na figura a seguir. Note que, como os valores dos dois resistores são iguais entre si, a tensão será dividida pela metade.

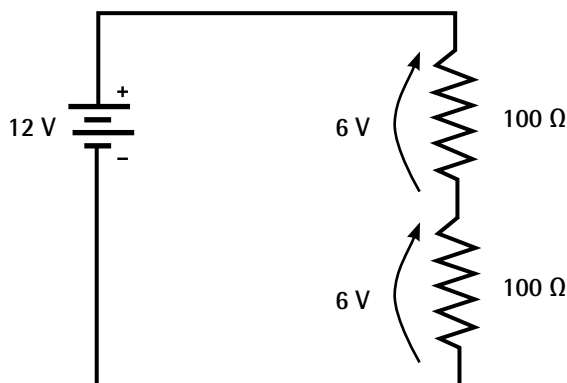


Figura 31 – Tensões divididas igualmente entre os resistores de um divisor

Assim, podemos verificar que, tomando-se o polo negativo da bateria como referência do negativo e medindo-se a tensão entre este e o ponto médio dos resistores com o uso de um voltímetro, teremos nesse ponto 6 V, ou seja, metade da tensão da bateria (que é 12 V), conforme figura a seguir.

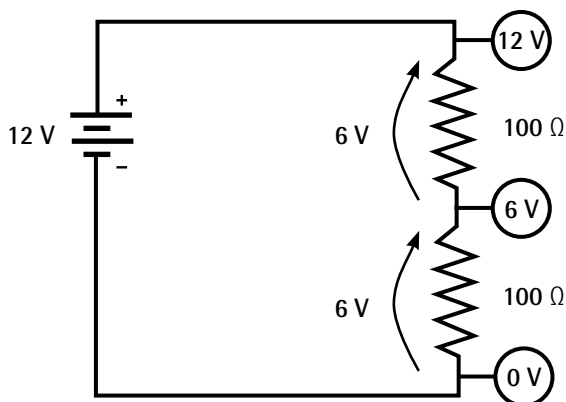


Figura 32 – Medição das tensões no divisor

É importante observar também que a tensão sobre toda a malha continua sendo a tensão da bateria, ou seja, 12 V, não sendo afetada pelo circuito divisor, que apenas apresentará seu efeito quando a medição de tensão for feita no ponto médio entre eles.

Nesse momento, você deverá estar se perguntando: e se tivéssemos três resistores no divisor de tensão? A resposta para essa questão é relativamente simples: se os três resistores forem do mesmo valor, a tensão continuará sendo dividida igualmente entre eles, conforme a figura a seguir.

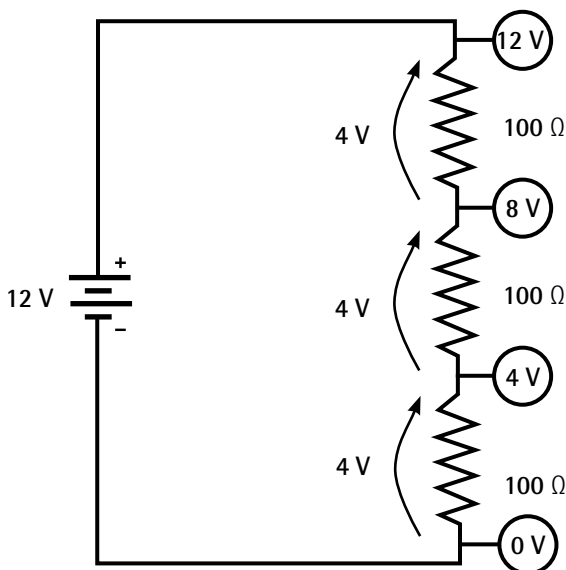


Figura 33 – Divisor de tensão com três resistores de valores iguais

Observe que para cada resistor houve uma queda de tensão idêntica de 4 V; assim, fixando novamente o negativo da bateria como referência e fazendo a medição nos pontos médios entre os resistores, teremos a partir do resistor de baixo: 4 V, 8 V e, finalmente, 12 V na linha de alimentação que vem da bateria para o resistor de cima. Isso mostra que a tensão é dividida sempre igualmente entre os resistores, desde que sejam do mesmo valor, e que, para qualquer caso, a somatória das quedas de tensão será sempre igual ao valor de tensão fornecido pela bateria.

### 4.2 Proporcionalidade no divisor

Agora que já tratamos em pormenores como funciona o divisor de tensão resistivo, podemos dar um passo adiante e entender mais a fundo como funciona a proporcionalidade entre os valores de resistência e tensão e como isso afeta a operação de circuitos em que os valores de resistência não são iguais entre si.

Nesse caso, consideramos que, conforme a lei de Ohm, quanto mais alto for o valor de um resistor em um circuito série, maior também será a queda de tensão sobre este. Observemos, portanto, o exemplo da figura a seguir.

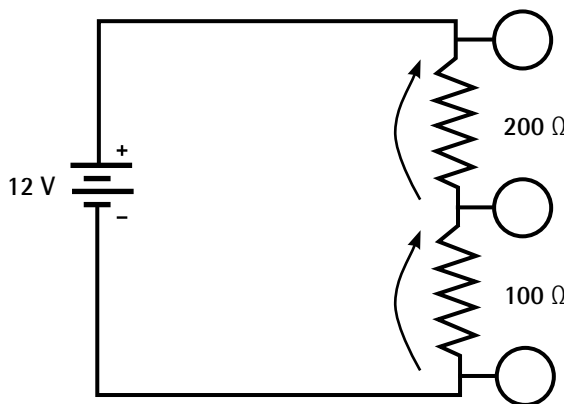


Figura 34 – Divisor de tensão com valores de resistores diferentes entre si

Para descobrir o valor de tensão no ponto médio entre os dois resistores, podemos nos valer de três caminhos possíveis: montar o circuito e medir a tensão com o uso de um multímetro, fazer o cálculo aplicando a lei de Ohm ou utilizar um método pouco ortodoxo, mas muito simples, que é utilizar proporções para obter as quedas de tensão sobre os resistores e, conseqüentemente, descobrir a tensão no seu ponto médio.

Para isso, vamos atribuir "pesos" aos resistores. O resistor de baixo, de 100 Ω, passa a valer 1x, uma vez que é o de menor valor, enquanto o resistor de cima, de 200 Ω, tem atribuído 2x, pois é o dobro do valor do anterior. Observe que a atribuição desses valores de proporcionalidade vai depender de você, mas também não será completamente arbitrária: há que se ter uma relação proporcional entre os valores envolvidos e, ao mesmo tempo, deve-se ter em mente que o cálculo deve ser mantido simples, algo que não custa muito para fazer "a olho" depois de um pouco de prática.

Assim, vamos aplicar essas proporções aos respectivos resistores e considerar que temos  $1x + 2x = 3x$ . Dessa forma, para descobrir a queda de tensão sobre cada resistor, bastará dividir a tensão fornecida pela bateria pela quantidade de "x" que temos, ou seja, 3.

Ao final, ficamos com  $12\text{ V} / 3x$ , o que nos dá um total de 4 V para cada x, tensão que já pode ser atribuída aos nossos resistores diretamente: o de  $100\ \Omega$ , que é equivalente a  $1x$ , terá sobre si 4 V; o de  $200\ \Omega$ , equivalente a  $2x$ , terá o dobro do anterior, ou seja, 8 V. Então, o ponto médio entre os dois resistores terá a tensão presente sobre o resistor de  $100\ \Omega$ , que será igual a 4 V. Isso pode ser verificado na figura a seguir.

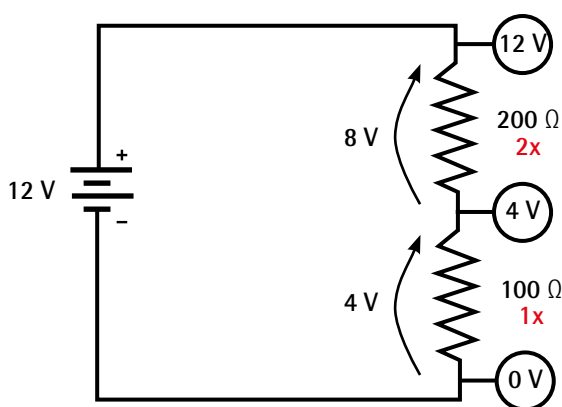


Figura 35 – Tensões no divisor de tensão com valores resistivos diferentes entre si

Da mesma forma, caso os dois resistores sejam invertidos no circuito (o de  $200\ \Omega$  embaixo e o de  $100\ \Omega$  em cima), teremos a proporcionalidade entre eles conservada, mas como a queda de tensão do resistor maior ( $2x$ ) estará embaixo, consequentemente, a tensão medida no ponto médio será já não mais 4 V, e sim 8 V, conforme figura a seguir.

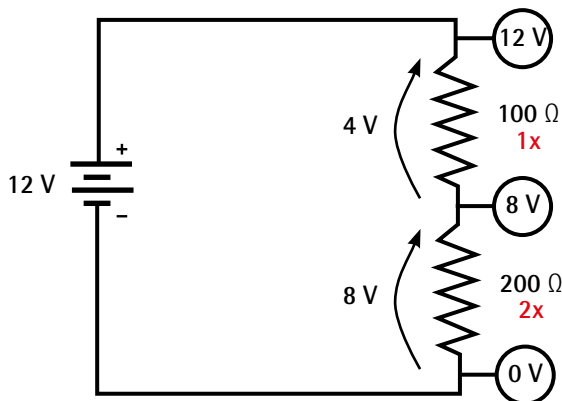


Figura 36 – Tensões no divisor com valores resistivos trocados



Para situações com três ou mais resistores associados em série, é considerada a mesma forma de calcular, ponderando a atribuição dos pesos a cada resistor e fazendo novamente a estimativa por proporção, conforme podemos verificar mais uma vez no exemplo subsequente, segundo a malha apresentada na figura a seguir.

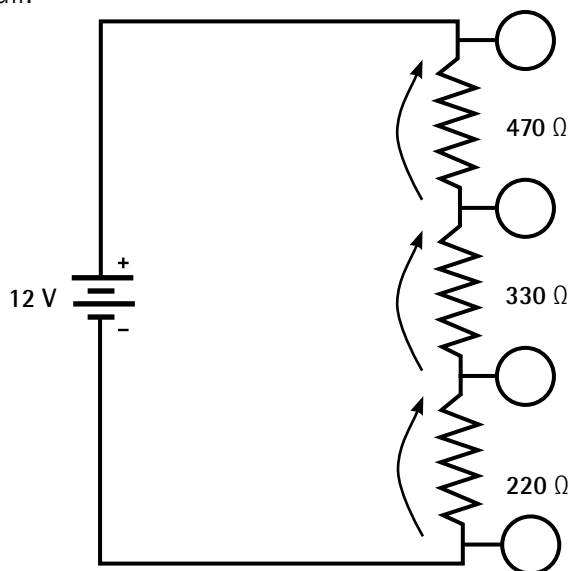


Figura 37 – Divisor com três resistores de valores diferentes

Nesse caso, como os valores dos resistores não são exatos, para mais praticidade precisaremos fazer algumas aproximações para calcular as tensões sobre os resistores. Vamos levar em consideração que, dadas as tolerâncias dos próprios componentes e também da tensão da bateria, os valores calculados sempre poderão apresentar algum desvio em relação a um circuito montado na prática, com componentes reais, ou simulado em computador. Tais pequenas variações são um problema que é intrínseco a qualquer circuito eletrônico e, consequentemente, irá sempre existir, devendo o estudante levá-lo em consideração, contra ou a favor, o que é o nosso caso.

Portanto, vamos atribuir ao resistor de 220 Ω um peso de 2x, e ao resistor de 330 Ω (por aproximar-se do número 3, como 220 aproxima-se do peso 2), um peso de 3x. Da mesma forma, iremos aproximar o peso do resistor de 470 Ω para 5x. Assim, ficamos com um total de pesos de 10x, pelos quais podemos dividir a tensão da fonte em dez "pedaços" de aproximadamente 1.2 V cada um.

Já podemos atribuir aos resistores da malha seus respectivos valores de tensão, conforme figura a seguir.

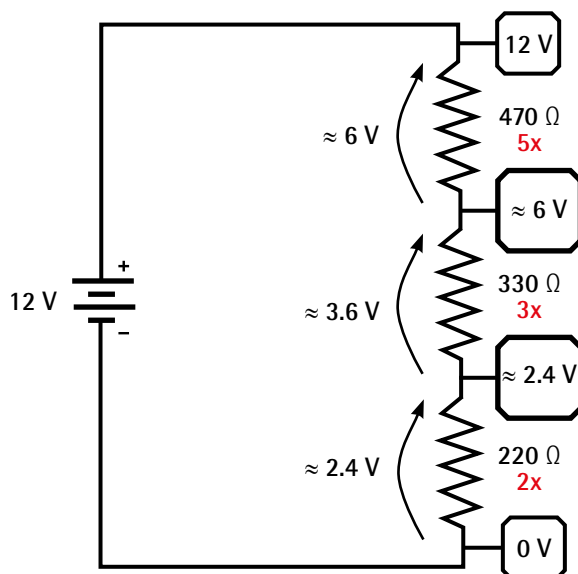


Figura 38 – Valores atribuídos ao divisor de tensão

Dessa forma, o ponto médio entre os resistores de 220 Ω e 330 Ω apresentará uma tensão de aproximadamente 2.4 V (ou duas "partes" de 1.2 V ou 2x), e o ponto médio entre os resistores de 330 Ω e 470 Ω apresentará uma tensão de aproximadamente 6 V, que será a somatória desses 2x com os 3x do resistor de 330 Ω.

Observe, contudo, que o valor de tensão no negativo da bateria continuará sendo sempre 0 V, e o valor da tensão no "topo" da malha continuará sendo rigorosamente igual à tensão fornecida pela da bateria, ou seja, 12 V. Isso ocorre porque as aproximações que fizemos para o cálculo dessa malha divisora de tensão resistiva referem-se apenas às tensões obtidas nos pontos médios dos resistores, ficando as tensões em seus extremos inteiramente imunes ao que ocorre no interior da malha, uma vez que estão sob domínio da fonte de alimentação – no caso, a bateria.

Podemos verificar na prática tais desvios de tensão conforme a figura a seguir, que apresenta o mesmo circuito no simulador da ferramenta TinkerCad, com valores exatos dos componentes (200 Ω, 300 Ω e 500 Ω) na figura 39 A e com os mesmos valores apresentados em nosso exemplo na figura 39 B, respectivamente, observando através da ferramenta que as tolerâncias, embora presentes, ainda permitem um cálculo bastante aproximado dos valores reais nos respectivos pontos médios.

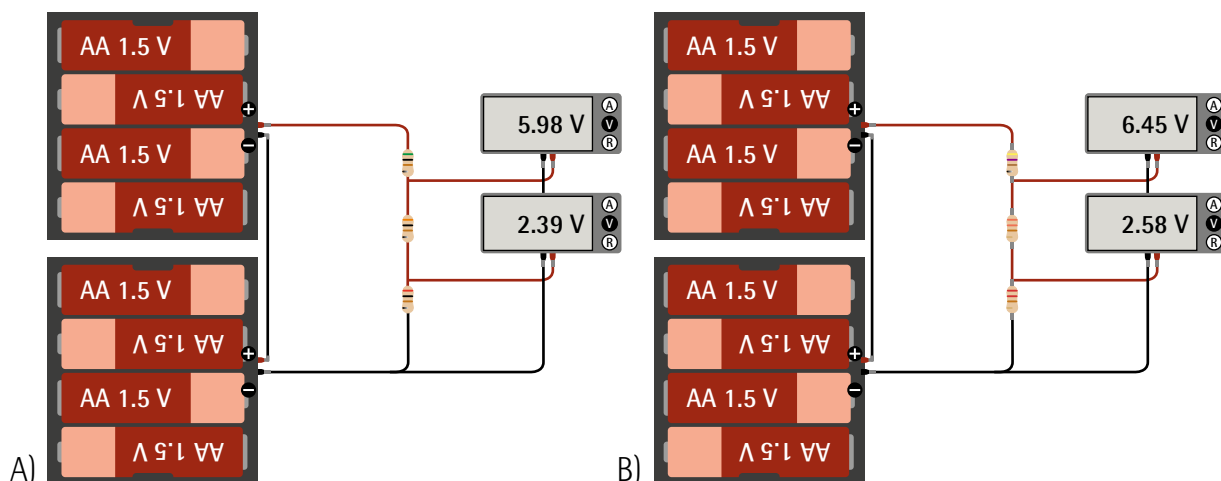


Figura 39 – Tolerâncias dos valores e sua influência nos valores de tensão lidos no divisor resistivo

Tais arranjos divisores de tensão foram muito utilizados no passado nos antigos equipamentos a válvula, como forma de obter diversas tensões diferentes para os vários estágios do aparelho (figura a seguir), método que foi aplicado por muitas décadas e por diversos fabricantes diferentes, mas que trazia algumas desvantagens, como o fato de produzir muito calor (uma vez que os resistores usados eram geralmente de potência e tinham uma dissipação considerável), além de comumente apresentarem defeitos depois de algum tempo de funcionamento, por resistores que aumentavam de valor ou que simplesmente abriam.

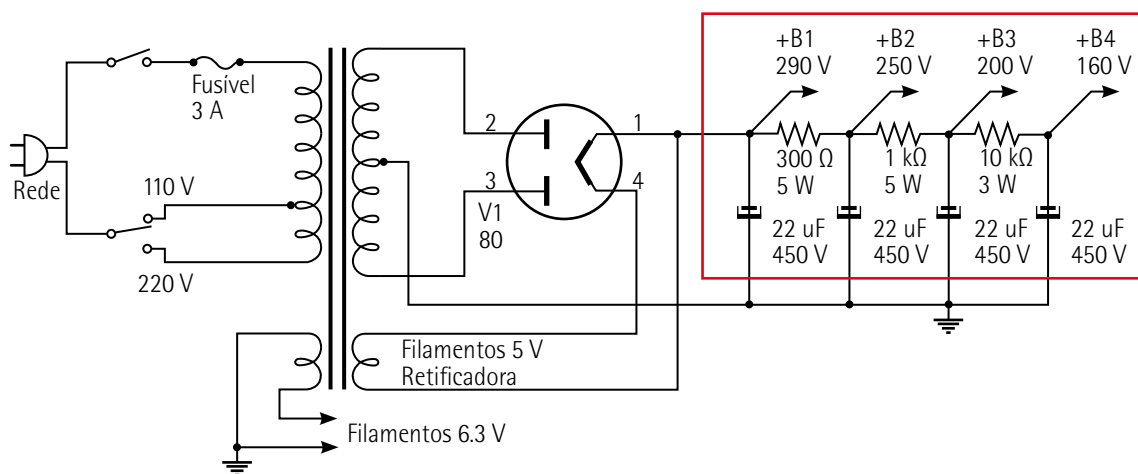


Figura 40 – Divisor resistivo (destacado em vermelho) em um circuito de fonte de equipamento valvulado

Adaptada de: Invictus (1962).

Um tipo de resistor especial muito utilizado entre os anos 1940 e 1950 para esse propósito específico eram os chamados multitap, com encapsulamento coberto por uma tinta resistente e com diversos terminais ligados a vários pontos de um longo fio resistivo enrolado sobre uma base de cerâmica ou material similar (figura a seguir). Outros modelos similares possuíam uma simples área do fio resistivo descoberta, permitindo que uma braçadeira metálica pudesse ser afixada sobre um ponto qualquer de seu comprimento, ajustando o valor resistivo desejado.

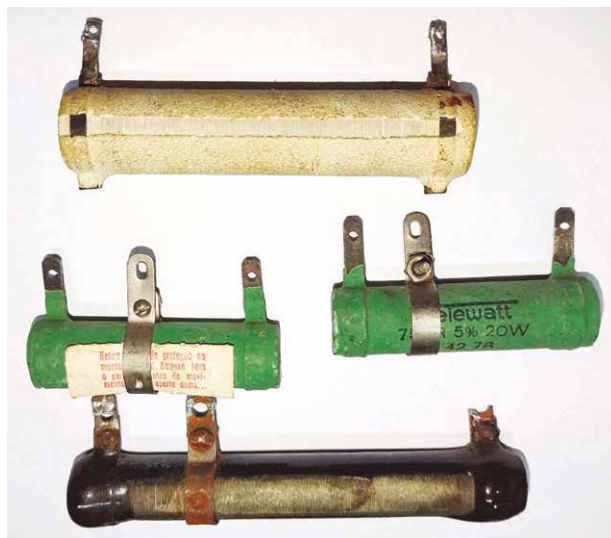


Figura 41 – Diversos resistores de fio, com terminais (ou taps) ajustáveis por cursor semifixo, através de uma braçadeira

Tais resistores eram um grande pesadelo para os técnicos reparadores, uma vez que se rompiam sempre nos mesmos pontos, deixando parte dos circuitos sem alimentação quando falhavam. Uma solução muito adotada à época era ligar um resistor de fio de valor próximo ao que o "pedaço" queimado da resistência possuía, em paralelo a este, reestabelecendo o funcionamento sem precisar inutilizar todo o conjunto, que normalmente não era muito fácil de achar e não era barato.

### 4.3 O potenciômetro como divisor de tensão

Já falamos a respeito dos potenciômetros, seus tipos e aplicações. Contudo, ainda é preciso fazer um destaque especial, uma vez que podem ser utilizados como práticos divisores de tensão ajustáveis, permitindo assim grande praticidade em situações em que precisamos de ajustes com boa precisão nos valores de uma malha resistiva, por exemplo.

Em essência, é possível ligar um potenciômetro de duas formas, conforme figura a seguir, na qual um resistor pode ser utilizado como um resistor variável (B), tendo seu cursor conectado permanentemente a um dos seus terminais e agindo, portanto, como um resistor cujo valor vai de zero ohms até sua resistência máxima nominal, ou como um divisor de tensão (A), situação em que seus extremos ficam ligados ao positivo e negativo de uma fonte de tensão e o cursor movimenta-se entre esses dois pontos.

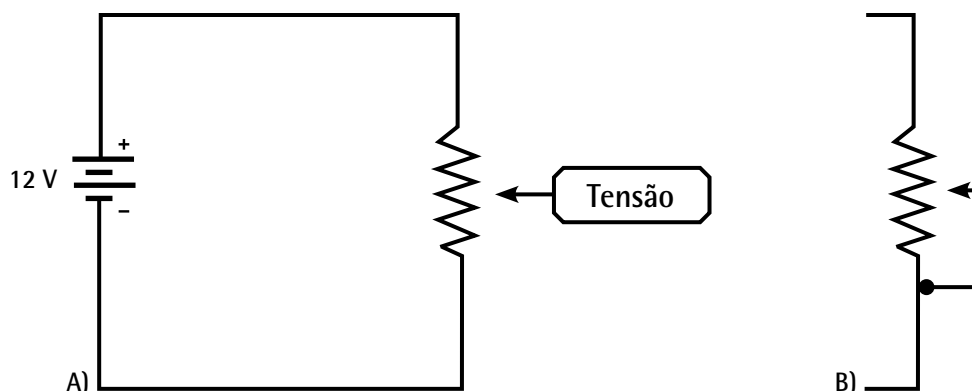


Figura 42 – Potenciômetro ligado como divisor de tensão (A) ou como resistor variável (B)

Note que, quando ligado como divisor de tensão, o potenciômetro passa a permitir que se obtenha em seu cursor qualquer tensão que vá de zero até a tensão total da fonte de alimentação, que no caso é uma bateria de 12 V.

Assim, se posicionarmos o cursor a 50% de sua pista, teremos nele uma tensão de 6 V, ou seja, metade da fornecida pela bateria. Da mesma forma, se posicionarmos o cursor em seu extremo mais próximo do positivo, teremos em seu terminal 12 V; colocando-o mais próximo do extremo negativo, a tensão nele será 0 V (figura a seguir), mantendo assim todas as regras da proporcionalidade obtidas com um divisor feito com resistores de valores fixos.

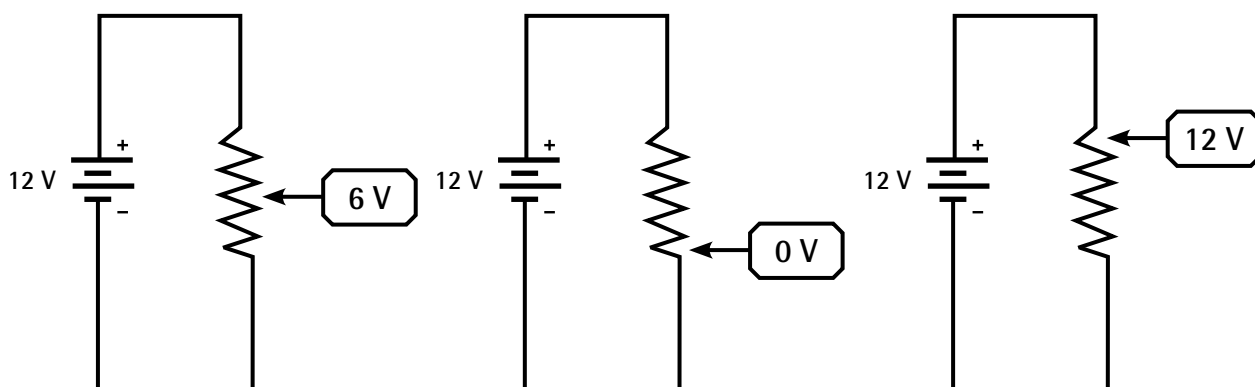


Figura 43 – Operação do potenciômetro como divisor de tensão

Isso é bastante prático, uma vez que nos permite obter um valor de tensão "à la carte", de acordo com nossa vontade, tendo sido muito usado em circuitos de controle de volume e tom em receptores de rádio e aparelhos de som mais antigos, para que o usuário pudesse controlar livremente os parâmetros daquilo que estava escutando de forma muito simples e efetiva, algo hoje substituído em muito pelo advento dos equipamentos com controles digitais (figura a seguir).

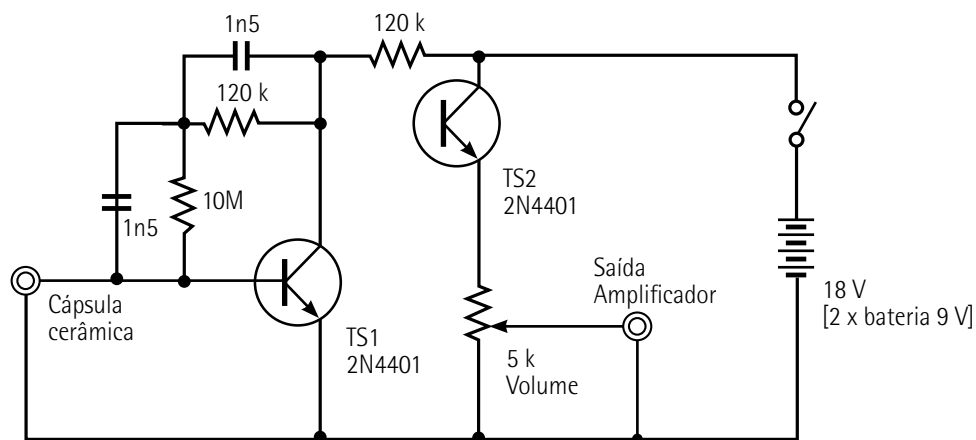


Figura 44 – Potenciômetro utilizado como divisor de tensão em um circuito de controle de volume em um pré-amplificador de áudio para toca-discos

Adaptada de: General Electric (1964).

Contudo, tal arranjo apenas se presta a fornecer correntes muito pequenas, uma vez que para potências grandes seriam necessários potenciômetros de fio com dissipações que tornariam sua exequibilidade pouco prática.



## Resumo

Nesta primeira unidade, vimos um pouco do resistor sob uma perspectiva histórica, com as pesquisas conduzidas por Georg Ohm, e depois pudemos entender quais são os princípios da lei de Ohm, com seus enunciados e suas fórmulas correspondentes.

A seguir, conhecemos quais são os tipos de resistores mais utilizados, começando pelos tipos mais simples, de carbono, até os de potência e os tipos mais precisos, fabricados em filme metálico.

Aprendemos em seguida como ler os códigos de cores dos resistores com exemplos práticos, como funciona o conceito de tolerância, como operam os sistemas de valores (E6, E12 e E24) e como eles se relacionam com essa última.

Estudamos em pormenores a associação de resistores em série e em paralelo, e como tais associações (ou "malhas") se comportam, sendo ainda apresentadas fórmulas detalhadas para seu cálculo, com exemplos práticos.

Também foram ilustrados os circuitos divisores de tensão com resistores, e foi acentuada uma forma simples e rápida de calcular os valores de tensão em seus pontos utilizando proporções.

Finalmente, abordamos os potenciômetros como divisores de tensão e demos exemplos práticos de sua aplicação.



## Exercícios

**Questão 1.** Leia o texto a seguir.

Suponhamos um condutor pelo qual esteja circulando corrente elétrica. Seja  $S$  uma secção transversal do condutor e  $\Delta q$  a carga elétrica que passa por essa secção durante o intervalo de tempo  $\Delta t$ . Por definição, chamamos de intensidade média de corrente elétrica durante o intervalo de tempo  $\Delta t$  ao quociente da carga elétrica que passa pela secção pelo intervalo de tempo. Representamos a intensidade média de corrente elétrica por  $i_m$ . Então:

$$i_m = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

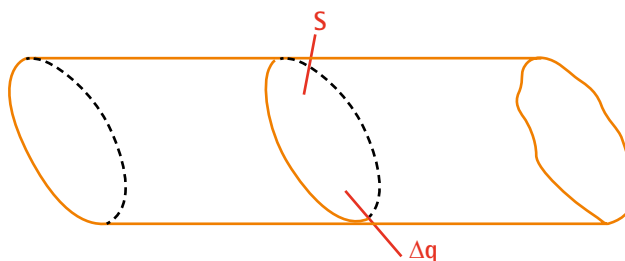


Figura 45

Adaptada de: <https://shre.ink/IFSz>. Acesso em: 13 jun. 2023.

Imagine que, pela secção reta de um fio condutor de eletricidade, passem 12 C a cada minuto. Podemos concluir que a intensidade média da corrente elétrica que percorre o fio é igual a:

- A) 0,24 A.
- B) 0,20 A.
- C) 2,40 A.
- D) 0,40 A.
- E) 0,80 A.

Resposta correta: alternativa B.



## Análise da questão

A intensidade média  $i_m$  da corrente elétrica que percorre um fio condutor é a quantidade da carga elétrica que passa pela secção transversal do fio a cada segundo (em 1 s). Foi dito que passam, pela secção transversal de um fio condutor, 12 C de carga elétrica a cada minuto (60 s).

Logo, para calcularmos  $i_m$ , podemos usar a regra de três a seguir:

$$12 \text{ C} - 60 \text{ s}$$

$$I_m - 1 \text{ s}$$

Fazendo o "produto em cruz", ficamos com:

$$i_m \cdot 60 = 12 \cdot 1 \rightarrow I = 12/60 = 0,20$$

Logo, a intensidade da corrente elétrica é igual a 0,20 A (ampère).

Alternativamente, poderíamos ter usado a igualdade dada no texto do enunciado:

$$i_m = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

Nesse caso, ficamos com:

$$i_m = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{12 \text{ C}}{1 \text{ min}} = \frac{12 \text{ C}}{60 \text{ s}} = 0,20 \text{ A}$$

**Questão 2.** Leia o texto a seguir.

## Código de cores de resistores – por Henrique Mattede

É possível determinarmos o valor da resistência de um resistor de duas maneiras: utilizando equipamentos de medição de resistência, como o multímetro, ou usando uma tabela de cores. Para a segunda opção, a identificação por meio da tabela de cores ocorre pelas cores contidas no corpo do resistor.

Visando a uma fácil interpretação, o código de cores de resistores é analisado por faixas. Podemos ter códigos para resistores de 3 faixas, 4 faixas, 5 faixas e 6 faixas, sendo que a primeira faixa é sempre a que estiver mais próxima de um dos terminais do resistor.

## Código de cores: resistores de 3 faixas

Para resistores de 3 faixas, utilizamos a tabela a seguir, obedecendo às orientações citadas.

- **1ª faixa:** mostra o primeiro algarismo do valor da resistência;
- **2ª faixa:** mostra o segundo algarismo da resistência;
- **3ª faixa:** mostra quantos zeros devem ser adicionados à resistência.

**Tabela 6**

Cor	1ª faixa	2ª faixa	Números de zeros/ multiplicador	Tolerância
Preto	0	0	0	
Marrom	1	1	1	
Vermelho	2	2	2	
Laranja	3	3	3	
Amarelo	4	4	4	
Verde	5	5	5	
Azul	6	6	6	
Violeta	7	7	7	
Cinza	8	8	8	
Branco	9	9	9	
Dourado			x0,1	
Prata			x0,01	
Sem cor				± 20%

## Código de cores: resistores de 4 faixas

Para resistores de 4 faixas, utilizamos a tabela a seguir e os mesmos passos citados para resistores de 3 faixas, mas com a adição da quarta faixa, que identifica a tolerância da resistência do componente.

**Tabela 7**

Cor	1ª faixa	2ª faixa	Números de zeros/ multiplicador	Tolerância
Preto	0	0	0	
Marrom	1	1	1	± 1%
Vermelho	2	2	2	± 2%
Laranja	3	3	3	
Amarelo	4	4	4	
Verde	5	5	5	± 0,5%

Cor	1ª faixa	2ª faixa	Números de zeros/ multiplicador	Tolerância
Azul	6	6	6	$\pm 0,25\%$
Violeta	7	7	7	$\pm 0,1\%$
Cinza	8	8	8	$\pm 0,05\%$
Branco	9	9	9	
Dourado			x0,1	$\pm 5\%$
Prata			x0,01	$\pm 10\%$

## Código de cores: resistores de 5 faixas

Para resistores de 5 faixas, utilizamos a tabela subsequente, seguindo as orientações citadas.

- **1ª faixa:** mostra o primeiro algarismo do valor da resistência;
- **2ª faixa:** mostra o segundo algarismo da resistência;
- **3ª faixa:** mostra o terceiro algarismo da resistência;
- **4ª faixa:** mostra quantos zeros devem ser adicionados à resistência;
- **5ª faixa:** mostra a tolerância da resistência do componente.

**Tabela 8**

Cor	1ª faixa	2ª faixa	3ª faixa	Números de zeros/ multiplicador	Tolerância
Preto	0	0	0	0	
Marrom	1	1	1	1	$\pm 1\%$
Vermelho	2	2	2	2	$\pm 2\%$
Laranja	3	3	3	3	
Amarelo	4	4	4	4	
Verde	5	5	5	5	$\pm 0,5\%$
Azul	6	6	6	6	$\pm 0,25\%$
Violeta	7	7	7	7	$\pm 0,1\%$
Cinza	8	8	8	8	$\pm 0,05\%$
Branco	9	9	9	9	
Dourado				x0,1	$\pm 5\%$
Prata				x0,01	$\pm 10\%$

## Código de cores: resistores de 6 faixas

Para resistores de 6 faixas, seguimos as mesmas orientações para resistores de 5 faixas, mas com a adição da sexta, que corresponde ao coeficiente de temperatura de resistência, em PPM/°C.

**Tabela 9**

Cor	1ª faixa	2ª faixa	3ª faixa	Números de zeros/ multiplicador	Tolerância	Coefficiente de temperatura
Preto	0	0	0	0		
Marrom	1	1	1	1	± 1%	100 PPM/°C
Vermelho	2	2	2	2	± 2%	50 PPM/°C
Laranja	3	3	3	3		15 PPM/°C
Amarelo	4	4	4	4		25 PPM/°C
Verde	5	5	5	5	± 0,5%	
Azul	6	6	6	6	± 0,25%	10 PPM/°C
Violeta	7	7	7	7	± 0,1%	5 PPM/°C
Cinza	8	8	8	8	± 0,05%	
Branco	9	9	9	9		
Dourado				x0,1	± 5%	
Prata				x0,01	± 10%	

O coeficiente de temperatura de resistência mostra o quanto de variação o resistor pode sofrer em sua resistência de acordo com a temperatura à qual é exposto, e PPM significa partes por milhão.

Adaptado de: <https://shre.ink/IFzt>. Acesso em: 13 jun. 2023.

Com base no exposto e nos seus conhecimentos, analise o resistor da figura a seguir e assinale a alternativa correta.



Figura 46

- A) A resistência do resistor pode variar de 223  $\Omega$  a 277  $\Omega$ , de acordo com a tolerância.
- B) A resistência do resistor pode variar de 250  $\Omega$  a 290  $\Omega$ , de acordo com a tolerância.
- C) A resistência do resistor pode variar de 256,5  $\Omega$  a 283,5  $\Omega$ , de acordo com a tolerância.
- D) A resistência do resistor pode variar de 265,5  $\Omega$  a 275,5  $\Omega$ , de acordo com a tolerância.
- E) A resistência do resistor pode variar de 269,5  $\Omega$  a 270,5  $\Omega$ , de acordo com a tolerância.

Resposta correta: alternativa C.

### Análise da questão

Segundo a tabela de cores para resistores de 4 faixas, temos o que segue para o resistor da figura do enunciado:

- **1ª faixa:** vermelho = 2
- **2ª faixa:** violeta = 7
- **3ª faixa, n. de zeros:** marrom = um 0 de multiplicador
- **valor obtido:** 270  $\Omega$
- **4ª faixa, tolerância:** dourado =  $\pm 5\% = 13,5 \Omega$

Logo, a resistência do resistor pode variar de  $256,5 \, \Omega$  a  $283,5 \, \Omega$ , de acordo com a tolerância.

This image shows a single sheet of white paper with horizontal ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.