

Edgard Gonçalves Cardoso

**Eletrônica Geral**

## Curso Técnico em Mecatrônica - Eletrônica Geral

© SENAI-SP, 2003

Trabalho organizado e atualizado a partir de conteúdos extraídos da Intranet por Meios Educacionais da Gerência de Educação e CFPs 1.09, 1.23, 3.01, 4.02, 5.01 e 6.01 da Diretoria Técnica do SENAI-SP.

### Equipe responsável

Coordenação	Airton Almeida de Moraes
Seleção de conteúdos	Ricardo Euler Zabuska
Capa	José Joaquim Pecegueiro

Material para validação

Críticas e sugestões: [meiosedu@sp.senai.br](mailto:meiosedu@sp.senai.br)

SENAI Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial  
Departamento Regional de São Paulo  
Av. Paulista, 1313 - Cerqueira César  
São Paulo - SP  
CEP 01311-923

Telefone	(0XX11) 3146-7000
Telefax	(0XX11) 3146-7230
SENAI on-line	0800-55-1000
E-mail	<a href="mailto:senai@sp.senai.br">senai@sp.senai.br</a>
Home page	<a href="http://www.sp.senai.br">http://www.sp.senai.br</a>



# Sumário

## Unidade I: Teoria

Energia	7
Matéria	11
Fundamentos da eletrostática	17
Geração de energia elétrica	27
Corrente elétrica	33
Circuitos elétricos	37
Resistência elétrica	47
Associação de resistências	55
Resistores	67
Fonte CC	85
Lei de Ohm	95
Potência elétrica em CC	101
Primeira Lei de Kirchhoff	111
Segunda Lei de Kirchhoff	117
Instrumentos de medição de grandezas elétricas	131
Magnetismo	135
Eletromagnetismo	145
Corrente alternada	151
Osciloscópio	163
Gerador de funções	181
Capacitores	187
Reatância capacitativa	197
Indutores	203
Reatância indutiva	211
Impedância	215
Potência em CA	221
Transformadores	227
Diodo semi-condutor	251
Circuitos retificadores monofásicos	273

Diodos especiais	291
Fontes de alimentação reguladas	305
Transistor bipolar	317
Ponto de operação do transistor	339
Polarização do transistor	357
Amplificador operacional	383

## **Unidade II: Ensaio**

Associar resistores	411
Efetuar medições de tensão e corrente	413
Montar um divisor de tensão	417
Comprovar os teoremas de Thévenin e Norton	421
Verificar o funcionamento de capacitores em CC	419
Verificar o funcionamento de circuitos RC	425
Verificar o funcionamento de circuitos RL	427
Verificar o funcionamento de circuitos RLC	429
Identificar resistores e código de cores	431
Identificar capacitores	433
Utilizar o osciloscópio	435
Medir tensão alternada com o osciloscópio	437
Verificar o funcionamento do diodo semiconductor	441
Verificar o funcionamento do diodo zener	443
Verificar o funcionamento do LED	445
Verificar o funcionamento do retificador de meia onda	447
Verificar o funcionamento de um retificador de onda completa	449
Verificar o funcionamento de um retificador em ponte	451
Verificar o funcionamento de fonte estabilizada	453
Verificar o funcionamento de um circuito limitador	455
Verificar o funcionamento de um circuito grameador	457
Verificar o funcionamento de um multiplicador de tensão	459
Verificar o funcionamento de um transistor	461
Polarizar transistores	463
Verificar o funcionamento do transistor como chave	465
Verificar o funcionamento de reguladores de tensão	467
Verificar o funcionamento de regulador de tensão Darlington	471
Polarizar um amplificador operacional	473
Verificar o funcionamento de um multivibrador monoestável	475
Verificar o funcionamento de multivibrador astável	477

Eletrônica geral

Verificar um circuito linear	479
Polarizar um transistor de efeito de campo	483
Referência Bibliográfica	485



# Energia

Freqüentemente usamos a palavra energia. Às vezes, ouvimos dizer que determinado alimento é rico em energia, que recebemos energia do sol ou então, que o custo da energia elétrica aumentou. Fala-se também em energia térmica, química, nuclear. A energia está presente em quase todas as atividades do homem moderno.

Por isso, para o profissional da área eletroeletrônica, é primordial conhecer os segredos da energia elétrica.

Neste primeiro capítulo, estudaremos algumas formas de energia que se conhece, sua conservação e unidades de medida.

## **Energia e trabalho**

A energia está sempre associada a um trabalho. Por isso, dizemos que energia é a capacidade que um corpo possui de realizar um trabalho. Como exemplo de energia, pode-se citar uma mola comprimida ou estendida, e a água, represada ou corrente.

Assim como há vários modos de realizar um trabalho, também há várias formas de energia. Em nosso curso, falaremos mais sobre a energia elétrica e seus efeitos, porém devemos ter conhecimentos sobre outras formas de energia.

Dentre as muitas formas de energia que existem, podemos citar:

- Energia potencial;
- Energia cinética;
- Energia mecânica;
- Energia térmica;
- Energia química;
- Energia elétrica.

A energia é **potencial** quando se encontra em repouso, ou seja, armazenada em um determinado corpo. Como exemplo de energia potencial, pode-se citar um veículo no topo de uma ladeira e a água de uma represa.

A energia **cinética** é a consequência do movimento de um corpo. Como exemplos de energia cinética pode-se citar um esquetista em velocidade que aproveita a energia cinética para subir uma rampa ou a abertura das comportas de uma represa que faz girarem as turbinas dos geradores das hidroelétricas.

A energia **mecânica** é a soma da energia potencial com a energia cinética presentes em um determinado corpo. Ela se manifesta pela produção de um trabalho mecânico, ou seja, o deslocamento de um corpo. Como exemplo de energia mecânica podemos citar um operário empurrando um carrinho ou um torno em movimento.

A energia **térmica** se manifesta através da variação da temperatura nos corpos. A máquina a vapor, que usa o calor para aquecer a água transformando-a em vapor que acionará os pistões, pode ser citada como exemplo de energia térmica.

A energia **química** manifesta-se quando certos corpos são postos em contato, proporcionando reações químicas. O exemplo mais comum de energia química é a pilha elétrica.

A energia **elétrica** manifesta-se por seus efeitos magnéticos, térmicos, luminosos, químicos e fisiológicos. Como exemplo desses efeitos, podemos citar:

- A rotação de um motor (efeito magnético);
- Aquecimento de uma resistência para esquentar a água do chuveiro (efeito térmico);
- A luz de uma lâmpada (efeito luminoso);
- A eletrólise da água (efeito químico);
- A contração muscular de um organismo vivo ao levar um choque elétrico (efeito fisiológico).

### **Conservação de energia**

A energia não pode ser criada, nem destruída. Ela nunca desaparece, apenas se transforma, ou seja, passa de uma forma de energia para outra.

Há vários tipos de transformação de energia e vamos citar os mais comuns: transformação de energia química em energia elétrica por meio da utilização de

baterias ou acumuladores que, por meio de uma reação química geram ou armazenam energia elétrica.

Transformação de energia mecânica em energia elétrica, quando a água de uma represa flui através das comportas e aciona as turbinas dos geradores da hidroelétrica.

Transformação de energia elétrica em mecânica que acontece nos motores elétricos que, ao receberem a energia elétrica em seu enrolamento, transformam-na em energia mecânica pela rotação de seu eixo.

### Unidades de medida de energia

Para melhor conhecermos as grandezas físicas, é necessário medi-las. Há grandezas cuja medição é muito simples. Por exemplo, para se medir o comprimento, basta apenas uma régua ou uma trena. Outras grandezas, porém exigem aparelhos complexos para sua medição.

As unidades de medida das grandezas físicas são agrupadas em sistemas de unidades onde as medidas foram reunidas e padronizadas no **Sistema Internacional de Unidades**, abreviado para a sigla **SI**.

A unidade de medida de energia é chamada **joule**, representada pela letra **J**, e corresponde ao trabalho realizado por uma força constante de um newton (unidade de medida de força) que desloca seu ponto de aplicação de um metro na sua direção.

As grandezas formadas com prefixos SI têm múltiplos e submúltiplos. Os principais são apresentados na tabela a seguir.

Prefixo SI	Símbolo	Fator multiplicador
Giga	G	$10^9 = 1\ 000\ 000\ 000$
Mega	M	$10^6 = 1\ 000\ 000$
Quilo	K	$10^3 = 1\ 000$
Mili	m	$10^{-3} = 0,001$
Micro	$\mu$	$10^{-6} = 0,000\ 001$
Nano	n	$10^{-9} = 0,000\ 000\ 001$
Pico	p	$10^{-12} = 0,000\ 000\ 000\ 001$

Você deve se familiarizar com todas as unidades com os prefixos SI e suas unidades derivadas, pois elas serão usadas durante todo o curso.





---

# Matéria

O estudo da matéria e sua composição é fundamental para a compreensão da teoria eletrônica. Por isso, neste capítulo estudaremos o arranjo físico das partículas que compõem o átomo e a maneira como essas partículas se comportam. Isso facilitará muito o estudo dos fenômenos que produzem a eletricidade.

## Composição da matéria

Matéria é tudo aquilo que nos cerca e que ocupa um lugar no espaço. Ela se apresenta em porções limitadas que recebem o nome de corpos. Estes podem ser simples ou compostos.

### Observação

Existem coisas com as quais temos contato na vida diária que não ocupam lugar no espaço, não sendo, portanto, matéria. Exemplos desses fenômenos são o som, o calor e a eletricidade.

Corpos simples são aqueles formados por um único átomo. São também chamados de elementos. O ouro, o cobre, o hidrogênio são exemplos de elementos.

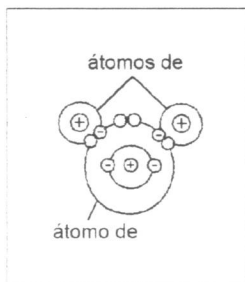
Corpos compostos são aqueles formados por uma combinação de dois ou mais elementos. São exemplos de corpos compostos o cloreto de sódio (ou sal de cozinha) que é formado pela combinação de cloro e sódio, e a água, formada pela combinação de oxigênio e hidrogênio.

A matéria e, conseqüentemente, os corpos compõem-se de moléculas e átomos.

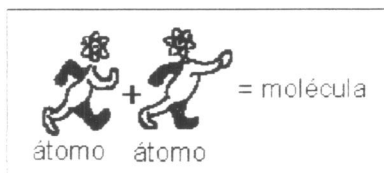
## Molécula

Molécula é a menor partícula em que se pode dividir uma substância de modo que ela mantenha as mesmas características da substância que a originou.

Tomemos como exemplo uma gota de água: se ela for dividida continuamente, tornar-se-á cada vez menor, até chegarmos à menor partícula que conserva as características da água, ou seja, a molécula de água. Veja, na ilustração a seguir, a representação de uma molécula de água.



As moléculas se formam porque, na natureza, todos os elementos que compõem a matéria tendem a procurar um equilíbrio elétrico.



## Átomo

Os animais, as plantas, as rochas, as águas dos rios, lagos e oceanos e tudo o que nos cerca é composto de átomos.

O átomo é a menor partícula em que se pode dividir um elemento e que, ainda assim, conserva as propriedades físicas e químicas desse elemento.

### Observação

Os átomos são tão pequenos que, se forem colocados 100 milhões deles um ao lado do outro, formarão uma reta de apenas 10 mm de comprimento.

O átomo é formado de numerosas partículas. Todavia, estudaremos somente aquelas que mais interessam à teoria eletrônica.

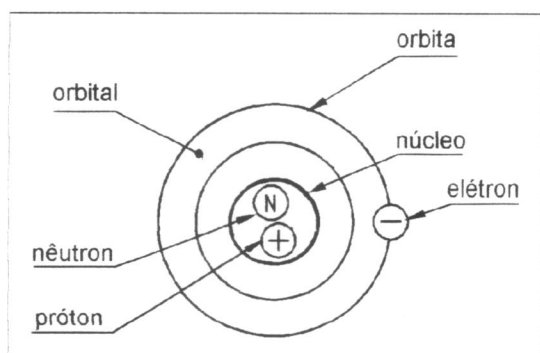
Existem átomos de materiais como o cobre, o alumínio, o neônio, o xenônio, por exemplo, que já apresentam o equilíbrio elétrico, não precisando juntar-se a outros átomos. Esses átomos, sozinhos, são considerados moléculas também.

### Constituição do átomo

O átomo é formado por uma parte central chamada núcleo e uma parte periférica formada pelos elétrons e denominada eletrosfera.

O núcleo é constituído por dois tipos de partículas: os prótons, com carga positiva, e os nêutrons, que são eletricamente neutros.

Veja a representação esquemática de um átomo na ilustração a seguir.



Os prótons, juntamente com os nêutrons, são os responsáveis pela parte mais pesada do átomo.

Os elétrons possuem carga negativa. Como os planetas do sistema solar, eles giram na eletrosfera ao redor do núcleo, descrevendo trajetórias que se chamam órbitas.

Na eletrosfera os elétrons estão distribuídos em camadas ou níveis energéticos.

De acordo com o número de elétrons, ela pode apresentar de 1 a 7 níveis energéticos, denominados K, L, M, N, O, P e Q.



Os átomos podem ter uma ou várias órbitas, dependendo do seu número de elétrons. Cada órbita contém um número específico de elétrons.

A distribuição dos elétrons nas diversas camadas obedece a regras definidas. A regra mais importante para a área eletroeletrônica refere-se ao nível energético mais distante do núcleo, ou seja, a camada externa: o número máximo de elétrons nessa camada é de oito elétrons.

Os elétrons da órbita externa são chamados elétrons livres, pois têm uma certa facilidade de se desprenderem de seus átomos. Todas as reações químicas e elétricas acontecem nessa camada externa, chamada de nível ou camada de valência.

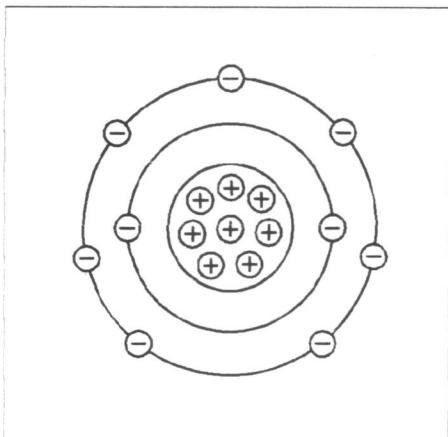
A teoria eletrônica estuda o átomo só no aspecto da sua eletrosfera, ou seja, sua região periférica ou orbital.

## Íons

No seu estado natural, o átomo possui o número de prótons igual ao número de elétrons. Nessa condição, dizemos que o átomo está em equilíbrio ou eletricamente neutro.

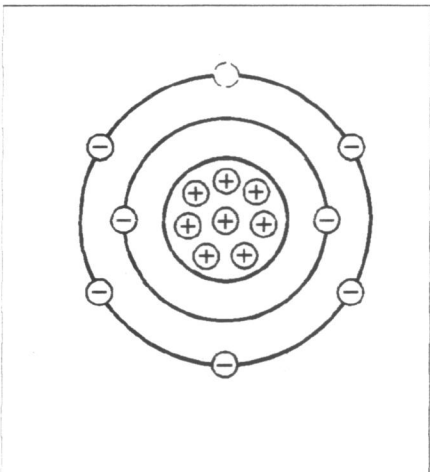
O átomo está em desequilíbrio quando tem o número de elétrons maior ou menor que o número de prótons. Esse desequilíbrio é causado sempre por forças externas que podem ser magnéticas, térmicas ou químicas.

O átomo em desequilíbrio é chamado de íon. O íon pode ser negativo ou positivo. Os íons negativos são os ânions e os íons positivos são os cátions. Íons negativos, ou seja, ânions, são átomos que receberam elétrons.



$$\begin{array}{r} \text{Prótons} = +8 \\ \text{Elétrons} = -9 \\ \hline \text{Resultado} = -1 \end{array}$$

Íons positivos, ou seja, cátions, são átomos que perderam elétrons.



$$\begin{array}{r} \text{Prótons} = +8 \\ \text{Elétrons} = -7 \\ \hline \text{Resultado} = +1 \end{array}$$

A transformação de um átomo em íon ocorre devido a forças externas ao próprio átomo. Uma vez cessada a causa externa que originou o íon, a tendência natural do átomo é atingir o equilíbrio elétrico. Para atingir esse equilíbrio, ele cede elétrons que estão em excesso ou recupera os elétrons em falta.



# Fundamentos da eletrostática

Quando ligamos um aparelho de televisão, rádio ou máquina de calcular, estamos utilizando eletricidade e, como vimos no capítulo anterior, a eletricidade é uma forma de energia que está presente em tudo o que existe na natureza.

Para compreender o que são os fenômenos elétricos e suas aplicações, neste capítulo estudaremos o que é eletricidade estática; o que é tensão, suas unidades de medida e as fontes geradoras de tensão.

Para estudar este capítulo com mais facilidade, você deve ter bons conhecimentos anteriores sobre o comportamento do átomo e suas partículas.

## Tipos de eletricidade

A eletricidade é uma forma de energia que faz parte da constituição da matéria. Existe, portanto, em todos os corpos.

O estudo da eletricidade é organizado em dois campos: a **eletrostática** e a **eletrodinâmica**.

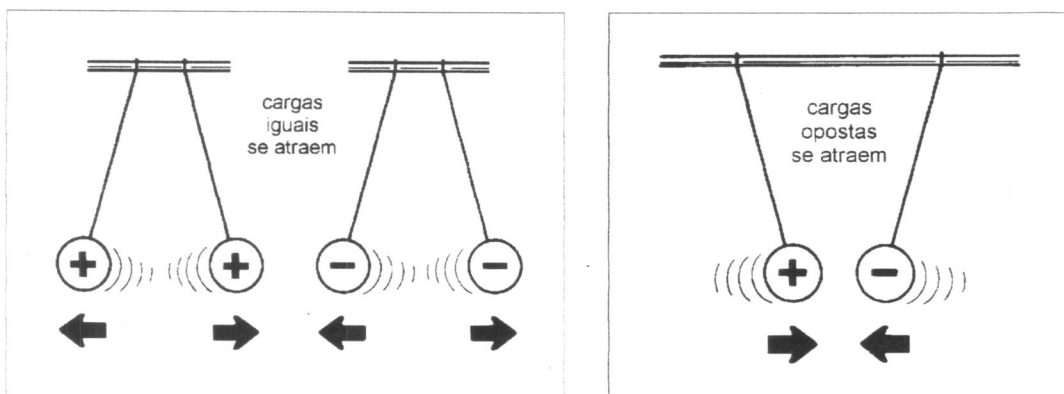
### Eletrostática

Eletrostática é a parte da eletricidade que estuda a **eletricidade estática**. Dá-se o nome de eletricidade estática à eletricidade produzida por cargas elétricas **em repouso** em um corpo.

Na eletricidade estática, estudamos as propriedades e a ação mútua das cargas elétricas em repouso nos corpos eletrizados.

Um corpo se eletriza **negativamente (-)** quando **ganha** elétrons e **positivamente (+)** quando **perde** elétrons.

Entre corpos eletrizados, ocorre o efeito da **atração** quando as cargas elétricas têm **sinais contrários**. O efeito da **repulsão** acontece quando as cargas elétricas dos corpos eletrizados têm **sinais iguais**.

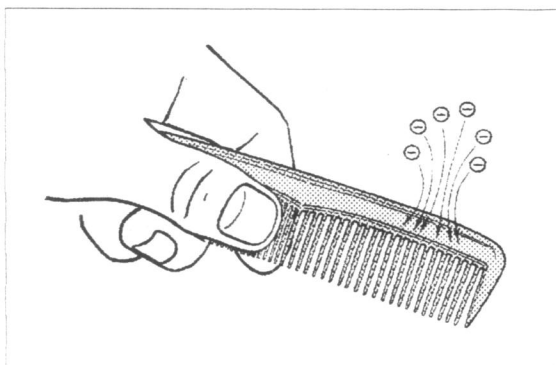


No estado natural, qualquer porção de matéria é eletricamente **neutra**. Isso significa que, se nenhum agente externo atuar sobre uma determinada porção da matéria, o número total de prótons e elétrons dos seus átomos será **igual**.

Essa condição de equilíbrio elétrico natural da matéria pode ser desfeita, de forma que um corpo deixe de ser neutro e fique carregado eletricamente.

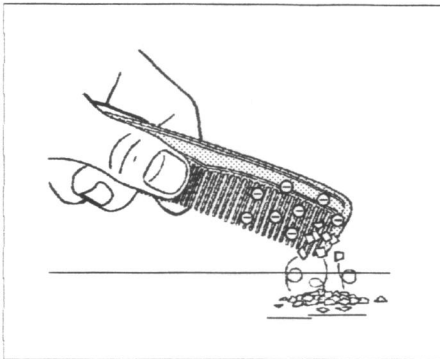
O processo pelo qual se faz com que um corpo eletricamente neutro fique carregado é chamado **eletrização**.

A maneira mais comum de se provocar eletrização é por meio de **atrito**. Quando se usa um pente, por exemplo, o atrito provoca uma **eletrização negativa** do pente, isto é, o pente **ganha** elétrons.





Ao aproximarmos o pente eletrizado positivamente de pequenos pedaços de papel, estes são atraídos momentaneamente pelo pente, comprovando a existência da eletrização.

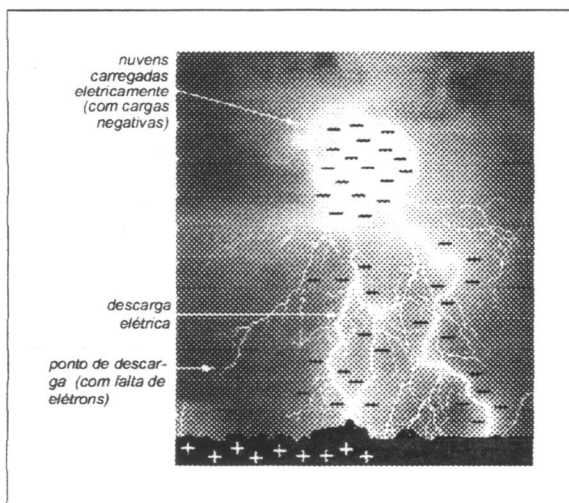


A eletrização pode ainda ser obtida por outros processos como, por exemplo, por contato ou por indução. Em qualquer processo, contudo, obtém-se corpos carregados eletricamente.

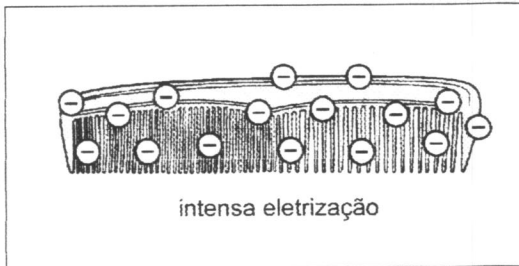
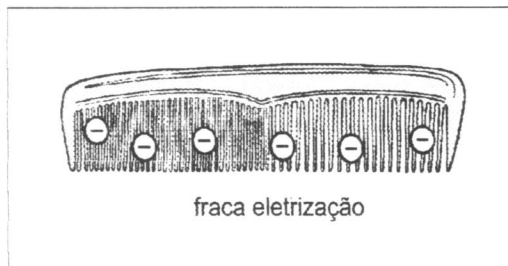
### Descargas elétricas

Sempre que dois corpos com cargas elétricas **contrárias** são colocados próximos um do outro, em condições favoráveis, o **excesso de elétrons** de um deles **é atraído** na direção daquele que está com falta de elétrons, sob a forma de um descarga elétrica. Essa descarga pode se dar por contato ou por arco.

Quando dois materiais possuem grande diferença de cargas elétricas, uma grande quantidade de carga elétrica negativa pode passar de um material para outro pelo ar. Essa é a descarga elétrica por arco. O raio, em uma tempestade, é um bom exemplo de descarga por arco.

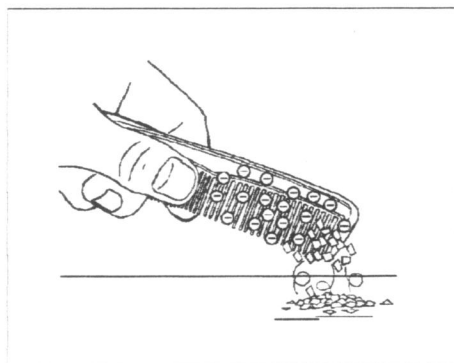


### Relação entre desequilíbrio e potencial elétrico

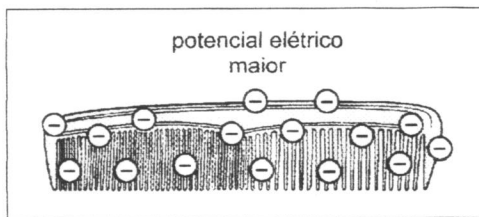
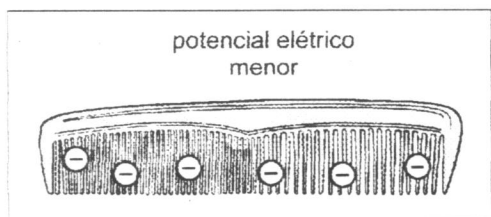


Por meio dos processos de eletrização, é possível fazer com que os corpos fiquem **intensamente** ou **fracamente** eletrizados. Um pente fortemente atritado fica intensamente eletrizado. Se ele for fracamente atritado, sua eletrização será fraca.

O pente **intensamente** atritado tem **maior** capacidade de realizar trabalho, porque é capaz de atrair maior quantidade de partículas de papel.



Como a maior capacidade de realizar trabalho significa **maior potencial**, conclui-se que o pente intensamente eletrizado tem **maior** potencial elétrico.



O potencial elétrico de um corpo depende diretamente do desequilíbrio elétrico existente nesse corpo. Assim, um corpo que tenha um desequilíbrio elétrico **duas vezes maior** que outro, tem um potencial elétrico **duas vezes maior**.

### Carga elétrica

Como certos átomos são forçados a **ceder** elétrons e outros a **receber** elétrons, é possível produzir uma transferência de elétrons de um corpo para outro. Quando isso ocorre, a distribuição igual das cargas positivas e negativas em cada átomo deixa de existir. Portanto, um corpo conterà excesso de elétrons e a sua carga terá uma polaridade **negativa (-)**. O outro corpo, por sua vez, conterà excesso de prótons e a sua carga terá polaridade **positiva (+)**.

Quando um par de corpos contém a **mesma carga**, isto é, ambas positivas (+) ou ambas negativas (-), diz-se que eles apresentam **cargas iguais**.

Quando um par de corpos contém cargas diferentes, ou seja, um corpo é positivo (+) e o outro é negativo (-), diz-se que eles apresentam cargas desiguais ou opostas.

A quantidade de carga elétrica que um corpo possui, é determinada pela **diferença** entre o número de prótons e o número de elétrons que o corpo contém.

O símbolo que representa a quantidade de carga elétrica de um corpo é **Q** e sua unidade de medida é o coulomb (**c**).

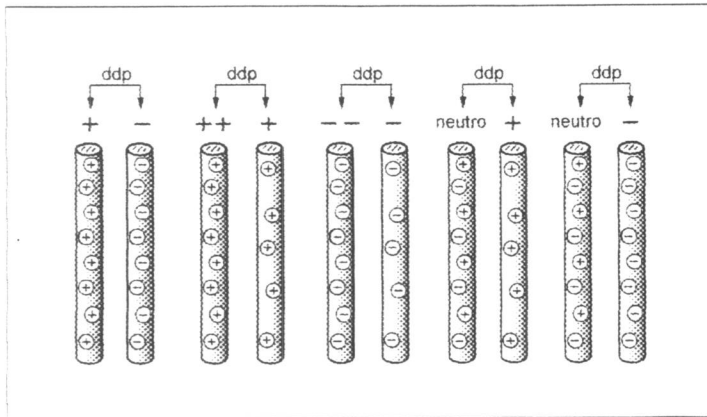
### Observação

$$1 \text{ coulomb} = 6,25 \times 10^{18} \text{ elétrons}$$

### Diferença de potencial

Quando se compara o trabalho realizado por dois corpos eletrizados, automaticamente está se comparando os seus potenciais elétricos. A diferença entre os trabalhos expressa diretamente a diferença de potencial elétrico entre esses dois corpos.

A diferença de potencial (abreviada para ddp) existe entre corpos eletrizados com cargas **diferentes** ou com o **mesmo** tipo de carga.



A diferença de potencial elétrico entre dois corpos eletrizados também é denominada de **tensão elétrica**, importantíssima nos estudos relacionados à eletricidade e à eletrônica.

**Observação**

No campo da eletrônica e da eletricidade, utiliza-se exclusivamente a palavra **tensão** para indicar a **ddp** ou **tensão elétrica**.

**Unidade de medida de tensão elétrica**

A tensão (ou ddp) entre dois pontos pode ser medida por meio de instrumentos. A unidade de medida de tensão é o **volt**, que é representado pelo símbolo **V**.

Como qualquer outra unidade de medida, a unidade de medida de tensão (volt) também tem múltiplos e submúltiplos adequados a cada situação. Veja tabela a seguir:

Denominação		Símbolo	Valor com relação ao volt
Unidade	megavolt	MV	$10^6V$ ou 1000000V
	quilovolt	kV	$10^3V$ ou 1000V
	volt	V	-
	milivolt	mV	$10^{-3}V$ ou 0,001V
	microvolt	$\mu V$	$10^{-6}V$ ou 0,000001V



## Pilha ou bateria elétrica

A existência de tensão é imprescindível para o funcionamento dos aparelhos elétricos. Para que eles funcionem, foram desenvolvidos dispositivos capazes de criar um desequilíbrio elétrico entre dois pontos, dando origem a uma tensão elétrica.

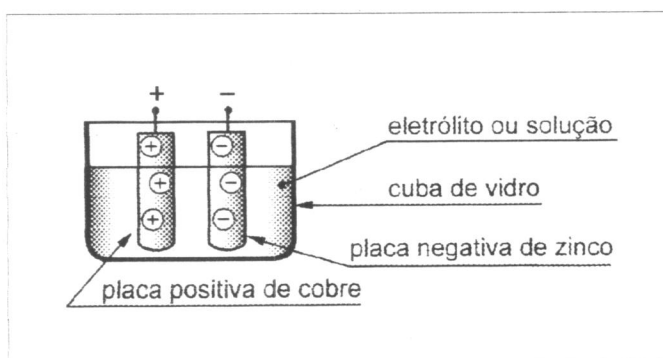


Genericamente esses dispositivos são chamados fontes geradoras de tensão. As pilhas, baterias ou acumuladores e geradores são exemplos desse tipo de fonte.

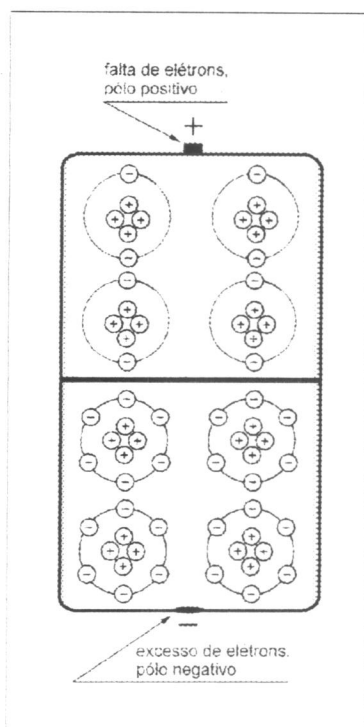
As pilhas são fontes geradoras de tensão constituídas por dois tipos de metais mergulhados em um preparado químico.

Esse preparado químico reage com os metais, retirando elétrons de um e levando para o outro. Um dos metais fica com potencial elétrico positivo e o outro fica com potencial elétrico negativo.

Entre os dois metais existe portanto uma **ddp** ou uma **tensão elétrica**.



A ilustração a seguir representa esquematicamente as polaridades de uma pilha em relação aos elétrons.



Pela própria característica do funcionamento das pilhas, um dos metais torna-se positivo e o outro negativo. Cada um dos metais é chamado pólo. Portanto, as pilhas dispõem de um pólo positivo e um pólo negativo. Esses pólos nunca se alteram, o que faz com que a polaridade da pilha seja invariável.

Daí a tensão fornecida chamar-se tensão contínua ou tensão CC, que é a tensão elétrica entre dois pontos de polaridades invariáveis.

A tensão fornecida por uma pilha comum não depende de seu tamanho pequeno, médio ou grande nem de sua utilização nesse ou naquele aparelho. É sempre uma tensão contínua de aproximadamente 1,5V.





---

# Geração de energia elétrica

Como já vimos, a eletrostática é a parte da eletricidade que estuda a eletricidade estática. Esta, por sua vez, refere-se às cargas armazenadas em um corpo, ou seja, sua energia potencial.

Por outro lado, a eletrodinâmica estuda a eletricidade dinâmica que se refere ao movimento dos elétrons livres de um átomo para outro.

Para haver movimento dos elétrons livres em um corpo, é necessário aplicar nesse corpo uma tensão elétrica. Essa tensão resulta na formação de um polo com excesso de elétrons denominado pólo negativo e de outro com falta de elétrons denominado de pólo positivo. Essa tensão é fornecida por uma fonte geradora de eletricidade.

## Fontes geradoras de energia elétrica

A existência da tensão é condição fundamental para o funcionamento de todos os aparelhos elétricos. As fontes geradoras são os meios pelos quais se pode fornecer a tensão necessária ao funcionamento desses consumidores.

Essas fontes geram energia elétrica de vários modos:

- Por ação térmica;
- Por ação da luz;
- Por ação mecânica;
- Por ação química;
- Por ação magnética.

## Geração de energia elétrica por ação térmica

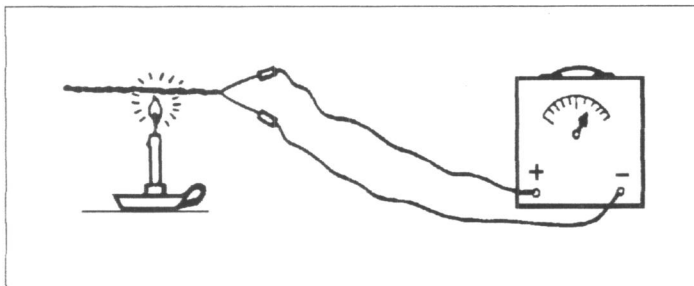
Pode-se obter energia elétrica por meio do aquecimento direto da junção de dois metais diferentes.

Por exemplo, se um fio de cobre e outro de constantan (liga de cobre e níquel) forem unidos por uma de suas extremidades e se esses fios forem aquecidos nessa junção, aparecerá uma tensão elétrica nas outras extremidades.

Isso acontece porque o aumento da temperatura acelera a movimentação dos elétrons livres e faz com que eles passem de um material para outro, causando uma diferença de potencial.

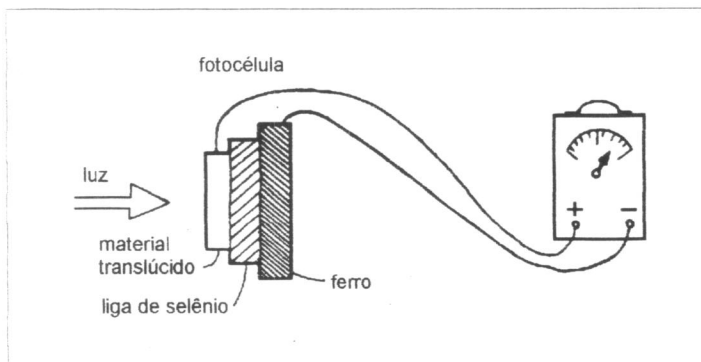
À medida que aumentamos a temperatura na junção, aumenta também o valor da tensão elétrica na outra extremidade.

Esse tipo de geração de energia elétrica por ação térmica é utilizado num dispositivo chamado par termoeletrico, usado como elemento sensor nos pirômetros que são aparelhos usados para medir temperatura de fornos industriais.



### Geração de energia elétrica por ação de luz

Para gerar energia elétrica por ação da luz, utiliza-se o efeito fotoelétrico. Esse efeito ocorre quando irradiações luminosas atingem um fotoelemento. Isso faz com que os elétrons livres da camada semicondutora se desloquem até seu anel metálico.



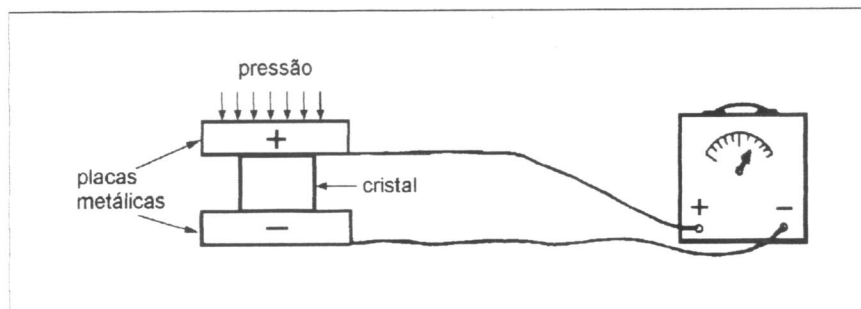
Dessa forma, o ânodo se torna negativo e a placa-base, positiva. Enquanto dura a incidência da luz, uma tensão aparece entre as placas.

O uso mais comum desse tipo de célula fotoelétrica é no armazenamento de energia elétrica em acumuladores e baterias solares.

### **Geração de energia elétrica por ação mecânica**

Alguns cristais, como o quartzo, a turmalina e os sais de Rochelle, quando submetidos a ações mecânicas como compressão e torção, desenvolvem uma diferença de potencial.

Se um cristal de um desses materiais for colocado entre duas placas metálicas e sobre elas for aplicada uma variação de pressão, obteremos uma ddp produzida por essa variação. O valor da diferença de potencial dependerá da pressão exercida sobre o conjunto.



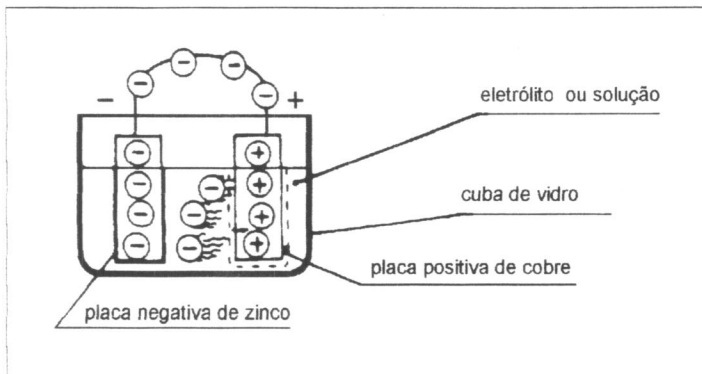
Os cristais como fonte de energia elétrica são largamente usados em equipamentos de pequena potência como toca-discos, por exemplo. Outros exemplos são os isqueiros chamados de "eletrônicos" e os acendedores do tipo Magiclick.

### **Geração de energia elétrica por ação química**

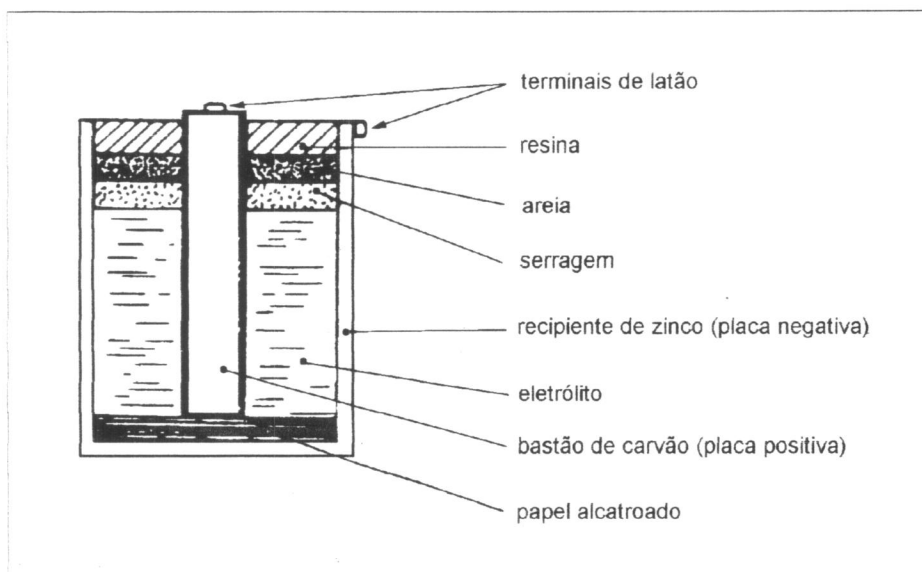
Outro modo de se obter eletricidade é por meio da ação química. Isso acontece da seguinte forma: dois metais diferentes como cobre e zinco são colocados dentro de uma solução química (ou eletrólito) composta de sal ( $H_2O + NaCl$ ) ou ácido sulfúrico ( $H_2O + H_2SO_4$ ), constituindo-se de uma célula primária.

A reação química entre o eletrólito e os metais vai retirando os elétrons do zinco. Estes passam pelo eletrólito e vão se depositando no cobre.

Dessa forma, obtém-se uma diferença de potencial, ou tensão, entre os bornes ligados no zinco (negativo) e no cobre (positivo).



A pilha de lanterna funciona segundo o princípio da célula primária que acabamos de descrever. Ela é constituída basicamente por dois tipos de materiais em contato com um preparado químico.

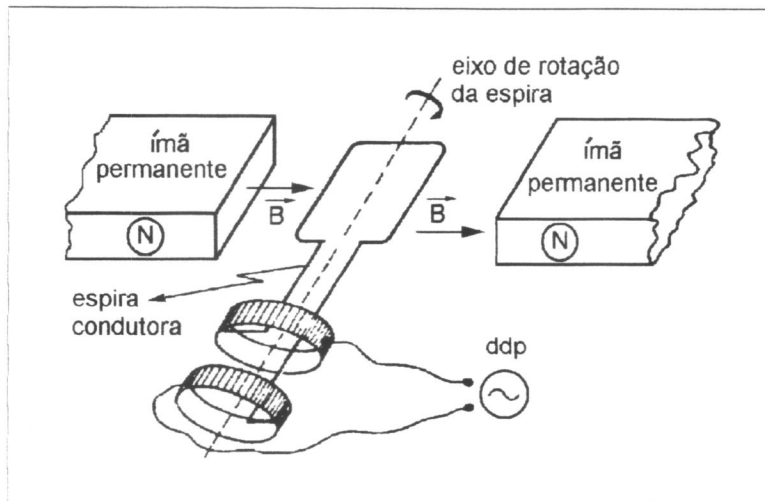


#### Geração de energia elétrica por ação magnética

O método mais comum de produção de energia elétrica em larga escala é por ação magnética.

A eletricidade gerada por ação magnética é produzida quando um condutor é movimentado dentro do raio de ação de um campo magnético.

Isso cria uma ddp que aumenta ou diminui com o aumento ou a diminuição da velocidade do condutor ou da intensidade do campo magnético.



A tensão gerada por este método é chamada de tensão alternada, pois suas polaridades são variáveis, ou seja, se alternam.

Os alternadores e dinamos são exemplos de fontes geradoras que produzem energia elétrica segundo o princípio que acaba de ser descrito.



---

# Corrente elétrica

A eletricidade está presente diariamente em nossa vida, seja na forma de um relâmpago seja no simples ato de ligar uma lâmpada. À nossa volta fluem cargas elétricas que produzem luz, som, calor.

Para entender como são obtidos tais efeitos é preciso, em primeiro lugar, compreender o movimento das cargas elétricas e suas particularidades.

Este capítulo vai tratar do conceito de fluxo das cargas elétricas. Vai tratar também das grandezas que medem a corrente.

Para desenvolver os conteúdos e atividades aqui apresentadas você já deverá ter conhecimentos anteriores sobre estrutura da matéria, e diferença de potencial entre dois pontos.

## Corrente elétrica

A corrente elétrica consiste em um movimento orientado de cargas, provocado pelo desequilíbrio elétrico (ddp) entre dois pontos.

A corrente elétrica é a forma pela qual os corpos eletrizados procuram restabelecer o equilíbrio elétrico.

Para que haja corrente elétrica, é necessário que haja ddp e que o circuito esteja fechado. Logo, pode-se afirmar que existe tensão sem corrente, mas nunca existirá corrente sem tensão. Isso acontece porque a tensão orienta as cargas elétricas.

O símbolo para representar a intensidade da corrente elétrica é a letra  $I$ .

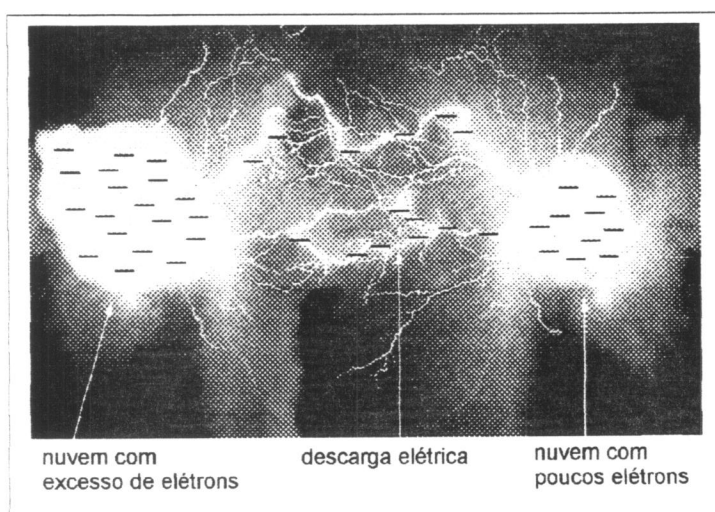
## Descargas elétricas

Como já foi estudado, as descargas elétricas são fenômenos comuns na natureza.

O relâmpago, por exemplo, é um exemplo típico de descarga elétrica.

O atrito contra o ar faz com que as nuvens fiquem altamente eletrizadas e adquiram um potencial elevado.

Quando duas nuvens com potencial elétrico **diferente** se aproximam, ocorre uma descarga elétrica, ou seja, um relâmpago.



O que ocorre não passa de uma **transferência orientada** de cargas elétricas de uma nuvem para outra.

Durante a descarga, numerosas cargas elétricas são transferidas, numa única direção, para diminuir o desequilíbrio elétrico entre dois pontos. Os elétrons em **excesso** em uma nuvem deslocam-se para a nuvem que tem **poucos** elétrons.

Como já foi visto, também, o deslocamento de cargas elétricas entre dois pontos onde existe ddp é chamado de corrente elétrica. Desse modo, explica-se o relâmpago como uma **corrente elétrica** provocada pela tensão elétrica existente entre duas nuvens.

Durante o curto tempo de duração de um relâmpago, grande quantidade de cargas elétricas flui de uma nuvem para outra. Dependendo da grandeza do desequilíbrio elétrico entre as duas nuvens, a corrente elétrica, ou seja, a descarga elétrica entre elas pode ter maior ou menor intensidade.



### Unidade de medida de corrente

Corrente é uma grandeza elétrica e, como toda a grandeza, pode ter sua intensidade medida por meio de instrumentos. A unidade de medida da intensidade da corrente elétrica é o **ampère**, que é representado pelo símbolo **A**.

Como qualquer outra unidade de medida, a unidade da corrente elétrica tem múltiplos e submúltiplos adequados a cada situação. Veja tabela a seguir.

Denominação		Símbolo	Valor com relação ao ampère
Múltiplo	Quiloampère	kA	$10^3$ A ou 1000 A
Unidade	Ampère	A	-
Submúltiplos	Miliampère	mA	$10^{-3}$ A ou 0,001 A
	Microampère	$\mu$ A	$10^{-6}$ A ou 0,000001 A
	Nanoampère	nA	$10^{-9}$ A ou 0,000000001 A

### Observação

No campo da eletrônica empregam-se mais os termos ampère (A), miliampère (mA) e o microampère ( $\mu$ A). Faz-se a conversão de valores de forma semelhante a outras unidades de medida.

kA		A		mA		$\mu$ A		nA

Observe a seguir alguns exemplos de conversão.

a.  $1,2 \text{ A} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ mA}$

A				mA
1	2			

↑ (posição da vírgula)

A				mA
1	2	0	0	

↑ (nova posição da vírgula) ↑

**$1,2 \text{ A} = 1200 \text{ mA}$**

b.  $15 \mu\text{A} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ mA}$

mA				$\mu$ A
		1	5	

↑

mA				$\mu$ A
0	0	1	5	

↑

**$15 \mu\text{A} = 0,015 \text{ mA}$**

c.  $350 \text{ mA} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A}$

A				mA
	3	5	0	

↑

A				mA
0	3	5	0	

↑

**$350 \text{ mA} = 0,35 \text{ A}$**

## Amperímetro

Para medir a intensidade de corrente, usa-se o amperímetro. Além do amperímetro, usam-se também os instrumentos a seguir:

- Miliamperímetro: para correntes da ordem de miliampères;
- Microamperímetro: para correntes da ordem de microampères;

## Corrente contínua

A corrente elétrica é o movimento de cargas elétricas. Nos materiais sólidos, as cargas que se movimentam são os elétrons; nos líquidos e gases o movimento pode ser de elétrons ou íons positivos.

Quando o movimento de cargas elétricas formadas por íons ou elétrons ocorre sempre em um sentido, a corrente elétrica é chamada de corrente contínua e é representada pela sigla **CC**.

# Circuitos elétricos

Empregamos a eletricidade das mais diversas formas. A partir da energia elétrica movimentam-se motores, acendem-se luzes, produz-se calor. Embora os efeitos sejam os mais diversos, todas as aplicações da eletricidade têm um ponto em comum: implicam na existência de um circuito elétrico.

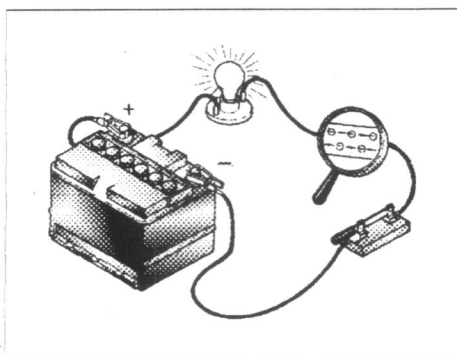
Portanto, o circuito elétrico é indispensável para que a energia elétrica possa ser utilizada. Conhecer e compreender suas características é fundamental para assimilar os próximos conteúdos a serem estudados.

Este capítulo vai tratar das particularidades e das funções dos componentes do circuito elétrico. Ao estudá-lo, você será capaz de reconhecer um circuito elétrico, identificar seus componentes e representá-los com símbolos.

Para acompanhar bem os conteúdos e atividades deste capítulo, é preciso que você já conheça a estrutura da matéria; corrente e resistência elétrica.

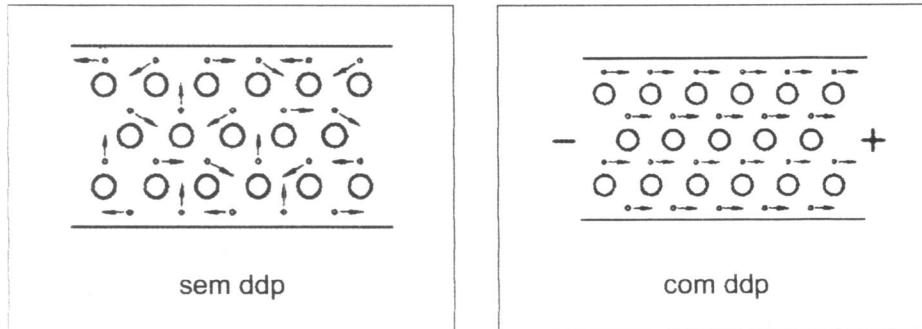
## Materiais condutores

Os materiais condutores caracterizam-se por permitirem a existência de corrente elétrica toda a vez que se aplica uma ddp entre suas extremidades. Eles são empregados em todos os dispositivos e equipamentos elétricos e eletrônicos.



Existem materiais sólidos, líquidos e gasosos que são condutores elétricos. Entretanto, na área da eletricidade e eletrônica, os materiais sólidos são os mais importantes.

As cargas elétricas que se movimentam no interior dos materiais sólidos são os **elétrons livres**.

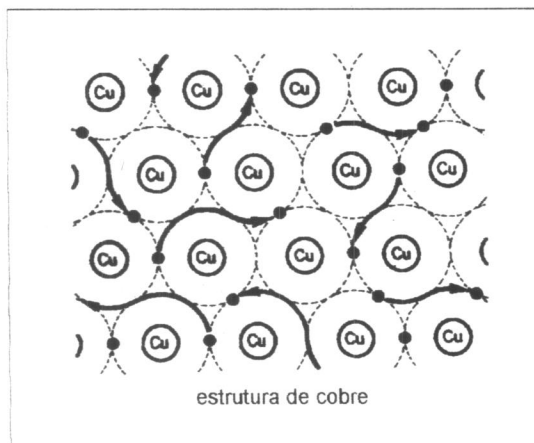


Como já vimos, os elétrons livres que se movimentam **ordenadamente** formam a **corrente elétrica**.

O que faz um material sólido ser condutor de eletricidade é a intensidade de atração entre o núcleo e os elétrons livres. Assim, quanto **menor** for a atração, **maior** será sua capacidade de deixar fluir a corrente elétrica.

Os metais são excelentes condutores de corrente elétrica, porque os elétrons da última camada da eletrosfera (elétrons de valência) estão **fracamente** ligados ao núcleo do átomo. Por causa disso, desprendem-se com facilidade o que permite seu movimento ordenado.

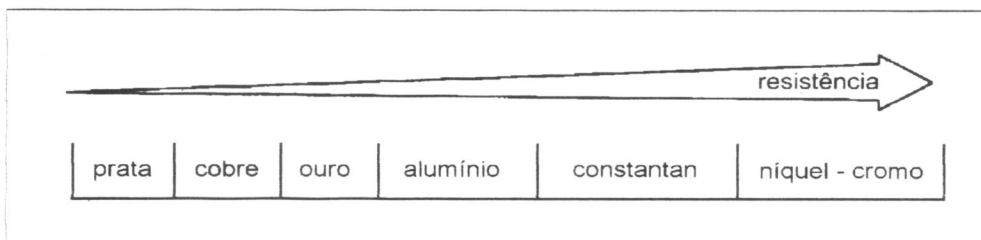
Vamos tomar como exemplo a estrutura atômica do cobre. Cada átomo de cobre tem 29 elétrons; desses apenas um encontra-se na última camada. Esse elétron desprende-se do núcleo do átomo e vaga livremente no interior do material.



A estrutura química do cobre compõe-se, pois, de numerosos núcleos fixos, rodeados por elétrons livres que se movimentam intensamente de um núcleo para o outro.

A intensa mobilidade ou liberdade de movimentação dos elétrons no interior da estrutura química do cobre faz dele um material de grande condutividade elétrica. Assim, os bons condutores são também materiais com baixa resistência elétrica.

O quadro a seguir mostra, em ordem crescente, a resistência elétrica de alguns materiais condutores.

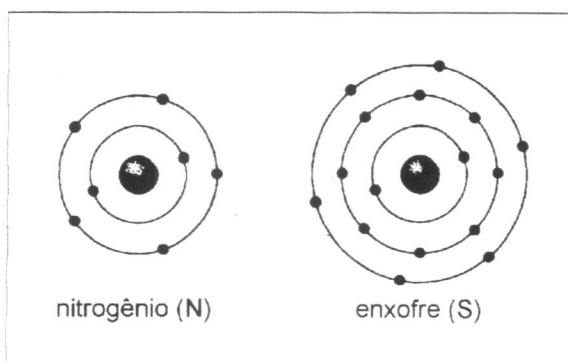


Depois da prata, o cobre é considerado o melhor condutor elétrico. Ele é o metal mais usado na fabricação de condutores para instalações elétricas.

### Materiais isolantes

Materiais isolantes são os que apresentam forte oposição à circulação de corrente elétrica no interior de sua estrutura. Isso acontece porque os elétrons livres dos átomos que compõem a estrutura química dos materiais isolantes são **fortemente ligados** a seus núcleos e dificilmente são liberados para a circulação.

A estrutura atômica dos materiais isolantes compõe-se de átomos com cinco ou mais elétrons na última camada energética.



Em condições anormais, um material isolante pode tornar-se condutor. Esse fenômeno chama-se **ruptura dielétrica**. Ocorre quando grande quantidade de energia transforma um material normalmente isolante em condutor. Essa carga de energia aplicada ao material é tão elevada que os elétrons, normalmente presos aos núcleos dos átomos, são arrancados das órbitas, provocando a circulação de corrente.

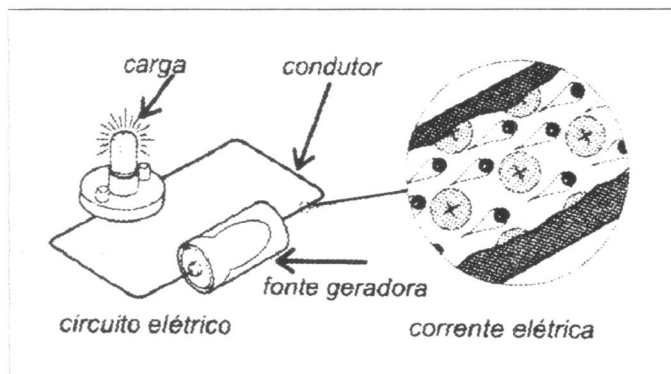
A formação de faíscas no desligamento de um interruptor elétrico é um exemplo típico de ruptura dielétrica. A tensão elevada entre os contatos no momento da abertura fornece uma grande quantidade de energia que provoca a ruptura dielétrica do ar, gerando a faísca.

### Circuito elétrico

O circuito elétrico é o caminho **fechado** por onde circula a corrente elétrica. Dependendo do efeito desejado, o circuito elétrico pode fazer a eletricidade assumir as mais diversas formas: luz, som, calor, movimento.

O circuito elétrico mais simples que se pode montar constitui-se de três componentes:

- Fonte geradora;
- Carga;
- Condutores.



Todo o circuito elétrico necessita de uma fonte geradora. A **fonte geradora** fornece a tensão necessária à existência de corrente elétrica. A bateria, a pilha e o alternador são exemplos de fontes geradoras.

A **carga** é também chamada de **consumidor** ou **receptor** de energia elétrica. É o componente do circuito elétrico que transforma a energia elétrica fornecida pela fonte geradora em outro tipo de energia. Essa energia pode ser mecânica, luminosa, térmica, sonora.

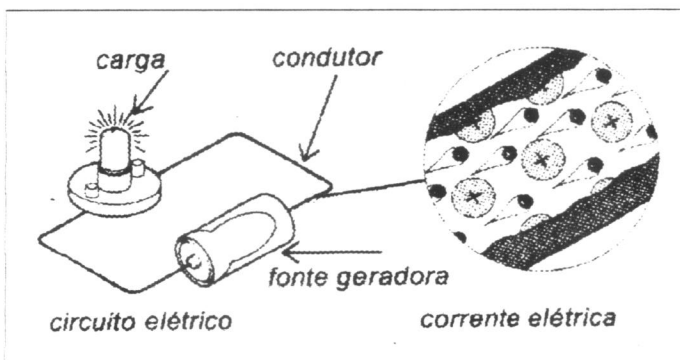
Exemplos de cargas são as lâmpadas que transformam energia elétrica em energia luminosa; o motor que transforma energia elétrica em energia mecânica; o rádio que transforma energia elétrica em sonora.

### Observação

Um circuito elétrico pode ter uma ou mais cargas associadas.

Os **condutores** são o elo de ligação entre a **fonte geradora** e a **carga**. Servem de meio de transporte da corrente elétrica.

Uma lâmpada, ligada por condutores a uma pilha, é um exemplo típico de circuito elétrico simples, formado por três componentes.

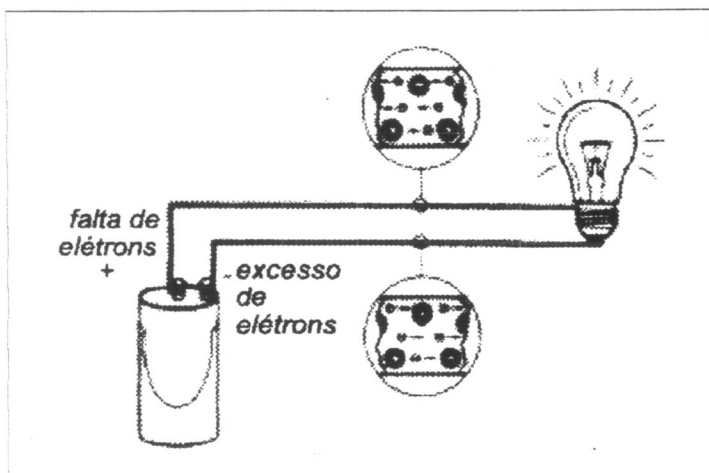


A lâmpada traz no seu interior uma resistência, chamada filamento. Ao ser percorrida pela corrente elétrica, essa resistência fica incandescente e gera luz. O filamento recebe a tensão através dos terminais de ligação.

E quando se liga a lâmpada à pilha, por meio de condutores, forma-se um circuito elétrico.

Os elétrons, em excesso no pólo negativo da pilha, movimentam-se pelo condutor e pelo filamento da lâmpada, em direção ao pólo positivo da pilha.

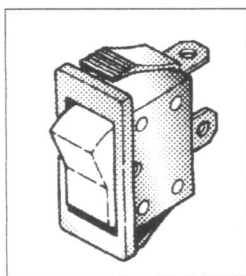
A figura a seguir ilustra o movimento dos elétrons livres. Esses elétrons saem do pólo negativo, passam pela lâmpada e dirigem-se ao pólo positivo da pilha.



Enquanto a pilha for capaz de manter o excesso de elétrons no pólo negativo e a falta de elétrons no pólo positivo, haverá corrente elétrica no circuito; e a lâmpada continuará acesa.

Além da fonte geradora, do consumidor e condutor, o circuito elétrico possui um componente adicional chamado de **interruptor** ou **chave**.

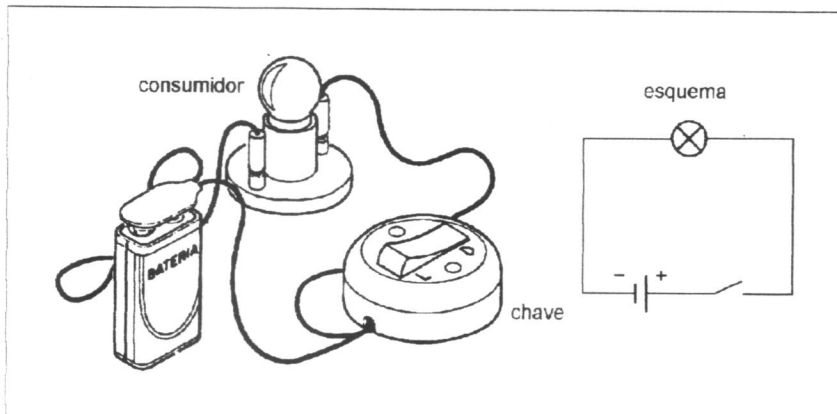
A função desse componente é **comandar** o funcionamento dos circuitos elétricos.



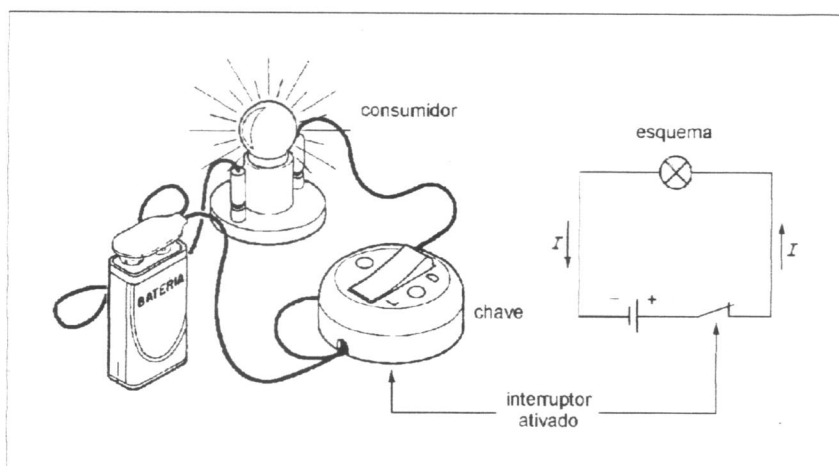
Quando aberto ou desligado, o interruptor provoca uma abertura em um dos condutores.



Nesta condição, o circuito elétrico não corresponde a um caminho fechado, porque um dos pólos da pilha (positivo) está desconectado do circuito, e não há circulação da corrente elétrica.



Quando o interruptor está ligado, seus contatos estão fechados, tornando-se um condutor de corrente contínua. Nessa condição, o circuito é novamente um caminho fechado por onde circula a corrente elétrica.



### Sentido da corrente elétrica

Antes que se compreendesse de forma mais científica a natureza do fluxo de elétrons, já se utilizava a eletricidade para iluminação, motores e outras aplicações. Nessa época, foi estabelecido por convenção, que a corrente elétrica se constituía de um movimento de cargas elétricas que fluía do pólo positivo para o pólo negativo da fonte geradora. Este sentido de circulação (do + para o -) foi denominado de **sentido convencional da corrente**.

Com o progresso dos recursos científicos usados explicar os fenômenos elétricos, foi possível verificar mais tarde, que nos condutores sólidos a corrente elétrica se constitui de elétrons em movimento do pólo negativo para o pólo positivo. Este sentido de circulação foi denominado de **sentido eletrônico da corrente**.

O sentido de corrente que se adota como referência para o estudo dos fenômenos elétricos (eletrônico ou convencional) não interfere nos resultados obtidos. Por isso, ainda hoje, encontram-se defensores de cada um dos sentidos.



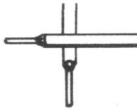

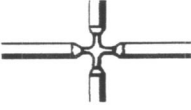


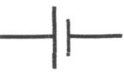
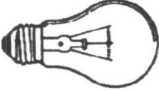



### Observação

Uma vez que toda a simbologia de componentes eletroeletrônicos foi desenvolvida a partir do sentido **convencional** da corrente elétrica, ou seja **do + para o -**, as informações deste material didático seguirão o modelo convencional: do **positivo** para o **negativo**.

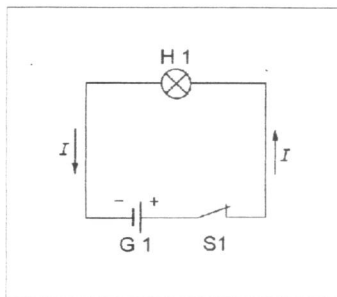
### Simbologia dos componentes de um circuito

Por facilitar a elaboração de esquemas ou diagramas elétricos, criou-se uma simbologia para representar graficamente cada componente num circuito elétrico.

A tabela a seguir mostra alguns símbolos utilizados e os respectivos componentes.

Designação	Figura	Símbolo
Condutor		
Cruzamento sem conexão		
Cruzamento com conexão		
Fonte, gerador ou bateria		
Lâmpada		
Interruptor		

O esquema a seguir representa um **circuito elétrico** formado por **lâmpada**, **condutores interruptor** e **pilha**. Deve-se observar que nele a corrente elétrica é representada por uma seta acompanhada pela letra **I**.



### Tipos de circuitos elétricos

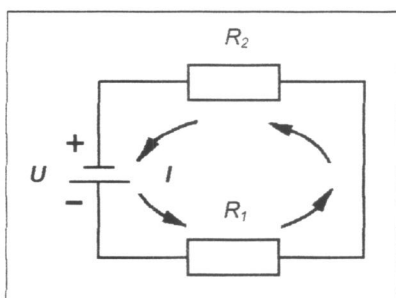
Os tipos de circuitos elétricos são determinados pela maneira como seus componentes são ligados. Assim, existem três tipos de circuitos:

- Série;
- Paralelo;
- Misto.

#### Circuito série

Circuito série é aquele cujos componentes (cargas) são ligados um após o outro.

Desse modo, existe um único caminho para a corrente elétrica que sai do pólo positivo da fonte, passa através do primeiro componente ( $R_1$ ), passa pelo seguinte ( $R_2$ ) e assim por diante até chegar ao pólo negativo da fonte. Veja representação esquemática do circuito série no diagrama a seguir.

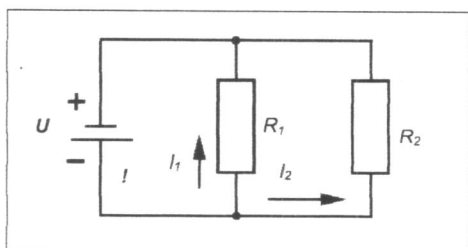


Num circuito série, o valor da corrente é **sempre** o **mesmo** em qualquer ponto do circuito. Isso acontece porque a corrente elétrica tem apenas **um** único caminho para percorrer.

Esse circuito também é chamado de **dependente** porque, se houver falha ou se qualquer um dos componentes for retirado do circuito, cessa a circulação da corrente elétrica.

### Circuito paralelo

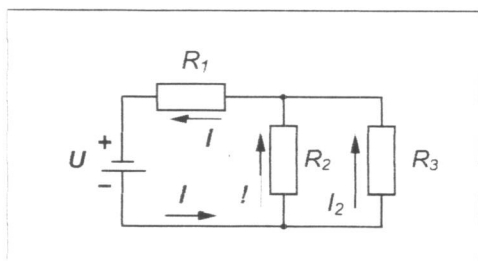
O circuito paralelo é aquele cujos componentes estão ligados em paralelo entre si.



No circuito paralelo, a corrente é **diferente** em cada ponto do circuito porque ela depende da resistência de cada componente à passagem da corrente elétrica e da tensão aplicada sobre ele. **Todos** os componentes ligados em paralelo recebem a **mesma** tensão.

### Circuito misto

No circuito misto, os componentes são ligados em série e em paralelo. Veja esquema a seguir.



No circuito misto, o componente  $R_1$  ligado em série, ao ser atravessado por uma corrente, causa uma queda de tensão porque é uma resistência. Assim sendo, os resistores  $R_2$  e  $R_3$  que estão ligados em paralelo, receberão a tensão da rede **menos** a queda de tensão provocada por  $R_1$ .

---

# Resistência elétrica

Nas lições anteriores, você aprendeu que para haver tensão, é necessário que haja uma diferença de potencial entre dois pontos. Aprendeu também, que corrente elétrica é o movimento orientado de cargas provocado pela ddp. Ela é a forma pela qual os corpos eletrizados procuram restabelecer o equilíbrio elétrico.

Além da ddp, para que haja corrente elétrica, é preciso que o circuito esteja fechado. Por isso, você viu que existe tensão sem corrente, mas não é possível haver corrente sem tensão.

Esta aula vai tratar do conceito de resistência elétrica. Vai tratar também das grandezas da resistência elétrica e seus efeitos sobre a circulação da corrente.

Para desenvolver os conteúdos e atividades aqui apresentadas você já deverá ter conhecimentos anteriores sobre estrutura da matéria, tensão e corrente.

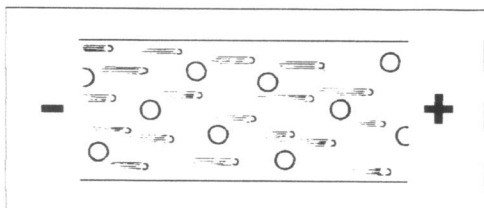
## Resistência elétrica

Resistência elétrica é a **oposição** que um material apresenta ao fluxo de corrente elétrica. Todos os dispositivos elétricos e eletrônicos apresentam certa oposição à passagem da corrente elétrica.

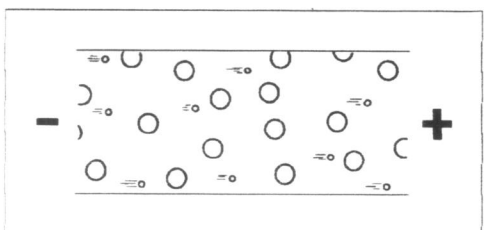
A resistência dos materiais à passagem da corrente elétrica tem origem na sua estrutura atômica.

Para que a aplicação de uma ddp a um material origine uma corrente elétrica, é necessário que a estrutura desse material permita a existência de elétrons livres para movimentação.

Quando os átomos de um material **liberam** elétrons livres entre si com facilidade, a corrente elétrica flui **facilmente** através dele. Nesse caso, a resistência elétrica desses materiais é **pequena**.



Por outro lado, nos materiais cujos átomos **não** liberam elétrons livres entre si com facilidade, a corrente elétrica flui com **dificuldade**, porque a resistência elétrica desses materiais é **grande**.



Portanto, a resistência elétrica de um material depende da facilidade ou da dificuldade com que esse material libera cargas para a circulação.

O efeito causado pela resistência elétrica tem muitas aplicações práticas em eletricidade e eletrônica. Ele pode gerar, por exemplo, o aquecimento no chuveiro, no ferro de passar, no ferro de soldar, no secador de cabelo. Pode gerar também iluminação por meio das lâmpadas incandescentes.

### Unidade de medida de resistência elétrica

A unidade de medida da resistência elétrica é o ohm, representado pela letra grega  $\Omega$  (Lê-se *ômega*). A tabela a seguir mostra os múltiplos do ohm, que são os valores usados na prática.

Denominação		Símbolo	Valor em relação à unidade
Múltiplo	megohm	M $\Omega$	$10^6 \Omega$ ou 1000000 $\Omega$
	quiloohm	k $\Omega$	$10^3 \Omega$ ou 1000 $\Omega$
Unidade	ohm	$\Omega$	—

Para fazer a conversão dos valores, emprega-se o mesmo procedimento usado para outras unidades de medida.

MΩ			kΩ			Ω

Observe a seguir alguns exemplos de conversão.

$$120 \Omega = \text{_____} \text{ k}\Omega$$

kΩ			Ω
	1	2	0

(posição da vírgula) ↑

kΩ			Ω
0	1	2	0

↑ (nova posição da vírgula)

$$120 \Omega = 0,12 \text{ k}\Omega$$

$$390 \text{ k}\Omega = \text{_____} \text{ M}\Omega$$

MΩ			kΩ
	3	9	0

↑

MΩ			kΩ
0	3	9	0

↑

$$390 \text{ k}\Omega = 0,39 \text{ M}\Omega$$

$$5,6 \text{ k}\Omega = \text{_____} \Omega$$

kΩ			Ω
5	6		

↑

kΩ			Ω
5	6	0	0

↑

$$5,6 \text{ k}\Omega = 5600 \Omega$$

$$470 \Omega = \text{_____} \text{ M}\Omega$$

MΩ			Ω
	4	7	0

↑

MΩ			kΩ			Ω
0	0	0	0	4	7	0

↑

$$470 \Omega = 0,00047 \text{ M}\Omega$$

### Observação

O instrumento de medição da resistência elétrica é o **ohmímetro** porém, geralmente, mede-se a resistência elétrica com o **multímetro**.

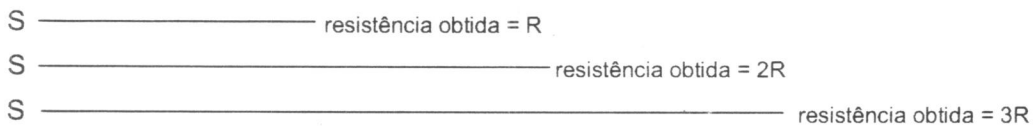
## Segunda Lei de Ohm

George Simon Ohm foi um cientista que estudou a resistência elétrica do ponto de vista dos elementos que têm influência sobre ela. Por esse estudo, ele concluiu que a resistência elétrica de um condutor depende fundamentalmente de quatro fatores a saber:

1. Material do qual o condutor é feito;
2. Comprimento (L) do condutor;
3. Área de sua seção transversal (S);
4. Temperatura no condutor.

Para que se pudesse analisar a influência de cada um desses fatores sobre a resistência elétrica, foram realizadas várias experiências variando-se apenas um dos fatores e mantendo constantes os três restantes.

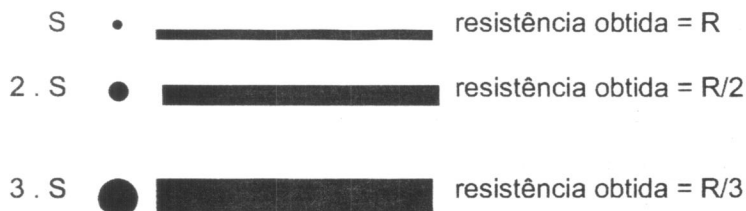
Assim, por exemplo, para analisar a influência do **comprimento** do condutor, manteve-se constante o tipo de material, sua temperatura e a área da seção transversal e variou-se seu comprimento.



Com isso, verificou-se que a resistência elétrica **aumentava** ou **diminuí**a na **mesma proporção** em que aumentava ou diminuía o comprimento do condutor.

Isso significa que: “A resistência elétrica é **diretamente** proporcional ao comprimento do condutor”.

Para verificar a influência da **seção transversal**, foram mantidos constantes o comprimento do condutor, o tipo de material e sua temperatura, variando-se apenas sua seção transversal.

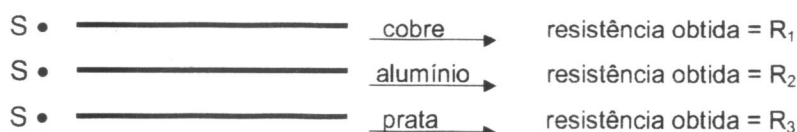




Desse modo, foi possível verificar que a resistência elétrica **diminuiu** à medida que se **umentava a seção transversal** do condutor. Inversamente, a resistência elétrica **umentava**, quando se diminuía a seção transversal do condutor.

Isso levou à conclusão de que: "A resistência elétrica de um condutor é **inversamente proporcional** à sua área de seção transversal".

Mantidas as constantes de comprimento, seção transversal e temperatura, variou-se o tipo de material:



Utilizando-se materiais diferentes, verificou-se que não havia relação entre eles. Com o mesmo material, todavia, a resistência elétrica mantinha sempre o mesmo valor.

A partir dessas experiências, estabeleceu-se uma constante de proporcionalidade que foi denominada de **resistividade elétrica**.

### Resistividade elétrica

Resistividade elétrica é a resistência elétrica específica de um certo condutor com 1 metro de comprimento, 1 mm<sup>2</sup> de área de seção transversal, medida em temperatura ambiente constante de 20°C.

A unidade de medida de resistividade é o Ω mm<sup>2</sup>/m, representada pela letra grega ρ (lê-se "rô").

A tabela a seguir apresenta alguns materiais com seu respectivo valor de resistividade.

Material	ρ (Ω mm <sup>2</sup> /m) a 20°C
Alumínio	0,0278
Cobre	0,0173
Estanho	0,1195
Ferro	0,1221
Níquel	0,0780
Zinco	0,0615
Chumbo	0,21
Prata	0,0062
ouvro	0,021

Diante desses experimentos, George Simon OHM estabeleceu a sua segunda lei que diz que:

*“A resistência elétrica de um condutor é diretamente proporcional ao produto da resistividade específica pelo seu comprimento, e inversamente proporcional à sua área de seção transversal.”*

Matematicamente, essa lei é representada pela seguinte equação:

$$R = \frac{\rho \cdot L}{S}$$

Nela, **R** é a resistência elétrica expressa em  $\Omega$ ; **L** é o comprimento do condutor em metros (m); **S** é a área de seção transversal do condutor em milímetros quadrados ( $\text{mm}^2$ ) e  $\rho$  é a resistividade elétrica do material em  $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ .

### **Influência da temperatura sobre a resistência**

Como já foi visto, a resistência elétrica de um condutor depende do tipo de material de que ele é constituído e da mobilidade das partículas em seu interior.

Na maior parte dos materiais, o aumento da temperatura significa maior resistência elétrica. Isso acontece porque com o aumento da temperatura, há um aumento da agitação das partículas que constituem o material, aumentando as colisões entre as partículas e os elétrons livres no interior do condutor.

Isso é particularmente verdadeiro no caso dos metais e suas ligas. Neste caso, é necessário um grande aumento na temperatura para que se possa notar uma pequena variação na resistência elétrica. É por esse motivo que eles são usados na fabricação de resistores.

Conclui-se, então, que em um condutor, a variação na resistência elétrica relacionada ao aumento de temperatura depende **diretamente** da variação de resistividade elétrica própria do material com o qual o condutor é fabricado.

Assim, uma vez conhecida a resistividade do material do condutor em uma determinada temperatura, é possível determinar seu novo valor em uma nova temperatura. Matematicamente faz-se isso por meio da expressão:

$$\rho_f = \rho_o \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\theta)$$

Nessa expressão,  $\rho_f$  é a resistividade do material na temperatura final em  $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ;  $\rho_o$  é a resistividade do material na temperatura inicial (geralmente  $20^\circ \text{C}$ ) em  $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ;  $\alpha$  é o coeficiente de temperatura do material (dado de tabela) e  $\Delta\theta$  é a variação de temperatura, ou seja, temperatura final - temperatura inicial, em  $^\circ\text{C}$ .

A tabela a seguir mostra os valores de coeficiente de temperatura dos materiais que correspondem à variação da resistência elétrica que o condutor do referido material com resistência de  $1\Omega$  sofre quando a temperatura varia de  $1^\circ\text{C}$ .

Material	Coeficiente de temperatura $\alpha$ ( $^\circ\text{C}^{-1}$ )
Cobre	0,0039
Alumínio	0,0032
Tungstênio	0,0045
Ferro	0,005
Prata	0,004
Platina	0,003
Nicromo	0,0002
Constantan	0,00001

Como exemplo, vamos determinar a resistividade do cobre na temperatura de  $50^\circ\text{C}$ , sabendo-se que à temperatura de  $20^\circ\text{C}$ , sua resistividade corresponde a  $0,0173 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ .

$$\rho_o = 0,0173$$

$$\alpha$$
 ( $^\circ\text{C}^{-1}$ ) =  $0,0039 \cdot (50 - 20)$

$$\rho_f = ?$$

Como  $\rho_f = \rho_o \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\theta)$ , então:

$$\rho_f = 0,0173 \cdot (1 + 0,0039 \cdot (50 - 20))$$

$$\rho_f = 0,0173 \cdot (1 + 0,0039 \cdot 30)$$

$$\rho_f = 0,0173 \cdot (1 + 0,117)$$

$$\rho_f = 0,0173 \cdot 1,117$$

$$\rho_f = \mathbf{0,0193 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}}$$



# Associação de resistências

As resistências entram na constituição da maioria dos circuitos eletrônicos formando associações de resistências.

É importante, pois, conhecer os tipos e características elétricas destas associações, que são a base de qualquer atividade ligada à eletroeletrônica.

Esse capítulo vai ajudá-lo a identificar os tipos de associação e determinar suas resistências equivalentes. Para entender uma associação de resistências, é preciso que você já conheça o que são resistências.

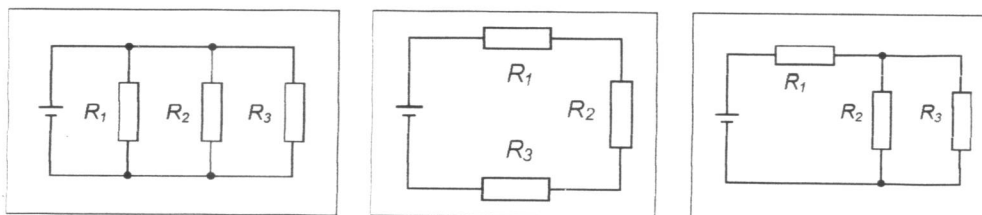
## Associação de resistências

Associação de resistências é uma reunião de duas ou mais resistências em um circuito elétrico, considerando-se resistência como qualquer dificuldade à passagem da corrente elétrica.

Na associação de resistências é preciso considerar duas coisas: os **terminais** e os **nós**. **Terminais** são os pontos da associação conectados à fonte geradora. **Nós** são os pontos em que ocorre a interligação de três ou mais resistências.

## Tipos de associação de resistências

As resistências podem ser associadas de modo a formar diferentes circuitos elétricos, conforme mostram as figuras a seguir.



### Observação

A porção do circuito que liga dois nós consecutivos é chamada de **ramo** ou **braço**.

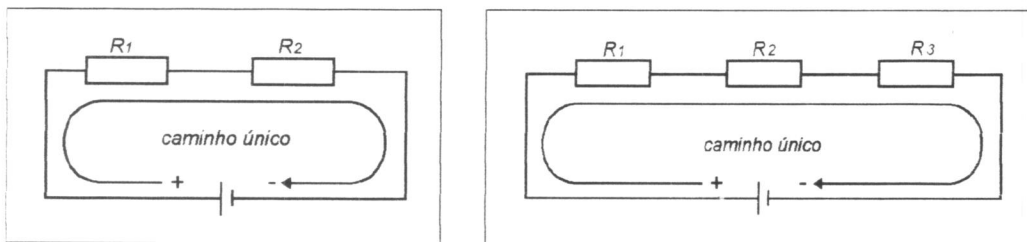
Apesar do número de associações diferentes que se pode obter interligando resistências em um circuito elétrico, todas essas associações classificam-se a partir de três designações básicas:

- Associação em série;
- Associação em paralelo;
- Associação mista.

Cada um desses tipos de associação apresenta características específicas de comportamento elétrico.

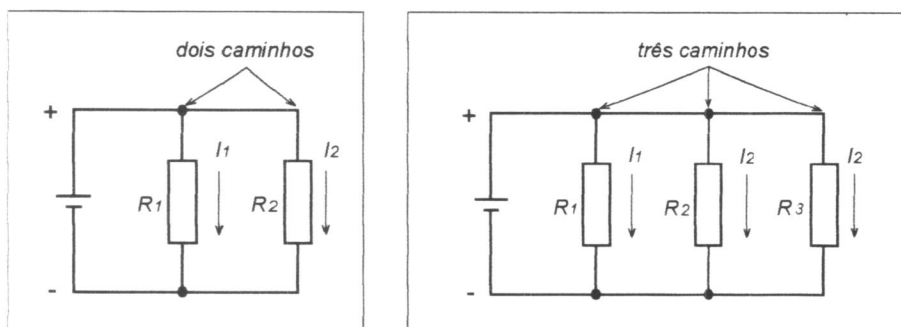
### Associação em série

Nesse tipo de associação, as resistências são interligadas de forma que exista apenas um caminho para a circulação da corrente elétrica entre os terminais.



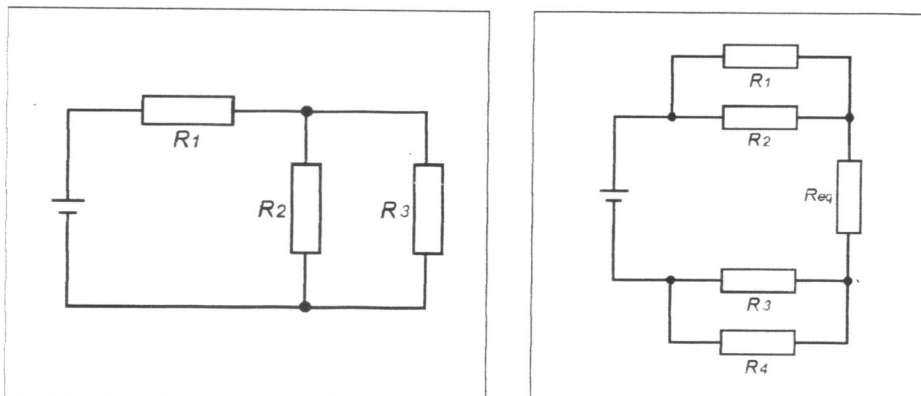
### Associação em paralelo

Trata-se de uma associação em que os terminais das resistências estão interligados de forma que exista **mais de um caminho** para a circulação da corrente elétrica.



### Associação mista

É a associação que se compõe por grupos de resistências **em série** e **em paralelo**.



### Resistência equivalente de uma associação série

Quando se associam resistências, a resistência elétrica entre os terminais é diferente das resistências individuais. Por essa razão, a resistência de uma associação de resistências recebe uma denominação específica: **resistência total** ou **resistência equivalente** ( $R_{eq}$ ).

A resistência equivalente de uma associação depende das resistências que a compõem e do tipo de associação. Ao longo de todo o circuito, a resistência total é a **soma** das resistências parciais.

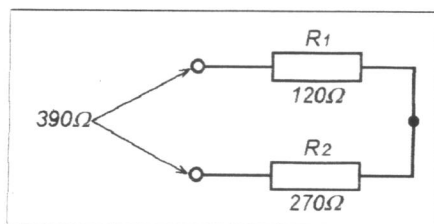
Matematicamente, obtém-se a resistência equivalente da associação em série pela seguinte fórmula:

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

### Convenção

$R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$  são os valores ôhmicos das resistências associadas em série.

Vamos tomar como exemplo de associação em série uma resistência de  $120 \Omega$  e outra de  $270 \Omega$ . Nesse caso, a resistência equivalente entre os terminais é obtida da seguinte forma:



$$R_{eq} = R_1 + R_2$$

$$R_{eq} = 120\Omega + 270\Omega$$

$$R_{eq} = 390\Omega$$

O valor da resistência equivalente de uma associação de resistências em série é sempre **maior** que a resistência de maior valor da associação.

### Resistência equivalente de uma associação em paralelo

Na associação em paralelo há **dois** ou **mais caminhos** para a circulação da corrente elétrica.

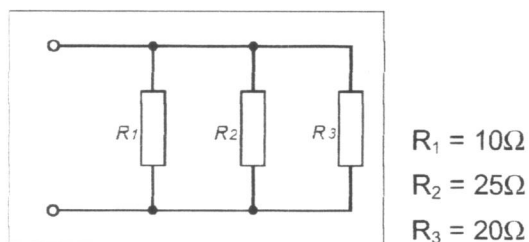
A resistência equivalente de uma associação **em paralelo** de resistências é dada pela equação:

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

### Convenção

$R_1, R_2, \dots, R_n$  são os valores ôhmicos das resistências associadas.

Vamos tomar como exemplo a associação em paralelo a seguir.



Para obter a resistência equivalente, basta aplicar a equação mostrada anteriormente, ou seja:

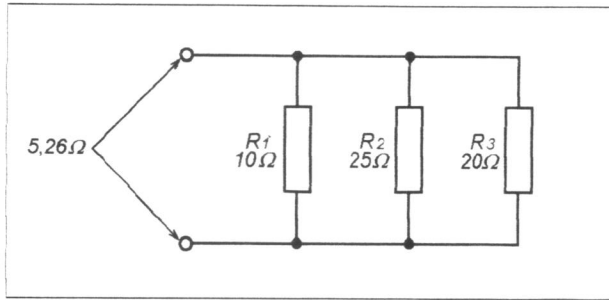
$$R_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}}$$

Desse modo temos:

$$R_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{10} + \frac{1}{25} + \frac{1}{20}} = \frac{1}{0,1 + 0,04 + 0,05} = \frac{1}{0,19} = 5,26$$



**Req = 5,26Ω**



O resultado encontrado comprova que a resistência equivalente da associação em paralelo (5,26Ω) é **menor** que a resistência de **menor** valor (10Ω).

Para associações em paralelo com apenas duas resistências, pode-se usar uma equação mais simples, deduzida da equação geral.

Tomando-se a equação geral, com apenas duas resistências, temos:

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

Invertendo ambos os membros, obtém-se:

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

Colocando o denominador comum no segundo membro, temos:

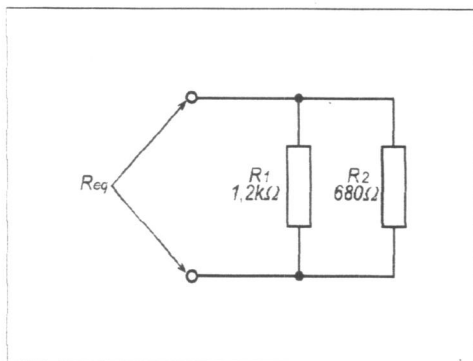
$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 \times R_2}$$

Invertendo os dois membros, obtemos:

$$R_{eq} = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

Portanto, R<sub>1</sub> e R<sub>2</sub> são os valores ôhmicos das resistências associadas.

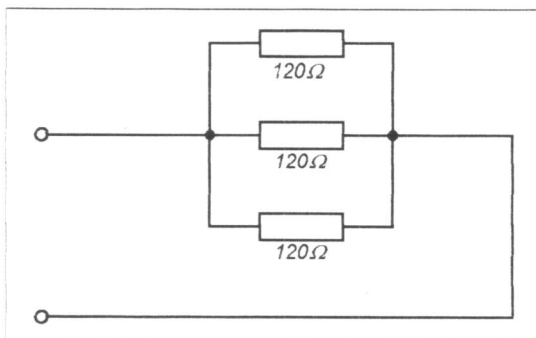
Observe no circuito a seguir um exemplo de associação em paralelo em que se emprega a fórmula para duas resistências.



$$R_{eq} = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} + \frac{1200 \times 680}{1200 + 680} = \frac{816000}{1880} = 434\Omega$$

**$R_{eq} = 434\Omega$**

Pode-se também associar em paralelo duas ou mais resistências, todas de mesmo valor.



Nesse caso, emprega-se uma terceira equação, específica para associações em paralelo na qual todas as resistências têm o **mesmo** valor. Esta equação também é deduzida da equação geral.

Vamos tomar a equação geral para "n" resistências. Nesse caso temos:

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

Como  $R_1, R_2, \dots$  e  $R_n$  têm o mesmo valor, podemos reescrever:

$$R_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \dots + \frac{1}{R}} = \frac{1}{n\left(\frac{1}{R}\right)}$$

Operando o denominador do segundo membro, obtemos:

$$R_{eq} = \frac{1}{\frac{n}{R}}$$

O segundo membro é uma divisão de frações. De sua resolução resulta:

$$R_{eq} = \frac{R}{n}$$

### Convenção

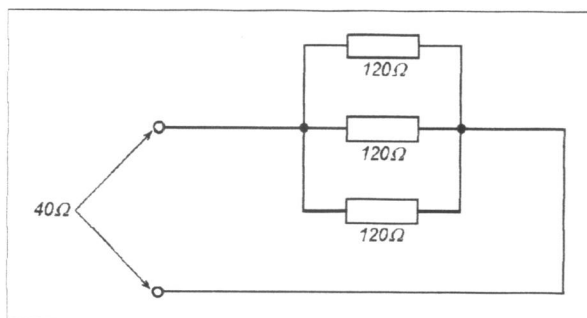
$R$  é o valor de uma resistência (todas têm o mesmo valor).

$n$  é o número de resistências de mesmo valor associadas em paralelo.

Portanto, as três resistências de  $120\Omega$  associadas em paralelo têm uma resistência equivalente a:

$$R_{eq} = \frac{R}{n} = \frac{120}{3} = 40\Omega$$

$$R_{eq} = 40\Omega$$

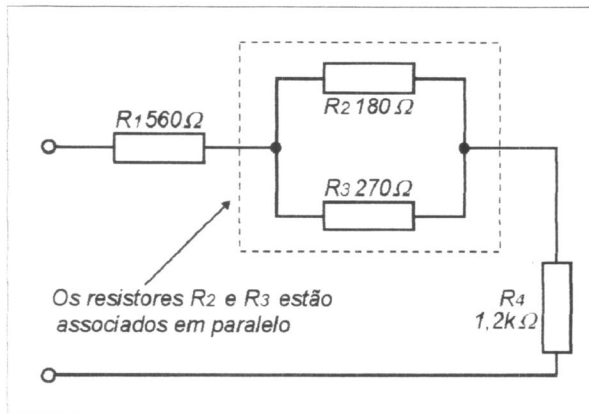


Desse modo, o valor da resistência equivalente de uma associação de resistências em paralelo é sempre **menor** que a resistência de menor valor da associação.

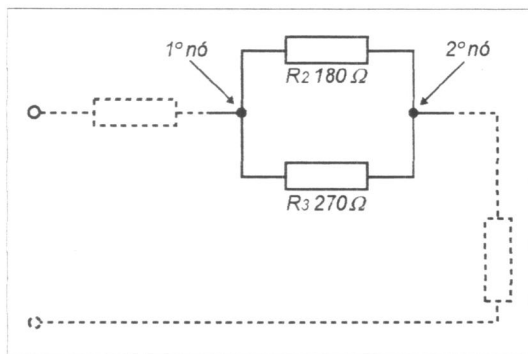
### Resistência equivalente de uma associação mista

Para determinar a resistência equivalente de uma associação mista, procede-se da seguinte maneira:

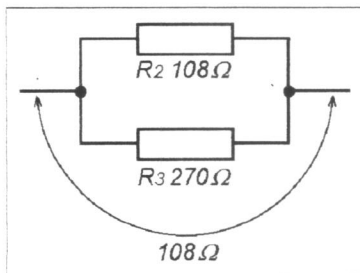
1. A partir dos nós, divide-se a associação em pequenas partes de forma que possam ser calculadas como associações em série ou em paralelo.



2. Uma vez identificados os nós, procura-se analisar como estão ligados as resistências entre cada dois nós do circuito. Nesse caso, as resistências  $R_2$  e  $R_3$  estão **em paralelo**.
3. Desconsidera-se, então, tudo o que está **antes** e **depois** desses nós e examina-se a forma como  $R_2$  e  $R_3$  estão associadas para verificar se se trata de uma associação em paralelo de duas resistências.



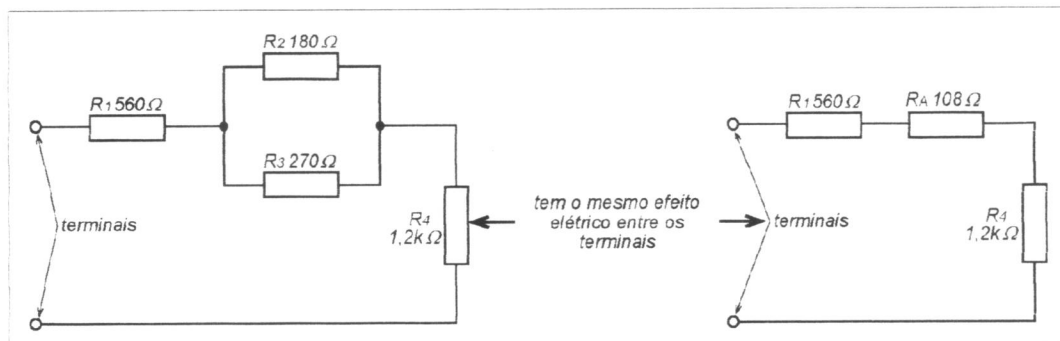
4. Determina-se então a Req dessas duas resistências associadas em paralelo, aplicando-se a fórmula a seguir.



$$R_{eq} = \frac{R_2 \times R_3}{R_2 + R_3} = \frac{180 \times 270}{180 + 270} = \frac{48600}{450} = 108 \Omega$$

Portanto, as resistências associadas  $R_2$  e  $R_3$  apresentam  $108 \Omega$  de resistência à passagem da corrente no circuito.

Se as resistências  $R_2$  e  $R_3$  em paralelo forem substituídos por uma resistência de  $108 \Omega$ , identificada por exemplo por  $R_A$ , o circuito não se altera.



Ao substituir a associação mista original, torna-se uma associação em série simples, constituída pelas resistências  $R_1$ ,  $R_A$  e  $R_4$ .

Determina-se a resistência equivalente de toda a associação pela equação da associação em série:

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

Usando os valores do circuito, obtém-se:

$$R_{eq} = R_1 + R_A + R_4$$

$$R_{eq} = 560 + 108 + 1200 = 1868 \Omega$$



---

# Resistores

Os resistores são componentes que formam a maioria dos circuitos eletrônicos. Eles são fabricados com materiais de alta resistividade com a finalidade de oferecer maior resistência à passagem da corrente elétrica. Dificilmente se encontrará um equipamento eletrônico que não use resistores.

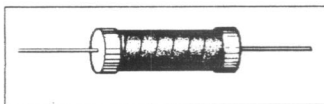
Este capítulo vai tratar dos resistores e de seu código de cores. Desse modo, você vai ser capaz de identificar as características elétricas e construtivas dos resistores. Vai ser capaz também de interpretar os valores de resistência expressos no código de cores.

São informações importantes que serão utilizadas no dia-a-dia do aprendizado de conteúdos da área eletroeletrônica.

O estudo dessa unidade pressupõe que você já conheça corrente e resistência elétricas.

## Resistor

Resistor é um componente formado por um corpo cilíndrico de cerâmica sobre o qual é depositada uma camada espiralada de material ou filme resistivo. Esse material determina o tipo e o valor de resistência nominal do resistor. Ele é dotado de dois terminais colocados nas extremidades do corpo em contato com o filme resistivo.



Os resistores são utilizados nos circuitos eletrônicos para limitar a corrente elétrica e, conseqüentemente, reduzir ou dividir tensões.

### **Características elétricas dos resistores**

O resistor tem características elétricas que o diferenciam de outros componentes.

Elas são:

- Resistência nominal;
- Percentual de tolerância;
- Dissipação nominal de potência.

### **Resistência nominal**

A **resistência nominal** é o valor da resistência elétrica especificada pelo fabricante. Esse valor é expresso em ohms ( $\Omega$ ), em valores padronizados estabelecidos pela norma IEC - 63. Assim, por exemplo, pode-se ter resistores de 18  $\Omega$ , 120  $\Omega$ , 4k7  $\Omega$ , 1 M  $\Omega$ .

Neste curso, serão empregados os valores padronizados da série E-24, ou seja, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 18, 20, 22, 24, 27, 30, 33, 36, 39, 43, 47, 51, 56, 62, 68, 75, 82, 91.

Como esses números determinam os valores comerciais dos resistores, eles devem ser memorizados para facilitar a identificação e especificação desses componentes.

Geralmente, os valores comerciais de resistência nominal são encontrados multiplicando-se os números acima por  $10^{-1}$  a  $10^5$ . Assim, um resistor de 1  $\Omega = (10 \times 10^{-1}) \Omega$ ; um resistor de 15  $\Omega = (15 \times 10^0) \Omega$ ; um resistor de 220  $\Omega = (22 \times 10^1) \Omega$ ; e assim por diante.

Dependendo do tipo de resistor e de sua aplicação, a faixa de valores comerciais pode variar. Portanto, os manuais de fabricantes devem ser consultados a fim de que sejam obtidas as informações mais específicas sobre os componentes.

### **Percentual de tolerância**

Em decorrência do processo de fabricação, os resistores estão sujeitos a imprecisões no seu valor nominal. O **percentual de tolerância** indica essa variação de valor que o resistor pode apresentar em relação ao valor padronizado da resistência nominal. A diferença no valor pode ser para mais ou para menos do valor nominal.



Essas diferenças situam-se em quatro faixas de valores percentuais de tolerância:

- Para resistores de uso geral:

⇒ ± 10% de tolerância

⇒ ± 5% de tolerância

- Para resistores de precisão:

⇒ ± 2% de tolerância

⇒ ± 1% de tolerância

### Observação

Empregam-se os resistores de precisão apenas em circuitos em que os valores de resistência são críticos.

A tabela a seguir traz alguns valores de resistor com o respectivo percentual de tolerância. Traz também os limites entre os quais se situa o valor real do componente.

Resistência nominal ( $\Omega$ )	Tolerância (%)	Variação ( $\Omega$ )	Valor real do componente ( $\Omega$ )
220 $\Omega$	±5%	±11 $\Omega$	+5% = 220 $\Omega$ + 11 $\Omega$ = 232 $\Omega$ -5% = 220 $\Omega$ - 11 $\Omega$ = 209 $\Omega$
1000 $\Omega$	±2%	±20 $\Omega$	+2% = 1000 $\Omega$ + 20 $\Omega$ = 1020 $\Omega$ - 2% = 1000 $\Omega$ - 20 $\Omega$ = 980 $\Omega$
56 $\Omega$	±1%	±0,56 $\Omega$	+1% = 56 $\Omega$ + 0,56 $\Omega$ = 56,56 $\Omega$ - 1% = 56 $\Omega$ - 0,56 $\Omega$ = 55,44 $\Omega$
470 k $\Omega$	±10%	±47 k $\Omega$	+10% = 470 k $\Omega$ + 47 k $\Omega$ = 517 k $\Omega$ -10% = 470 k $\Omega$ - 47 k $\Omega$ = 423 k $\Omega$

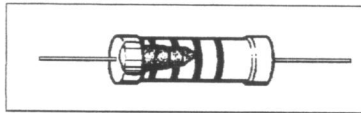
A tabela acima indica que, um resistor de 220  $\Omega$  ±5% (valor nominal), por exemplo, pode apresentar qualquer valor real de resistência entre 232  $\Omega$  e 209  $\Omega$ .

### Observação

Devido à modernização do processo industrial, os resistores estão sendo produzidos por máquinas especiais que utilizam raios laser para o ajuste final da resistência nominal. Por isso, dificilmente, são encontrados no mercado resistores para uso geral com percentual de tolerância maior do que ±5%.

Esses terminais possibilitam a ligação do elemento ao circuito. O corpo do resistor recebe um revestimento que dá o acabamento e isola o filme de carbono da ação da umidade.

A figura a seguir mostra um resistor em corte, no qual aparece a conexão dos terminais e o filme resistivo.

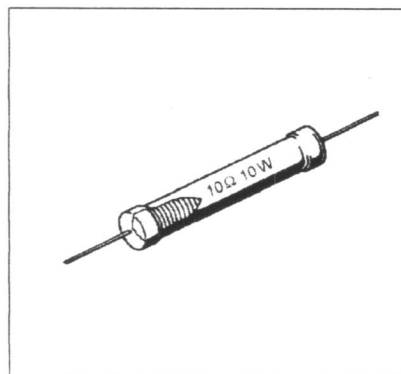
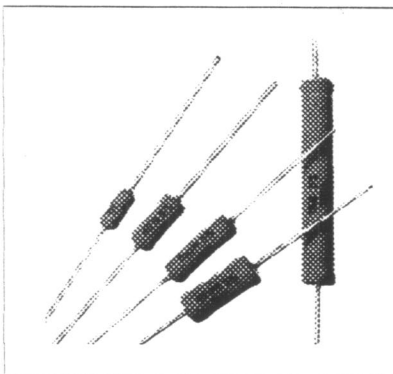


O **resistor de filme metálico** tem o mesmo formato e é fabricado da mesma maneira que o resistor de filme de carbono. O que os diferencia é o material resistivo depositado sobre o corpo de cerâmica.

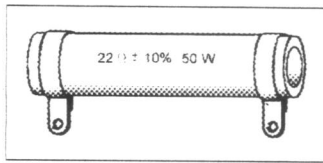
No resistor de filme metálico o material resistivo é uma película de níquel que resulta em resistores com valores ôhmicos mais precisos, ou seja, com baixo percentual de tolerância, e mais estáveis, isto é, com baixo coeficiente de temperatura. Em virtude dessas características, esses resistores devem ser empregados em situações nas quais se requer precisão e estabilidade.

O **resistor de fio** constitui-se de um corpo de porcelana ou cerâmica. Sobre esse corpo enrola-se um fio especial, geralmente de níquel-cromo. O comprimento e seção desse fio determinam o valor do resistor, que tem capacidade para operar com valores altos de corrente elétrica e normalmente se aquece quando em funcionamento.

Observe nas ilustrações a seguir, alguns resistores de fio e os terminais, o fio enrolado e a camada externa de proteção do resistor.

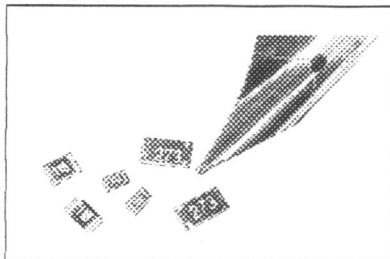


Para facilitar o resfriamento nos resistores que produzem grandes quantidades de calor, substitui-se o corpo de porcelana maciça por um tubo, também de porcelana.



O resistor **SMR** (do inglês *Surface Mounted Resistor*, que quer dizer resistor montado em superfície) é constituído de um minúsculo corpo de cerâmica com alto grau de pureza no qual é depositada uma camada vítreo metalizada formada por uma liga de cromo-silício.

Seu valor de resistência ôhmica é obtido pela variação da composição desta camada e pelo uso do raio laser. Devido ao seu tamanho mínimo, este tipo de resistor é mais indicado para ser fixado nos circuitos eletrônicos através de máquinas de inserção automática.



O quadro a seguir resume as características desses resistores e suas aplicações.

Resistor	Elemento Resistivo	Aplicação
Filme de carbono	Carbono puro	Uso geral: circuitos eletrônicos, aparelhos de som e vídeo.
Filme metálico	Níquel	Precisão e uso geral: temporizadores, computadores, controladores lógicos.
Fio	Liga de níquel-cromo ou níquel-cobre	Dissipação de grandes potências em pequeno volume: carga (saída) em circuitos elétricos ou eletrônicos.
SMR	Liga de cromo-silício	Miniaturização de aparelhos eletrônicos com redução de custo de produção: filmadoras, relógios, "notebooks", agendas eletrônicas, aparelhos de surdez.

## Especificação de resistores

Sempre que for necessário descrever, solicitar ou comprar um resistor, é necessário fornecer sua especificação completa, que deve estar de acordo com a seguinte ordem:

1. Tipo;
2. Resistência nominal;
3. Percentual de tolerância;
4. Dissipação nominal de potência.

Veja alguns exemplos de especificação de resistores:

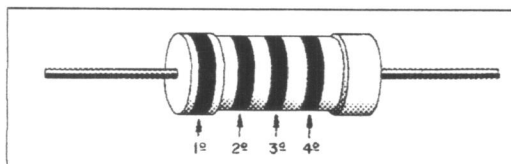
- a. Resistor de filme de carbono  $820 \Omega \pm 5\%$  0,33 W;
- b. Resistor de filme metálico  $150 \Omega \pm 1\%$  0,4 W;
- c. Resistor de fio  $4,7 \Omega \pm 5\%$  10 W;
- d. Resistor para montagem em superfície  $1k\Omega \pm 5\%$  0,25 W.

## Código de cores para resistores fixos

A resistência nominal, o percentual de tolerância e a dissipação nominal de potência dos resistores de fio estão impressos no próprio corpo do componente.

Nos SMRs o percentual de tolerância e a dissipação nominal de potência são fornecidos na embalagem do componente. No corpo está impresso apenas o valor da resistência nominal.

Nos resistores de filme, as características elétricas estão codificadas na forma de anéis coloridos padronizados internacionalmente por meio da norma IEC-62.



A cor de cada anel e sua posição em relação aos demais anéis fornecem o valor da resistência nominal e do percentual de tolerância. Esse tipo de codificação permite que esses valores sejam compreendidos, independentemente da posição do resistor no circuito.

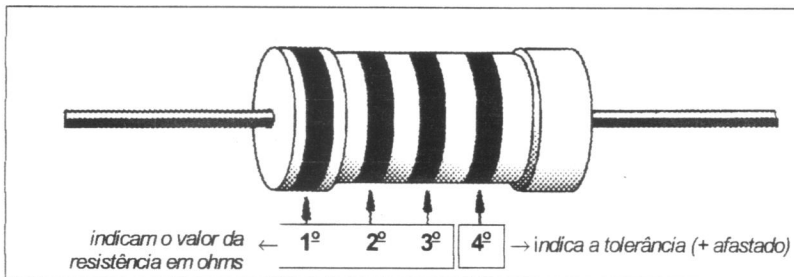
Antigamente, a dissipação nominal de potência do resistor era determinada pelo tamanho físico do resistor. Atualmente alguns fabricantes especificam-na, juntamente com o tipo, por meio da cor do revestimento do componente.

Por causa disso, é essencial que o manual do fabricante seja consultado para que se obtenha esse dado característico.

### Interpretação do código

Existem resistores de filme com quatro, cinco e seis anéis coloridos.

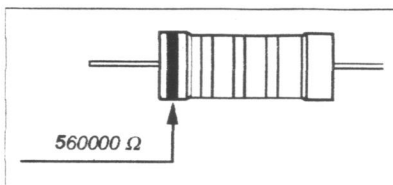
Para os **resistores com quatro anéis**, o código de cores compõe-se de três cores para representar o valor da resistência nominal (valor ôhmico), e uma para representar o percentual de tolerância. O primeiro anel a ser lido é aquele que se encontra mais próximo da extremidade. Seguem-se pela ordem o 2º, o 3º e o 4º anel colorido.



A cada algarismo corresponde uma cor:

- |              |             |             |
|--------------|-------------|-------------|
| 0 - preto    | 4 - amarelo | 7 - violeta |
| 1 - marrom   | 5 - verde   | 8 - cinza   |
| 2 - vermelho | 6 - azul    | 9 - branco  |
| 3 - laranja  |             |             |

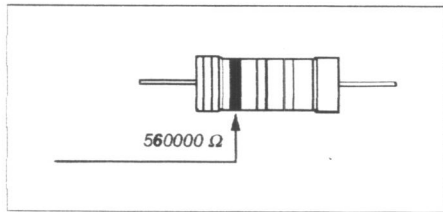
O primeiro anel colorido representa o primeiro algarismo que formará o valor do resistor. Veja figura a seguir.



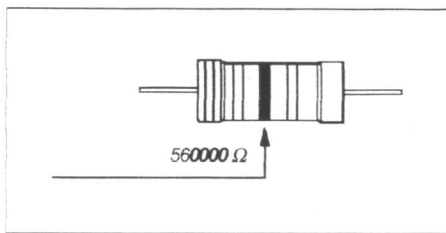
### Observação

A primeira cor **nunca** é o **preto**.

O segundo anel colorido representa o segundo algarismo que forma o valor do resistor.



O terceiro algarismo representa a quantidade de zeros que seguem os dois primeiros algarismos. É chamado de fator multiplicativo



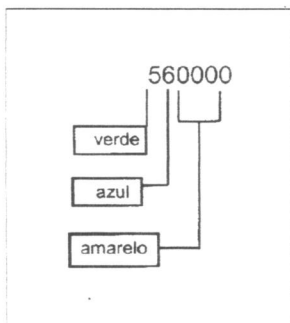
A cada quantidade de zeros corresponde uma cor:

Nenhum zero	⇒ preto
Um zero (0)	⇒ marrom
Dois zeros (00)	⇒ vermelho
Três zeros (000)	⇒ laranja
Quatro zeros (0000)	⇒ amarelo
Cinco zeros (00000)	⇒ verde
Seis zeros (000000)	⇒ azul

### Observação

As cores violeta, cinza e branca não são encontradas no 3º anel porque os resistores padronizados para uso geral não alcançam valores que necessitem de 7, 8 ou 9 zeros.

A seqüência descrita corresponde a um resistor assim representado:



O quarto anel colorido representa a tolerância do resistor. A cada percentual corresponde uma cor característica.

Desse modo temos:

⇒ ± 10% - prateado

⇒ ± 5% - dourado

⇒ ± 2% - vermelho

⇒ ± 1% - marrom

### **Observação**

A ausência do quarto anel indica a tolerância de ±20%.

Acrescentando-se uma tolerância de ±5% ao valor do resistor usado como exemplo, temos: 560000 Ω ± 5% - verde, azul, amarelo, dourado.

### **Resistores de quatro anéis de 1 Ω a 10 Ω**

Para representar esse tipo de resistores, o código estabelece o uso do dourado no 3º anel. O dourado indica a existência da vírgula entre os dois primeiros algarismos.

#### **Observe a seguir alguns exemplos.**

2,7 Ω ±10% vermelho, violeta, dourado, prateado.

1,8 Ω ± 5% marrom, cinza, dourado, dourado.

4,7 Ω ± 10% amarelo, violeta, dourado, prateado.

8,2 Ω ± 20% cinza, vermelho dourado (não existe o 4º anel).

### **Resistores abaixo de 1 Ω**

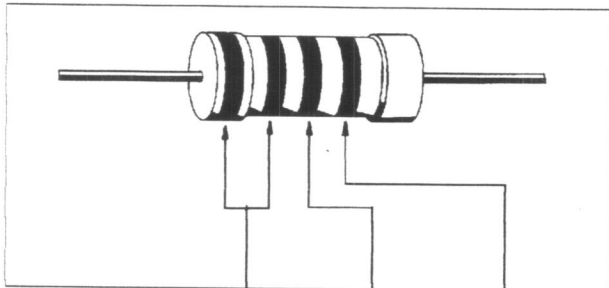
Para representar esse tipo de resistor, o código determina o uso do prateado no 3º anel. O prateado no 3º anel significa a existência de **0**, (zero vírgula) antes dos dois primeiros números.

#### **Observe a seguir alguns exemplos.**

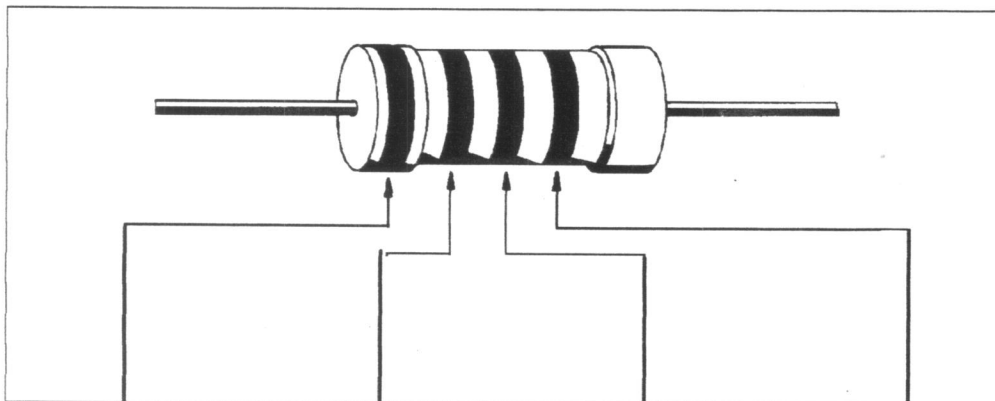
0,39 Ω ± 5% laranja, branco, prateado, dourado.

0,15 Ω ± 10% marrom, verde, prateado, prateado

A tabela a seguir apresenta o código de cores completo para resistores com quatro anéis coloridos.



Cor	Dígitos significativos	Multiplicador	Tolerância
preto	0	1 X	
marrom	1	10 X	± 1%
vermelho	2	100 X	± 2%
laranja	3	1000 X	
amarelo	4	10000 X	
verde	5	100000 X	
azul	6	1000000 X	
violeta	7	-	
cinza	8	-	
branco	9	-	
ouro		0,1 X	± 5 %
prata		0,01 X	± 10 %
sem cor			± 20 %



1ª faixa 1º dígito		2ª faixa 2º dígito		3ª faixa Multiplicador		4ª faixa Tolerância	
Cor	Dígito	Cor	Dígito	Cor	Dígito	Cor	Dígito
Marrom	1	Preto	0	Preto	1	Prata	± 5%
Vermelho	2	Marrom	1	Marrom	10	Ouro	± 10%
Laranja	3	Vermelho	2	Vermelho	100	Sem faixa	± 20%
Amarelo	4	Laranja	3	Laranja	1000	Marrom	± 1%
Verde	5	Amarelo	4	Amarelo	10000	Vermelho	± 2%
Azul	6	Verde	5	Verde	100000		
Violeta	7	Azul	6	Azul	1000000		
Cinza	8	Violeta	7	Prata	0,01		
Branco	9	Cinza	8	Ouro	0,1		
		Branco	9				



## Observação

A memorização da série de valores E-24 agiliza a decodificação dos valores representados pelos anéis coloridos, pois já se saberá de antemão qual a cor que poderá vir após a primeira. Assim, por exemplo, se a primeira cor for o amarelo, a segunda só poderá ser laranja ou violeta (43 ou 47).

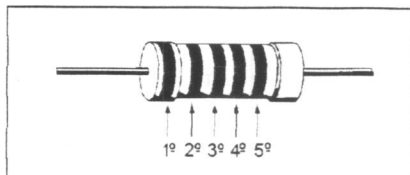
Se a terceira cor for o vermelho (ou verde), coloca-se a letra k (M) entre os dois primeiros algarismos. Se for laranja, o k virá depois deles.

Se a terceira cor for o amarelo, os dois primeiros algarismos devem ser multiplicados por 10 antes da letra k. A tabela a seguir exemplifica o que foi explicado.

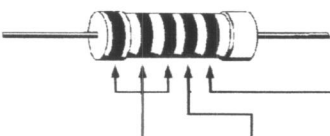
1ª cor	2ª cor	3ª cor	4ª cor	valor
azul	cinza	vermelho	ouro	6k8Ω ±5%
marrom	preto	laranja	ouro	10kΩ ±5%
amarelo	violeta	amarelo	prata	470kΩ ±10%
vermelho	vermelho	verde	ouro	2M2Ω ±5%

## Resistores de cinco anéis

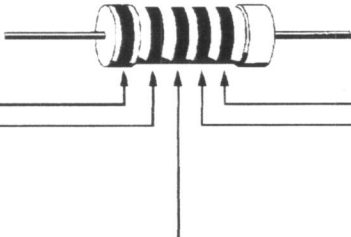
A grande maioria dos resistores fabricados atualmente apresentam **cinco** anéis coloridos para a codificação de seus valores. Esses resistores são mais precisos que os de quatro anéis pois apresentam um percentual de tolerância menor, ou seja, da ordem de ±1%, ±2%, ±5%.



Nesses resistores, os três primeiros anéis são dígitos significativos; já o quarto anel representa o número de zeros (fator multiplicativo) e o quinto é a tolerância.



Cor	Dígitos significativos	Multiplicador	Tolerância
preto	0	1 X	± 1%
marrom	1	10 X	
vermelho	2	100 X	± 2%
laranja	3	1000 X	
amarelo	4	10000 X	± 5%
verde	5	100000 X	
azul	6	1000000 X	± 5%
violeta	7	-	
cinza	8	-	± 5%
branco	9	-	
ouro		0,1 X	± 5%
prata		0,01 X	



1ª Faixa 1º Dígito		2ª. Faixa 2º Dígito		3ª Faixa 3º Dígito		4ª Faixa Multiplicador		5ª Faixa Tolerância	
Cor	Dígito	Cor	Dígito	Cor	Dígito	Cor	Dígito	Cor	Dígito
		Preto	0	Preto	0	Preto	1	Marrom	±1%
Marrom	1	Marrom	1	Marrom	1	Marrom	10	Vermelho	±2%
Vermelho	2	Vermelho	2	Vermelho	2	Vermelho	100	Ouro	±5%
Laranja	3	Laranja	3	Laranja	3	Laranja	1000		
Amarelo	4	Amarelo	4	Amarelo	4	Amarelo	10000		
Verde	5	Verde	5	Verde	5	Verde	100000		
Azul	6	Azul	6	Azul	6	Azul	1000000		
Violeta	7	Violeta	7	Violeta	7	Prata	0,01		
Cinza	8	Cinza	8	Cinza	8	Ouro	0,1		
Branco	9	Branco	9	Branco	9				

Por exemplo, um resistor que apresente as cores na seqüência mostrada abaixo, teria os seguintes valores de resistência nominal e tolerância.

Dígitos significativos	Multiplicador	Tolerância	Valor ôhmico
marrom verde preto	vermelho	ouro	15k $\Omega$ $\pm$ 5%
amarelo violeta preto	marrom	marrom	4k7 $\Omega$ $\pm$ 1%
azul cinza preto	prata	vermelho	6,8 $\Omega$ $\pm$ 2%
vermelho vermelho preto	vermelho	vermelho	22k $\Omega$ $\pm$ 2%
marrom preto preto	ouro	ouro	10 $\Omega$ $\pm$ 5%

### Resistores com seis anéis coloridos

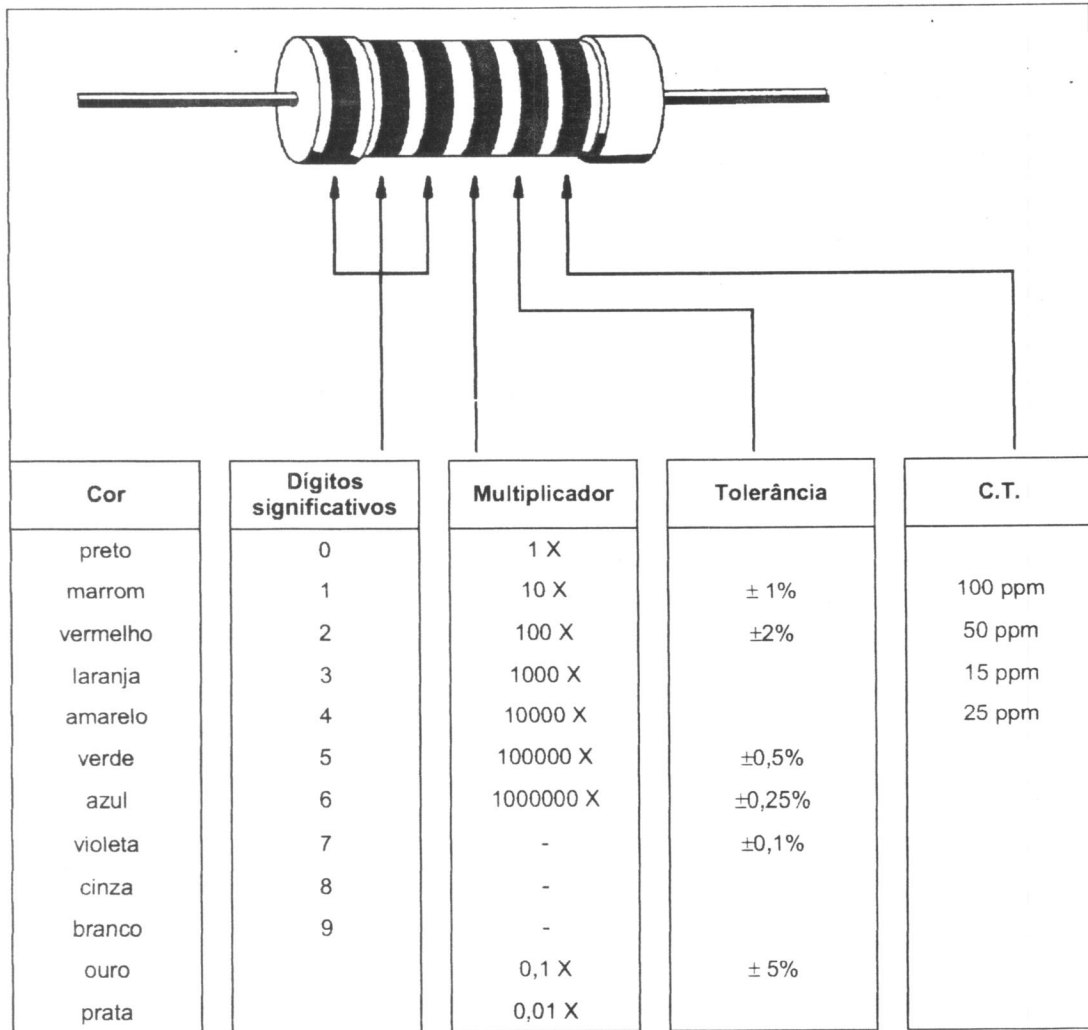
Resistores com seis anéis coloridos são resistores destinados a aplicações especiais que requerem elevada precisão e ambiente controlado. O que os diferencia dos demais além da aplicação é a especificação do coeficiente de temperatura (CT), codificado no 6º anel.

O valor nominal e percentual de tolerância estão codificados pelos cinco primeiros anéis coloridos exatamente como acontece com os resistores de cinco anéis coloridos.

Por se tratar de resistor de elevada precisão, o quinto anel poderá conter ainda as cores verde, azul ou violeta, indicando respectivamente o percentual de tolerância de  $\pm 0,5\%$ ,  $\pm 0,25\%$  ou  $\pm 0,1\%$ .

O coeficiente de temperatura (C.T.) do resistor expressa a relação diretamente proporcional existente entre o valor nominal de resistência e a temperatura do resistor, dentro de uma faixa pré-determinada. Esse coeficiente é especificado em partes por milhão (ppm) por grau Celsius (ppm/ $^{\circ}$ C ou  $10^{-6}/^{\circ}$ C).

Os valores dos coeficientes de temperatura encontrados nestes resistores podem ser: 100 ppm, 50 ppm, 15 ppm ou 25 ppm codificados respectivamente pelas cores marrom, vermelho, laranja ou amarelo.



Para calcular o valor que a resistência nominal poderá apresentar dentro de uma faixa de temperatura específica, utiliza-se a relação a seguir:

$$V_{nt} = V_n (1 \pm \Delta T \cdot CT)$$

Nessa relação, **V<sub>nt</sub>** é o **valor de resistência nominal** na temperatura dada;

**V<sub>n</sub>** é o **valor da resistência nominal** (temperatura ambiente);

**ΔT** é a **variação da temperatura** em relação a 25° C (temperatura ambiente);

**C.T.** é o coeficiente de temperatura.

Exemplo de cálculo de valor de resistência nominal

- Um resistor apresenta 6 anéis coloridos na seguinte ordem: marrom - preto - preto - amarelo - marrom - marrom. Calcule os valores de resistência nominal caso a temperatura de superfície do resistor oscile entre -45° C e + 115° C.

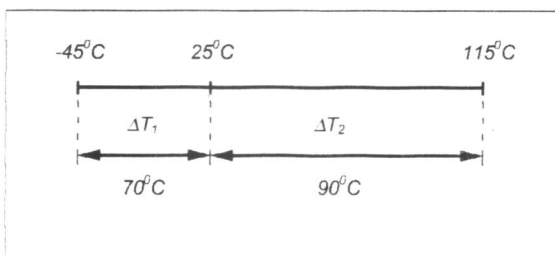
Solução: Primeiramente vamos decodificar o valor das características elétricas do resistor acima:

marrom	preto	preto	amarelo	marrom	marrom
1	0	0	0000	±1%	100 ppm
1 000 000 Ω ±1% 100 ppm a 25° C (temperatura ambiente)					

Ou seja, 1MΩ ± 1% 100 ppm a 25° C (temperatura ambiente).

$$\Delta T_1 = 25^\circ \text{C} - (-45^\circ \text{C}) = 70^\circ \text{C}$$

$$\Delta T_2 = 115^\circ \text{C} - 25^\circ \text{C} = 90^\circ \text{C}$$



$$V_n = 1\text{M}\Omega = 1000000\Omega$$

$$CT = 100 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$$

Em -45° C teremos:

$$V_{nt1} = 1000000\Omega (1 \pm 70^\circ \text{C} \cdot 100 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C})$$

$$V_{nt1} = 1000000\Omega (1 \pm 7000 \cdot 10^{-6}) = 1000000\Omega (1 \pm 0,007)$$

$$V_{nt1a} = 1000000\Omega \cdot 1,007 = 1.007000\Omega$$

$$V_{nt1b} = 1000000\Omega \cdot 0,993 = 993.000\Omega$$

Em + 115° C teremos:

$$V_{nt2} = 1000000\Omega (1 \pm 90^\circ \text{C} \cdot 100 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}) = 1000000\Omega (1 \pm 9000 \cdot 10^{-6})$$

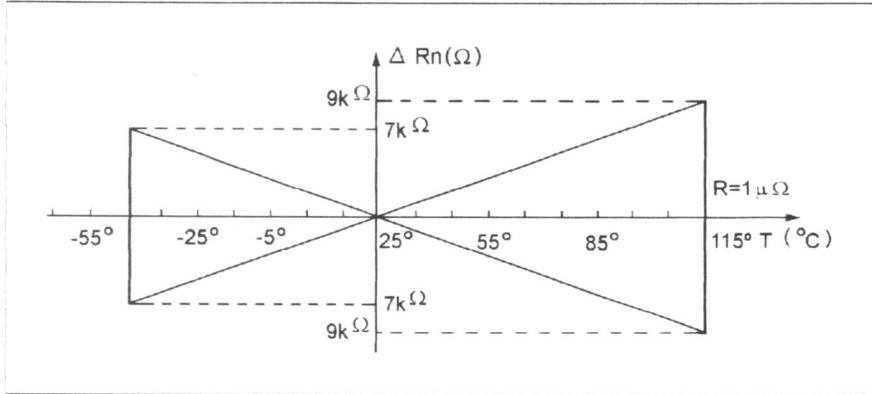
$$V_{nt2} = 1000000\Omega (1 \pm 0,009)$$

$$V_{nt2a} = 1000000\Omega \cdot 1,009 = 1.009000\Omega$$

$$V_{nt2b} = 1000000\Omega \cdot 0,991 = 991.000\Omega$$

Assim, conclui-se que na temperatura de -45° C, a resistência nominal poderá estar entre 993000Ω e 1007000Ω, e que na temperatura de +115° C, a resistência nominal poderá estar entre 991000Ω e 1009000Ω, sem levar em conta o percentual de tolerância.

O gráfico a seguir expressa a variação da resistência nominal ( $\Delta R_n$ ) em função da temperatura (T). Observe que na temperatura de  $25^\circ\text{C}$  a resistência nominal é aquela especificada pelo código de cores, ou seja, não há variação em função da temperatura.



---

# Fonte de CC

O funcionamento de qualquer aparelho elétrico ou eletrônico depende da existência de uma fonte de energia elétrica. Até mesmo os relógios digitais possuem pequenas pilhas no seu interior. Isto, sem dúvida, mostra a importância dos fornecedores de energia elétrica.

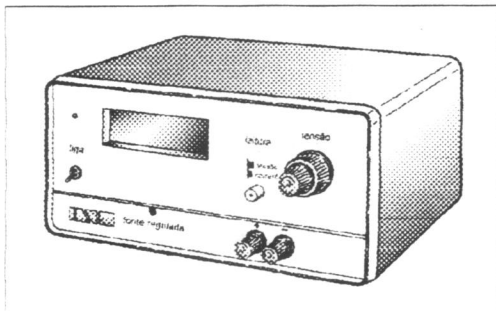
No desenvolvimento das atividades práticas de um curso de eletroeletrônica, as fontes também são constantemente utilizadas.

Em função do grande número de situações diferentes que ocorrem nas experiências práticas neste tipo de curso, não é costume utilizar-se pilhas ou baterias como fonte de energia. Utilizam-se, geralmente, fontes de CC com características apropriadas às várias situações.

Este capítulo foi elaborado visando proporcionar-lhe os conhecimentos indispensáveis sobre estes tipos de fontes. Nele, serão tratados aspectos teóricos e práticos sobre as fontes de CC que irão capacitá-lo a selecionar e utilizar fontes de CC convencionais ou simétricas.

## Fonte de CC

A fonte de CC é um equipamento que fornece tensão contínua para a alimentação de circuitos elétricos e eletrônicos. Veja a seguir um modelo de fonte de CC.



Esse tipo de fonte de alimentação substitui com vantagem as pilhas e baterias no fornecimento de energia aos circuitos, porque permite que se obtenha o valor de tensão necessária a cada equipamento.

### Características das fontes de CC

As características são dados sobre as fontes de CC que devem ser conhecidos para que o equipamento possa ser utilizado corretamente.

As principais características das fontes de CC são:

- a. Tensão de entrada;
- b. Tensão ajustável na saída;
- c. Capacidade de corrente.

A **tensão de entrada** é o valor de tensão de funcionamento do equipamento.

Normalmente as fontes dispõem de uma chave para duas tensões - 110V/220V.

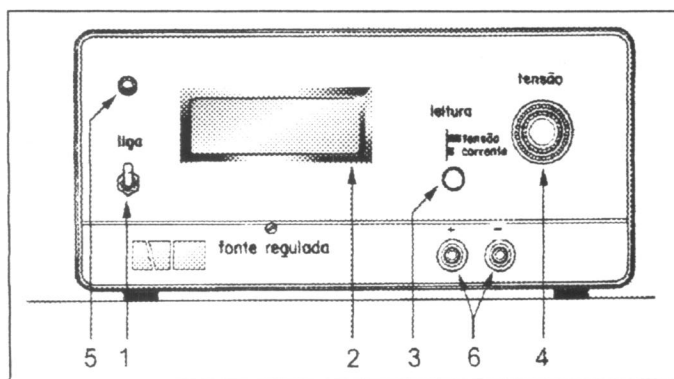
Esta chave permite que a fonte seja utilizada em locais onde a tensão da rede elétrica é de 110 V ou 220 V.

A **tensão ajustável na saída** estabelece os limites mínimo e máximo de tensão contínua que se pode obter na saída. Exemplo: 0 - 30 Vcc significa que a fonte fornece de 0 até 30 V contínuos na saída.

A **capacidade de corrente** estabelece o valor máximo de corrente que a fonte pode fornecer.

### Controles e dispositivos

Os controles e dispositivos são destinados à preparação e utilização da fonte. Veja ilustração a seguir.



- 1. Chave liga-desliga
- 2. Indicador de tensão
- 3. Seletor tensão/corrente do indicador
- 4. Controle de ajuste da tensão de saída
- 5. Indicador luminoso
- 6. Bornes



A chave liga-desliga permite a ligação da fonte. Quando a chave está desligada não há tensão presente na saída da fonte.

O **indicador de tensão digital** ou **analógico** (presente nas fontes de alimentação de CC ajustável de boa qualidade) permite visualizar imediatamente o valor de tensão que está presente nos bornes de saída. Em alguns modelos de fonte, esse indicador pode mostrar também a corrente fornecida para a carga.

O **seletor tensão/corrente do indicador** permite que se use o indicador, tanto para os valores de tensão nos bornes de saída, como para os valores da corrente fornecida pela fonte ao circuito conectado nos seus bornes.

O **controle de ajuste da tensão de saída** permite ajustar a tensão de saída para o valor desejado (ajuste principal).

O **indicador luminoso** indica que o equipamento está ligado.

Os **bornes** são os terminais de saída da fonte (como os pólos de uma pilha). A tensão CC é fornecida pela fonte nos bornes + (vermelho) e - (preto).

### Escolha da fonte

Para escolher uma fonte a fim de alimentar uma carga (componente, circuito elétrico ou eletrônico) deve-se conhecer:

- A tensão da rede em que a fonte será ligada,
- A tensão de que a carga necessita,
- A corrente que a carga solicita.

A tensão da rede deve coincidir com a tensão de entrada da fonte:

Tensão de entrada da fonte	Rede indicada
110 V	Apenas para redes de 110 V
220 V	Apenas para redes de 220 V
110/220 V	Para redes de 110 V ou de 220 V (selecionando-se a chave para a tensão adequada: 110 ou 220 V).

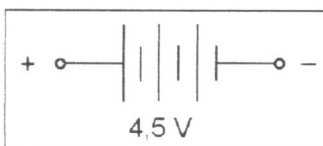
A tensão de que a carga necessita, determina para qual tensão de saída a fonte deverá ser ajustada.

Assim, para uma carga de 12 Vcc, por exemplo, pode-se utilizar fontes cujas tensões de saída sejam **0 - 12 Vcc**, **0 - 15 Vcc**, **0 - 30 Vcc**, com tensão de saída ajustada para 12 Vcc.

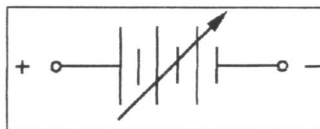
Com relação à corrente da carga, a fonte deve ter capacidade de corrente **maior** que a necessária para a carga. Assim, por exemplo, para alimentar uma carga que solicite 0,8 A, a fonte deve ter capacidade de corrente superior a esse valor.

### Simbologia

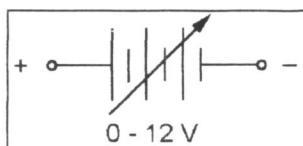
O símbolo utilizado para representar uma fonte de CC com tensão de saída fixa é, na realidade, um agrupamento de símbolos de pilhas, indicando ao lado a tensão fornecida.



As fontes com tensão de saída ajustável são representadas pelo mesmo símbolo, acrescido de uma seta na diagonal.



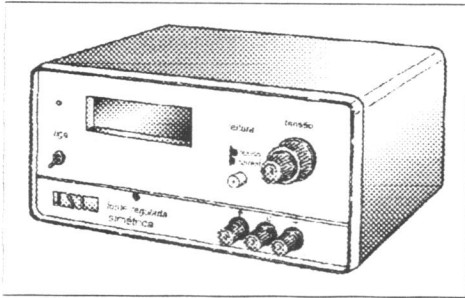
A indicação dos limites de tensão fornecidos pela fonte é feita ao lado do símbolo.



### Fontes simétricas

Fontes simétricas são fontes de tensão contínua que fornecem **duas** tensões, uma positiva (+) e outra negativa (-) em relação a um borne comum (0).

A figura que segue apresenta um modelo desse tipo de fonte.



As principais características das fontes simétricas são:

- Tensão de entrada  $\Rightarrow 110/220\text{ V}$ ;
- Tensão de saída  $\Rightarrow$  por exemplo 0 a 30 V;
- Capacidade de corrente  $\Rightarrow$  por exemplo 0 -1 A;

De forma geral, as fontes de CC simétricas têm os mesmos controles e dispositivos que as fontes convencionais, ou seja:

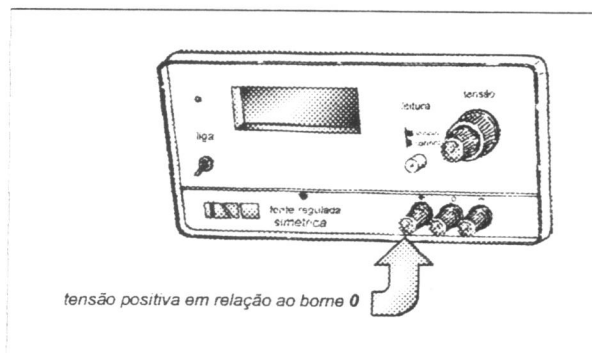
- Chave liga/desliga;
- Indicador luminoso de ligação;
- Indicador da tensão de saída (opcional);
- Controle de ajuste da tensão de saída;
- Bornes.

A diferença entre a fonte simétrica e a convencional se encontra nos bornes e na forma de atuação do controle de tensão de saída.

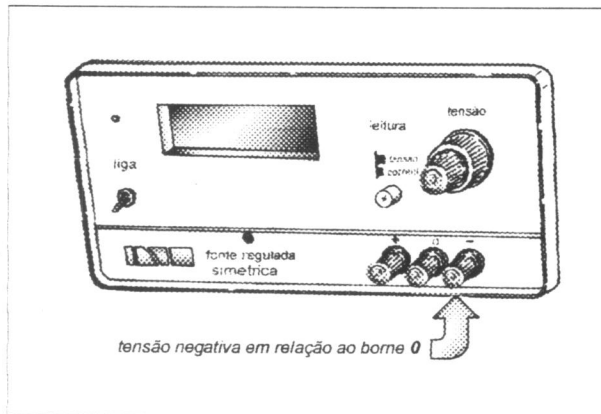
As fontes simétricas apresentam três bornes de saída:

- Borne de saída positivo  $\Rightarrow$  indicado pelo sinal +;
- Borne de saída **0** ou **comum**  $\Rightarrow$  indicado pelos símbolos **0** ou **com**;
- Borne de saída negativa  $\Rightarrow$  indicado pelo sinal -.

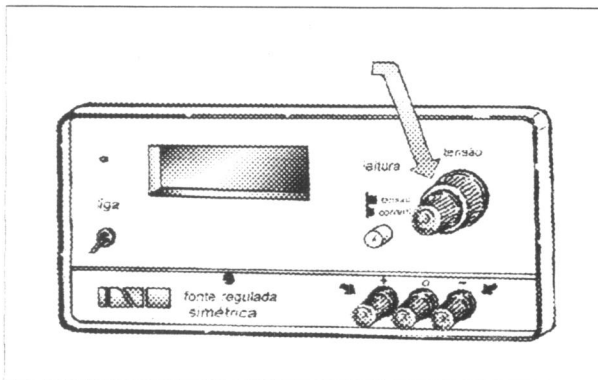
O borne positivo (+) fornece tensões positivas com relação ao borne **0**.



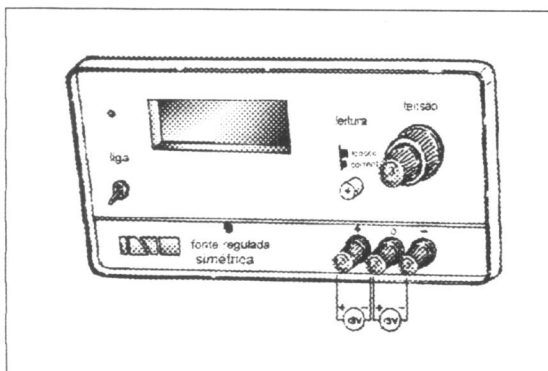
O borne negativo (-) fornece tensões negativas com relação ao borne 0.



O controle de ajuste da tensão de saída atua simultaneamente nos bornes positivo e negativo.



Por exemplo: ao variar o controle de ajuste da tensão de saída para que o indicador marque 15 V, a tensão do borne positivo em relação ao borne 0 será +15 V, e a tensão do borne negativo em relação ao borne 0 será -15 V. Isto significa que, **em valor**, a tensão no borne positivo é **igual** à do borne negativo, diferindo apenas pelo fato de que uma é positiva e outra é negativa em relação ao borne.

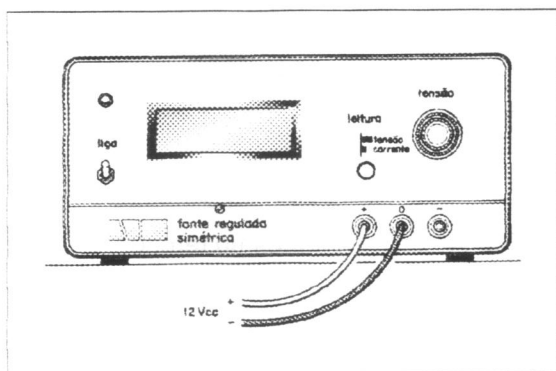


### Utilização dos bornes de saída

As fontes simétricas podem ser usadas como fontes convencionais, utilizando-se apenas 2 bornes. São possíveis três situações:

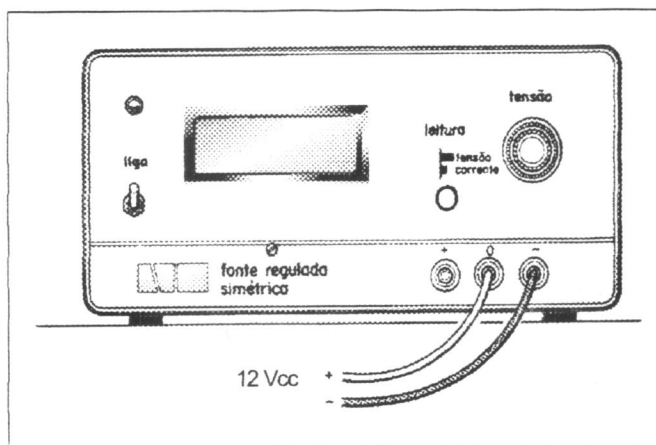
1. Usando os bornes + e 0: a fonte simétrica se comporta como uma fonte convencional. O borne positivo (+) fornece tensão positiva em relação ao borne 0, que se comporta como terminal negativo da fonte.

A tensão de saída entre os bornes é ajustada no controle de tensão de saída.



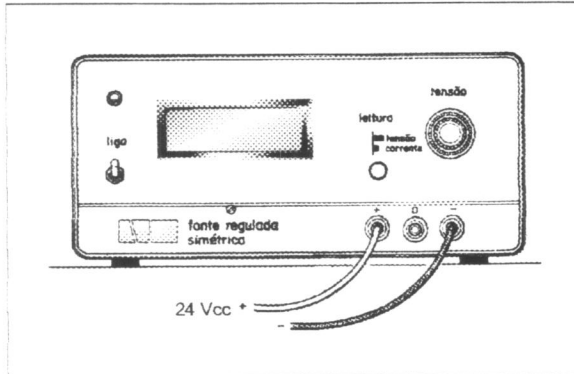
2. Usando os bornes 0 e - : a fonte simétrica se comporta como uma fonte convencional. O borne negativo (-) fornece tensão negativa em relação ao borne 0, que se comporta como terminal positivo da fonte.

A tensão de saída é ajustada no controle de tensão de saída.

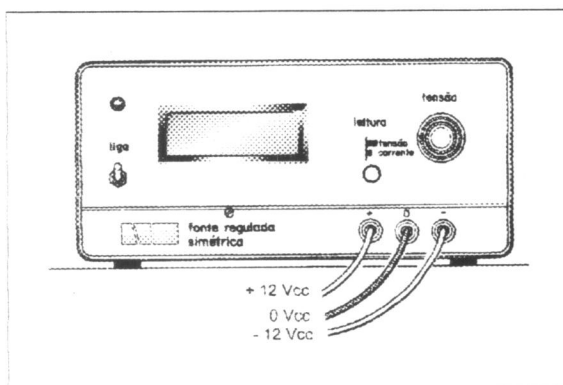


3. Usando os bornes + e - : a fonte se comporta como uma fonte convencional.  
O borne positivo (+) fornece tensão positiva em relação ao borne negativo (-).

A tensão de saída é o dobro da tensão presente entre os bornes + e 0.



4. Os três bornes de saída podem ser utilizados simultaneamente para alimentar circuitos que necessitam de tensões positivas e negativas ao mesmo tempo.



### Escolha da fonte simétrica

Os critérios para a escolha de uma fonte simétrica são os mesmos de uma fonte comum, ou seja:

- Tensão de funcionamento da fonte de acordo com a rede;
- Tensão de saída ajustável de acordo com a tensão da carga (entre bornes + e 0; entre os bornes - e 0, ou entre os bornes + e -);
- A capacidade de corrente superior a da carga.

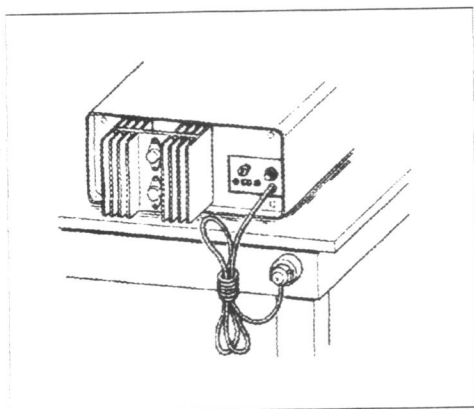
## Manuseio das fontes de CC

Para que uma fonte de CC seja utilizada como fornecedora de energia para qualquer circuito, é necessário realizar a sua preparação, que se divide em duas etapas:

1. Conexão à rede elétrica;
2. Ligação e ajuste da tensão de saída.

### Conexão à rede elétrica

As fontes de CC são alimentadas a partir da rede elétrica. Para que a fonte possa fornecer tensão contínua, o cabo de alimentação deve ser conectado à rede elétrica.



### Observação

Antes de conectar o cabo de alimentação à rede elétrica, deve-se verificar se a chave seletora 110/220 (normalmente na parte posterior da fonte) está posicionada corretamente, de acordo com a tensão da rede elétrica.

### Ligação e ajuste

A ligação da fonte é feita na chave liga-desliga do painel. Para realizar o ajuste da tensão de saída da fonte deve-se utilizar o controle de ajuste de tensão de saída e o indicador de tensão próprio do equipamento (se houver) ou um multímetro, conectado entre os bornes utilizados:

- ⇒ + e 0; 0 e - ou + e - nas fontes reguladas simétricas CC;
- ⇒ + e - nas fontes reguladas CC.

Quando a fonte tiver uma chave seletora para o instrumento indicador (tensão/corrente) deve-se posicioná-la para **tensão**, para que o instrumento indique a tensão presente nos bornes.

Os ajustes devem ser executados **antes de ligar circuito nos bornes de saída da fonte**.



---

# Lei de Ohm

Muitos cientistas têm se dedicado ao estudo da eletricidade. Georg Simon Ohm, por exemplo, estudou a corrente elétrica e definiu uma relação entre corrente, tensão e resistência elétricas em um circuito. Foi a partir dessas descobertas que se formulou a Lei de Ohm.

Embora os conhecimentos sobre eletricidade tenham sido ampliados, a Lei de Ohm continua sendo uma lei básica da eletricidade e eletrônica, por isso conhecê-la é fundamental para o estudo e compreensão dos circuitos eletroeletrônicos.

Esta aula vai tratar da Lei de Ohm e da forma como a corrente elétrica é medida. Desse modo, você será capaz de determinar matematicamente e medir os valores das grandezas elétricas em um circuito.

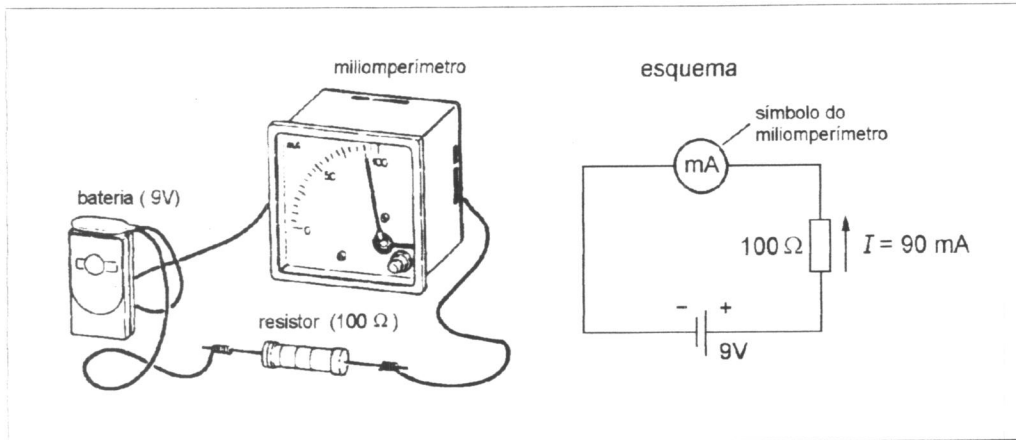
Para desenvolver de modo satisfatório os conteúdos e atividades aqui apresentados, você já deverá conhecer tensão elétrica, corrente e resistência elétrica e os respectivos instrumentos de medição.

## **Determinação experimental da Primeira Lei de Ohm**

A Lei de Ohm estabelece uma relação entre as grandezas elétricas: tensão (  $V$  ), corrente (  $I$  ) e resistência (  $R$  ) em um circuito.

Verifica-se a Lei de Ohm a partir de medições de tensão, corrente e resistência realizadas em circuitos elétricos simples, compostos por uma fonte geradora e um resistor.

Montando-se um circuito elétrico com uma fonte geradora de 9V e um resistor de 100 Ω, notamos que no multímetro, ajustado na escala de miliamperímetro, a corrente circulante é de 90 mA.



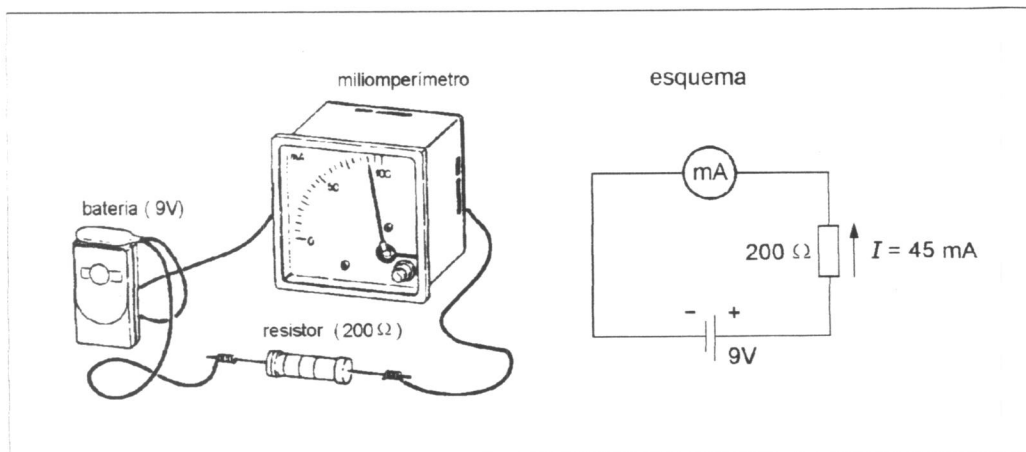
Formulando a questão, temos:

$$V = 9 \text{ V}$$

$$R = 100 \Omega$$

$$I = 90 \text{ mA}$$

Vamos substituir o resistor de 100Ω por outro de 200Ω. Nesse caso, a resistência do circuito torna-se maior. O circuito impõe uma oposição **mais intensa** à passagem da corrente e faz com que a corrente circulante seja **menor**.



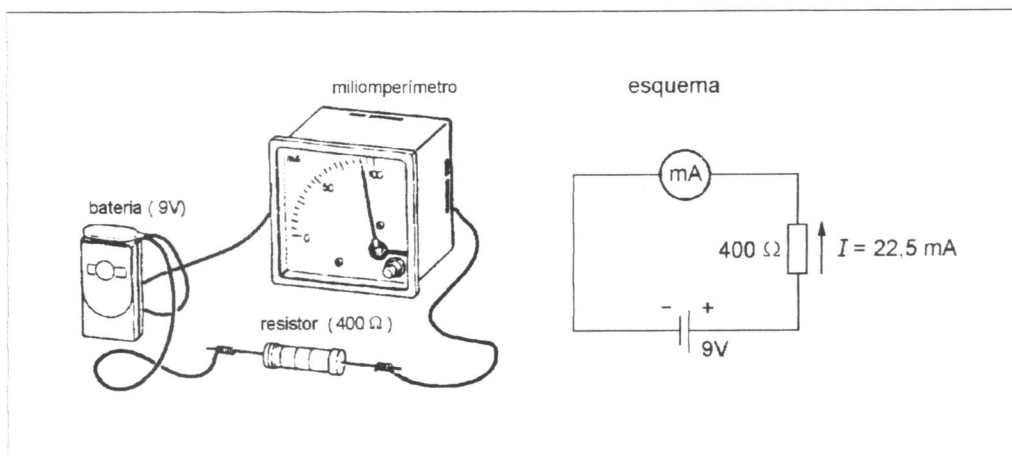
Formulando a questão, temos:

$$V = 9 \text{ V}$$

$$R = 200 \Omega$$

$$I = 45 \text{ mA}$$

À medida que aumenta o valor do resistor, aumenta também a oposição à passagem da corrente que decresce na mesma proporção.



Formulando a questão, temos:

$$V = 9 \text{ V}$$

$$R = 400 \Omega$$

$$I = 22,5 \text{ mA}$$

Colocando em tabela os valores obtidos nas diversas situações, obtemos:

Situação	Tensão (V)	Resistência (R)	Corrente (I)
1	9V	100Ω	90 mA
2	9V	200Ω	45 mA
3	9V	400Ω	22,5 mA

Analisando-se a tabela de valores, verifica-se:

- A tensão aplicada ao circuito é sempre a mesma; portanto, as variações da corrente são provocadas pela mudança de resistência do circuito. Ou seja, quando a resistência do circuito aumenta, a corrente no circuito diminui.
- Dividindo-se o valor de tensão aplicada pela resistência do circuito, obtém-se o valor da intensidade de corrente:

Tensão aplicada	Resistência	Corrente
9V ÷	100Ω	= 90 mA
9V ÷	200Ω	= 45 mA
9V ÷	400Ω	= 22,5 mA

A partir dessas observações, conclui-se que o valor de corrente que circula em um circuito pode ser encontrado dividindo-se o valor de tensão aplicada pela sua resistência. Transformando esta afirmação em equação matemática, tem-se a Lei de Ohm:

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

Com base nessa equação, enuncia-se a Lei de Ohm:

“A intensidade da corrente elétrica em um circuito é **diretamente proporcional** à tensão aplicada e inversamente proporcional à sua resistência.”

### Aplicação da Lei de Ohm

Utiliza-se a Lei de Ohm para determinar os valores de tensão ( V ), corrente ( I ) ou resistência ( R ) em um circuito. Portanto, para obter em um circuito o valor desconhecido, basta conhecer dois dos valores da equação da Lei de Ohm: **V e I**, **I e R** ou **V e R**.

Para determinar um valor desconhecido, a partir da fórmula básica, usa-se as operações matemáticas e isola-se o termo procurado .

Fórmula básica:

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

Fórmulas derivadas:

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

$$V = R \cdot I$$

Para que as equações decorrentes da Lei de Ohm sejam utilizadas, os valores das grandezas elétricas devem ser expressos nas unidades fundamentais:

- Volt ( V ) ⇒ tensão
- Ampère ( A ) ⇒ corrente
- Ohm (  $\Omega$  ) ⇒ resistência

### Observação

Caso os valores de um circuito estejam expressos em múltiplos ou submúltiplos das unidades, esses valores devem ser convertidos para as unidades fundamentais antes de serem usados nas equações.

Estude a seguir alguns exemplos de aplicação da Lei de Ohm

### Exemplo 1

Vamos supor que uma lâmpada utiliza uma alimentação de 6V e tem 120Ω de resistência. Qual o valor da corrente que circula pela lâmpada quando ligada?

Formulando a questão, temos:

$$V = 6V$$

$$R = 120\Omega$$

$$I = ?$$

Como os valores de V e R já estão nas unidades fundamentais volt e ohm, basta aplicar os valores na equação:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{6}{120} = 0,05A$$

O resultado é dado também na unidade fundamental de intensidade de corrente. Portanto, circulam 0,05 A ou 50 mA quando se liga a lâmpada.

### Exemplo 2

Vamos supor também que o motor de um carrinho de autorama atinge a rotação máxima ao receber 9 V da fonte de alimentação. Nessa situação a corrente do motor é de 230 mA. Qual é a resistência do motor?

Formulando a questão, temos:

$$V = 9V$$

$$I = 230 \text{ mA (ou } 0,23A)$$

$$R = ?$$

$$R = \frac{V}{I} = \frac{9}{0,23} = 39,1\Omega$$

### Exemplo 3

Por fim, vamos supor que um resistor de 22 k $\Omega$  foi conectado a uma fonte cuja tensão de saída é desconhecida. Um miliamperímetro colocado em série no circuito indicou uma corrente de 0,75 mA. Qual a tensão na saída da fonte?

Formulando a questão, temos:

$$I = 0,75 \text{ mA ( ou } 0,00075\text{A)}$$

$$R = 22 \text{ k}\Omega \text{ ( ou } 22000\Omega\text{)}$$

$$R = ?$$

$$\mathbf{V = R \cdot I}$$

$$V = 22000 \cdot 0,00075 = 16,5 \text{ V}$$

Portanto, **V = 16,5V**

---

# Potência elétrica em CC

Certos conceitos de física já fazem parte do nosso dia-a-dia. Quando se opta, por exemplo, por uma lâmpada de menor potência para gastar menos energia elétrica, está-se aplicando um conceito de física chamado potência.

Potência é um conceito que está diretamente ligado à idéia de força, produção de som, calor, luz e até mesmo ao gasto de energia.

Estudando esta unidade sobre a potência elétrica em CC, você terá oportunidade de aprender como se determina a potência dissipada por uma carga ligada a uma fonte de energia elétrica.

Para desenvolver satisfatoriamente os conteúdos e atividades aqui apresentadas, você deverá conhecer resistores e Lei de Ohm.

## Potência elétrica em CC

Ao passar por uma carga instalada em um circuito, a corrente elétrica produz, entre outros efeitos, calor, luz e movimento. Esses efeitos são denominados de **trabalho**.

O trabalho de transformação de energia elétrica em outra forma de energia é realizado pelo **consumidor** ou pela **carga**. Ao transformar a energia elétrica, o consumidor realiza um **trabalho elétrico**.

O tipo de trabalho depende da natureza do consumidor de energia. Um aquecedor, por exemplo, produz calor; uma lâmpada, luz; um ventilador, movimento.

A capacidade de cada consumidor produzir trabalho, em determinado tempo, a partir da energia elétrica é chamada de potência elétrica, representada pela seguinte fórmula:

$$P = \frac{\tau}{t}$$

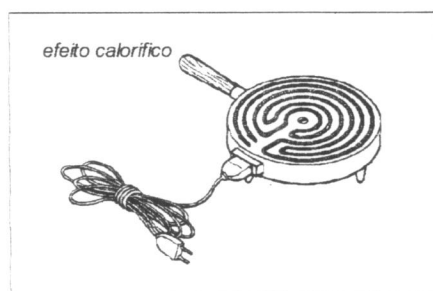
Onde **P** é a potência;  $\tau$  (lê-se "tal") é o trabalho e **t** é o tempo.

Para dimensionar corretamente cada componente em um circuito elétrico é preciso conhecer a sua potência.

### Trabalho elétrico

Os circuitos elétricos são montados visando ao aproveitamento da energia elétrica. Nesses circuitos a energia elétrica é convertida em *calor*, *luz* e *movimento*. Isso significa que o trabalho elétrico pode gerar os seguintes efeitos:

- **Efeito calorífico** - Nos fogões, chuveiros, aquecedores, a energia elétrica converte-se em calor.
- **Efeito luminoso** - Nas lâmpadas, a energia elétrica converte-se em luz (e também uma parcela em calor).
- **Efeito mecânico** - Os motores convertem energia elétrica em força motriz, ou seja, em movimento.





### Potência elétrica

Analisando um tipo de carga como as lâmpadas, por exemplo, vemos que nem todas produzem a mesma quantidade de luz. Algumas produzem grandes quantidades de luz e outras, pequenas quantidades.

Da mesma forma, existem aquecedores que ferver um litro de água em 10 min e outros que o fazem em apenas cinco minutos. Tanto um quanto outro aquecedor realizam o mesmo trabalho elétrico: aquecer um litro de água à temperatura de 100° C.

A única diferença é que um deles é mais rápido, realizando o trabalho em menor tempo.

A partir da potência, é possível relacionar trabalho elétrico realizado e tempo necessário para sua realização.

**Potência elétrica** é, pois, a capacidade de realizar um trabalho numa unidade de tempo, a partir da energia elétrica.

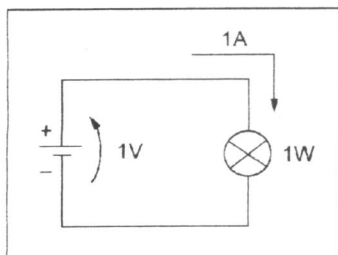
Assim, pode-se afirmar que são de potências diferentes:

- As lâmpadas que produzem intensidade luminosa diferente;
- Os aquecedores que levam tempos diferentes para ferver uma mesma quantidade de água;
- Motores de elevadores (grande potência) e de gravadores (pequena potência).

### Unidade de medida da potência elétrica

A potência elétrica é uma grandeza e, como tal, pode ser medida. A unidade de medida da potência elétrica é o **watt**, simbolizado pela letra **W**.

Um **watt** (1W) corresponde à potência desenvolvida no tempo de um segundo em uma carga, alimentada por uma tensão de 1V, na qual circula uma corrente de 1A.



A unidade de medida da potência elétrica **watt** tem múltiplos e submúltiplos como mostra a tabela a seguir.

Denominação			Valor em relação ao watt
Múltiplo	quilowatt	KW	$10^3$ W ou 1000 W
Unidade	Watt	W	1 W
Submúltiplos	miliwatt	mW	$10^{-3}$ W ou 0,001 W
	microwatt	$\mu$ W	$10^{-6}$ ou 0,000001 W

Na conversão de valores, usa-se o mesmo sistema de outras unidades.

KW			W			mW			$\mu$ W

Observe a seguir alguns exemplos de conversão

a.  $1,3W = \underline{\hspace{2cm}}$  mW

W			mW
1	3		

↑ (posição inicial da vírgula)

W			mW
1	3	0	0

(posição atual da vírgula) ↑

**$1,3 W = 1300 mW$**

b.  $350W = \underline{\hspace{2cm}}$  KW

KW			W
	3	5	0

↑

KW			W
0	3	5	

↑

**$350 W = 0,35 KW$**

c.  $640 mW = \underline{\hspace{2cm}}$  W

W			mW
	6	4	0

↑

W			MW
0	6	4	0

↑

**$640 mW = 0,64 W$**

d.  $2,1 KW = \underline{\hspace{2cm}}$  W

KW			W
2	1		

↑

KW			W
2	1	0	0

↑

**$2,1 KW = 2100 W$**

### Determinação da potência de um consumidor em CC

A potência elétrica ( $P$ ) de um consumidor depende da tensão aplicada e da corrente que circula nos seus terminais. Matematicamente, essa relação é representada pela seguinte fórmula:  $P = V \cdot I$ .

Nessa fórmula  $V$  é a tensão entre os terminais do consumidor expressa em **volts (V)**;  $I$  é a corrente circulante no consumidor, expressa em **ampéres (A)** e  $P$  é a potência dissipada expressa em **watts (W)**.

#### Exemplo

Uma lâmpada de lanterna de 6 V solicita uma corrente de 0,5 A das pilhas. Qual a potência da lâmpada?

Formulando a questão, temos:

$V = 6V \Rightarrow$  tensão nos terminais da lâmpada

$I = 0,5A \Rightarrow$  corrente através da lâmpada

$P = ?$

Como  $P = V \cdot I \Rightarrow P = 6 \cdot 0,5 = 3W$

Portanto,  $P = 3W$

A partir dessa fórmula inicial, obtém-se facilmente as equações de corrente para o cálculo de qualquer das três grandezas da equação. Desse modo temos:

- Cálculo da potência quando se dispõe da tensão e da corrente:

$$P = V \cdot I.$$

- Cálculo da corrente quando se dispõe da potência e da tensão:

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

- Cálculo da tensão quando se dispõe da potência e da corrente:

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

Muitas vezes é preciso calcular a potência de um componente e não se dispõe da tensão e da corrente. Quando não se dispõe da tensão (**V**) não é possível calcular a potência pela equação  $P = V \cdot I$ . Esta dificuldade pode ser solucionada com auxílio da Lei de Ohm.

Para facilitar a análise, denomina-se a fórmula da Primeira Lei de Ohm, ou seja,  $V = R \cdot I$ , da **equação I** e a fórmula da potência, ou seja,  $P = V \cdot I$ , de **equação II**. Em seguida, substitui-se **V** da equação II pela definição de **V** da equação I:

$$\begin{array}{l} V = \textcircled{R \cdot I} \rightarrow \text{equação I} \\ \downarrow \\ P = \textcircled{V} \cdot I \rightarrow \text{equação II} \end{array}$$

Assim sendo, pode-se dizer que  $P = R \cdot I \cdot I$ , ou  $P = R \cdot I^2$

Esta equação pode ser usada para determinar a potência de um componente. É conhecida como equação da potência por *efeito joule*.

### Observação

*Efeito joule* é o efeito térmico produzido pela passagem de corrente elétrica através de uma resistência

Pode-se realizar o mesmo tipo de dedução para obter uma equação que permita determinar a potência a partir da tensão e resistência.

Assim, pela Lei de Ohm, temos:

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

→ equação I

$$P = V \cdot I \rightarrow \text{equação II}$$

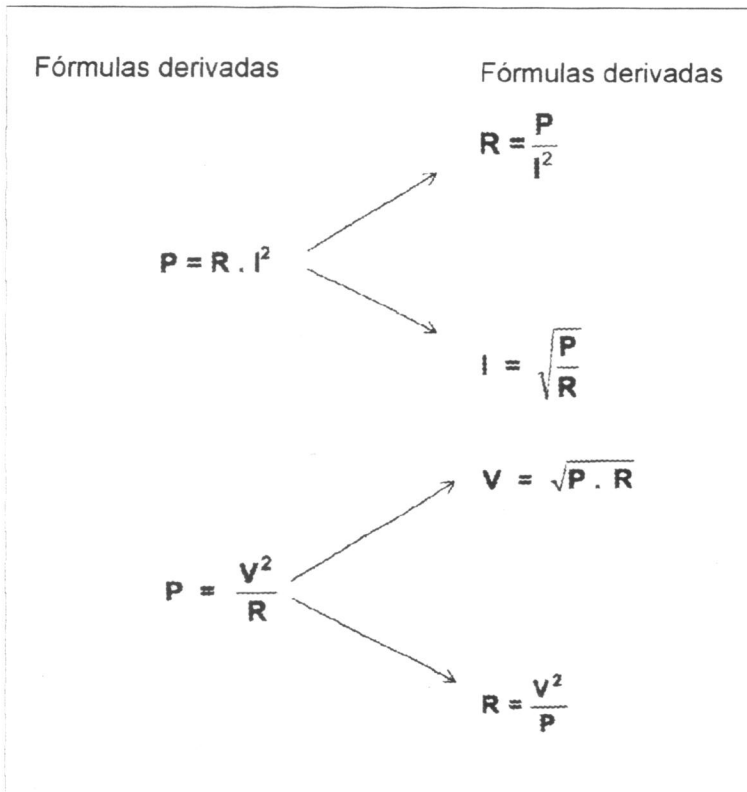
Fazendo a substituição, obtém-se:

$$P = V \cdot \frac{V}{R}$$

Que pode ser escrita da seguinte maneira:

$$P = \frac{V^2}{R}$$

A partir das equações básicas, é possível obter outras equações por meio de operações matemáticas.



A seguir são fornecidos alguns exemplos de como se utilizam as equações para determinar a potência.

### Exemplo 1

Um aquecedor elétrico tem uma resistência de  $8\Omega$  e solicita uma corrente de 10 A. Qual é a sua potência?

Formulando a questão, temos:

$$I = 10 \text{ A}$$

$$R = 8 \Omega$$

$$P = ?$$

Aplicando a fórmula  $P = I^2 \cdot R$ , temos:

$$P = 10^2 \cdot 8 \Rightarrow P = 800 \text{ W}$$

### Exemplo 2

Um isqueiro de automóvel funciona com 12 V fornecidos pela bateria. Sabendo que a resistência do isqueiro é de  $3 \Omega$ , calcular a potência dissipada.

Formulando a questão, temos:

$$V = 12 \text{ V}$$

$$R = 3 \Omega$$

$$P = ?$$

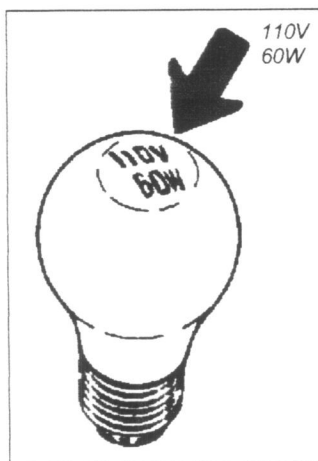
Aplicando a fórmula:

$$P = \frac{V^2}{R} \Rightarrow P = \frac{12^2}{3}$$

$$P = 48 \text{ W}$$

### Potência nominal

Certos aparelhos como chuveiros, lâmpadas e motores têm uma característica particular: seu funcionamento obedece a uma tensão previamente estabelecida. Assim, existem chuveiros para 110V ou 220V; lâmpadas para 6V, 12V, 110V, 220V e outras tensões; motores, para 110V, 220V, 380V, 760V e outras.



Esta tensão, para a qual estes consumidores são fabricados, chama-se *tensão nominal de funcionamento*. Por isso, os consumidores que apresentam tais características devem sempre ser ligados na tensão correta (nominal), normalmente especificada no seu corpo.

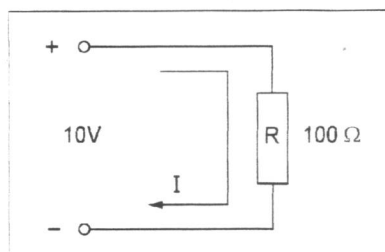
Quando esses aparelhos são ligados corretamente, a quantidade de calor, luz ou movimento produzida é exatamente aquela para a qual foram projetados. Por exemplo, uma lâmpada de 110 V/60 W ligada corretamente (em 110 V) produz 60 W entre luz e calor. A lâmpada, nesse caso, está dissipando a sua potência nominal.

Portanto, potência nominal é a potência para qual um consumidor foi projetado. Enquanto uma lâmpada, aquecedor ou motor trabalha dissipando sua potência nominal, sua condição de funcionamento é ideal.

### Limite de dissipação de potência

Há um grande número de componentes eletrônicos que se caracteriza por não ter uma tensão de funcionamento especificada. Estes componentes podem funcionar com os mais diversos valores de tensão. É o caso dos resistores que não trazem nenhuma referência quanto à tensão nominal de funcionamento.

Entretanto, pode-se calcular qualquer potência dissipada por um resistor ligado a uma fonte geradora. Vamos tomar como exemplo o circuito apresentado na figura a seguir.



A potência dissipada é

$$P = \frac{V^2}{R} = \frac{10^2}{100} = \frac{100}{100} = 1$$

$$P = 1 \text{ W}$$

Como o resistor não produz luz ou movimento, esta potência é dissipada em forma de calor que aquece o componente. Por isso é necessário verificar se a quantidade de calor produzida pelo resistor não é excessiva a ponto de danificá-lo

Desse modo podemos estabelecer a seguinte relação:

maior potência dissipada       $\Rightarrow$       maior aquecimento.  
menor potência dissipada       $\Rightarrow$       menor aquecimento

Portanto, se a dissipação de potência for limitada, a produção de calor também o será.



# Primeira Lei de Kirchhoff

Em geral, os circuitos eletrônicos constituem-se de vários componentes, todos funcionando simultaneamente. Ao abrir um rádio portátil ou outro aparelho eletrônico qualquer, observamos quantos componentes são necessários para fazê-lo funcionar.

Ao ligar um aparelho, a corrente flui por muitos caminhos; e a tensão fornecida pela fonte de energia distribui-se pelos componentes. Esta distribuição de corrente e tensão obedece a duas leis fundamentais formuladas por Kirchhoff.

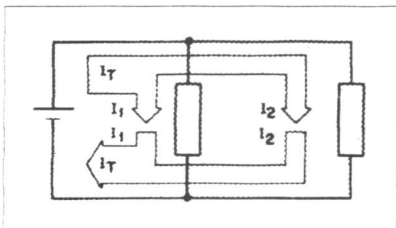
Entretanto, para compreender a distribuição das correntes e tensões em circuitos que compõem um rádio portátil, por exemplo, precisamos compreender antes como ocorre esta distribuição em circuitos simples, formados apenas por resistores, lâmpadas, etc...

Esta lição vai tratar das Leis de Kirchhoff e da medição da tensão e da corrente em circuitos com mais de uma carga, visando capacitá-lo a calcular e medir tensões e correntes em circuitos desse tipo.

Para desenvolver satisfatoriamente os conteúdos e as atividades aqui apresentados, você deverá saber previamente o que é associação de resistores e Lei de Ohm.

## Primeira Lei de Kirchhoff

A Primeira Lei de Kirchhoff, também chamada de Lei das Correntes de Kirchhoff (LCK) ou Lei dos Nós, refere-se à forma como a corrente se distribui nos circuitos em paralelo.



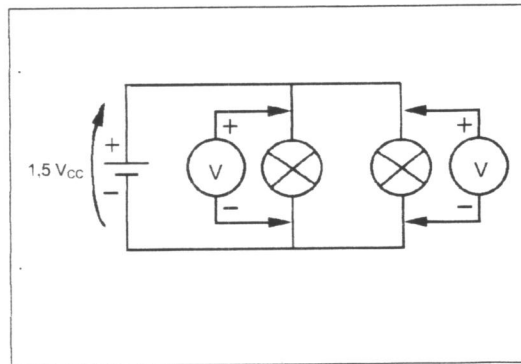
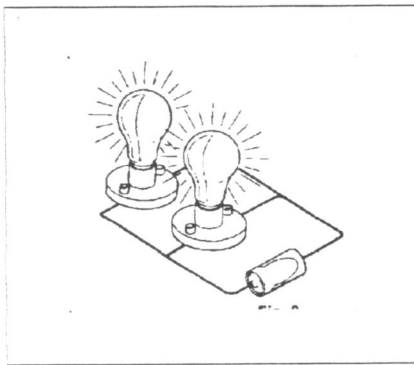
A partir da Primeira Lei de Kirchhoff e da Lei de Ohm, podemos determinar a corrente em cada um dos componentes associados em paralelo. Para compreender essa primeira lei, precisamos conhecer algumas características do circuito em paralelo.

### Características do circuito em paralelo

O circuito em paralelo apresenta três características fundamentais:

- Fornece mais de um caminho à circulação da corrente elétrica;
- A tensão em todos os componentes associados é a mesma;
- As cargas são independentes.

Estas características são importantes para a compreensão das leis de Kirchhoff. Podem ser constatadas tomando como ponto de partida o circuito abaixo.



Observe que tanto a primeira como a segunda lâmpada têm um dos terminais ligado diretamente ao pólo positivo e o outro, ao pólo negativo. Dessa forma, cada lâmpada conecta-se diretamente à pilha e recebe  $1,5 V_{CC}$  nos seus terminais.

### As correntes na associação em paralelo

A função da fonte de alimentação nos circuitos é fornecer aos consumidores a corrente necessária para seu funcionamento.

Quando um circuito possui apenas uma fonte de alimentação, a corrente fornecida por essa fonte chama-se corrente total. Nos esquemas, é representada pela notação  $I_T$ .

Em relação à fonte de alimentação não importa que os consumidores sejam lâmpadas, resistores ou aquecedores. O que importa é a tensão e a resistência total dos consumidores que determinam a corrente total ( $I_T$ ) fornecida por essa mesma fonte.

A corrente total é dada pela divisão entre tensão total e resistência total.  
Matematicamente, a corrente total é obtida por:

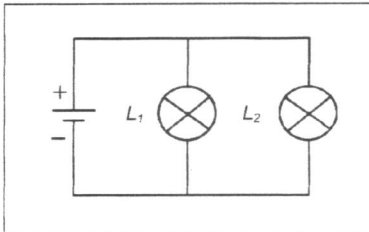
$$I_T = \frac{V_T}{R_T}$$

### Observação

Chega-se a esse resultado aplicando a Lei de Ohm ao circuito:

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

No exemplo a seguir, a corrente total depende da tensão de alimentação (1,5 V) e da resistência total das lâmpadas ( $L_1$  e  $L_2$  em paralelo).



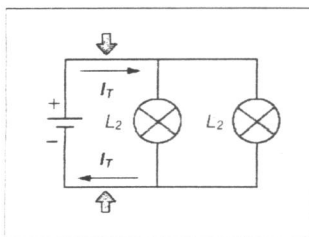
$$R_T = \frac{R_{L1} \cdot R_{L2}}{R_{L1} + R_{L2}} = \frac{200 \cdot 300}{200 + 300} = \frac{60000}{500} = 120 \Omega$$

Portanto, a corrente total será:

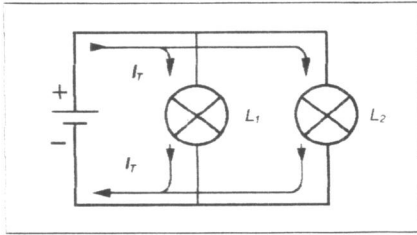
$$I_T = \frac{V_T}{R_T} = \frac{1,5}{120} = 0,0125A$$

ou **12,5 mA**

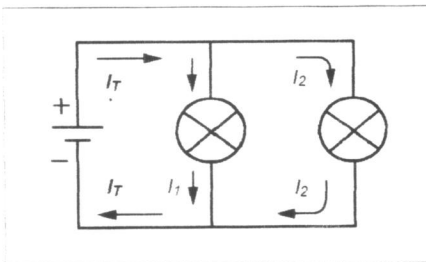
Este valor de corrente circula em toda a parte do circuito que é comum às duas lâmpadas.



A partir do nó (no terminal positivo da pilha), a corrente total ( $I_T$ ) divide-se em duas partes.

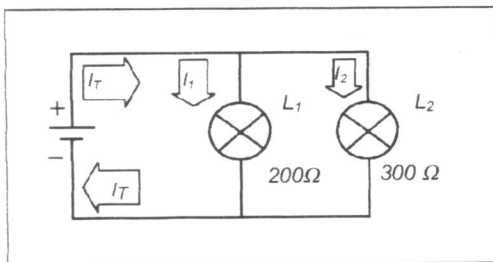


Essas correntes são chamadas de correntes parciais e podem ser denominadas  $I_1$  (para a lâmpada 1) e  $I_2$  (para a lâmpada 2).



A forma como a corrente  $I_T$  se divide a partir do nó depende unicamente da resistência das lâmpadas. Assim, a lâmpada de menor resistência permitirá a passagem de maior parcela da corrente  $I_T$ .

Portanto, a corrente  $I_1$  na lâmpada 1 (de menor resistência) será **maior** que a corrente  $I_2$  na lâmpada 2.



$$I_1 > I_2$$

Pode-se calcular o valor da corrente que circula em cada ramal a partir da Lei de Ohm. Para isso basta conhecer a tensão aplicada e a resistência de cada lâmpada.

Desse modo, temos:

- **Lâmpada 1**

$$I_1 = \frac{V_{L1}}{R_{L1}} = \frac{1,5}{200} = 0,0075 \text{ A ou } 7,5 \text{ mA}$$

- **Lâmpada 2**

$$I_2 = \frac{V_{L2}}{R_{L2}} = \frac{1,5}{300} = 0,005 \text{ A ou seja, } 5 \text{ mA}$$

Com essas noções sobre o circuito em paralelo, podemos compreender melhor a Primeira Lei de Kirchhoff que diz: "A soma das correntes que chegam a um nó é igual à soma das correntes que dele saem."

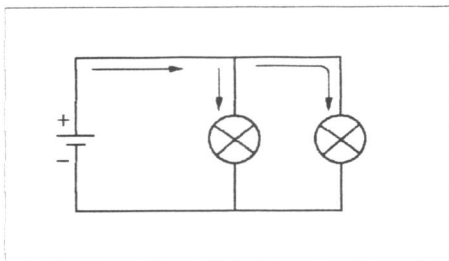
$$I_T = I_1 + I_2$$

Matematicamente, isso resulta na seguinte equação:

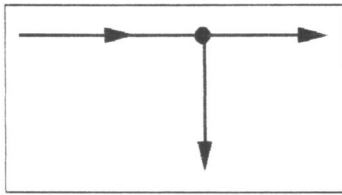
A partir desse enunciado, é possível determinar um valor de corrente desconhecida, bastando para isso que se disponha dos demais valores de corrente que chegam ou saem de um nó.

### Demonstração da 1ª Lei de Kirchhoff

Para demonstrar essa 1ª Lei de Kirchhoff, vamos observar os valores já calculados do circuito em paralelo mostrado a seguir.



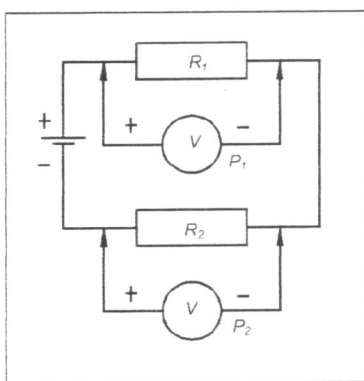
Vamos considerar o nó superior: neste caso, temos o que mostra a figura a seguir.



Observando os valores de corrente no nó, verificamos que realmente as correntes que saem, somadas, originam um valor igual ao da corrente que entra.

# Segunda Lei de Kirchhoff

A 2ª Lei de Kirchhoff, também conhecida como Lei das Malhas ou Lei das Tensões de Kirchhoff (LTK), refere-se à forma como a tensão se distribui nos circuitos em série.

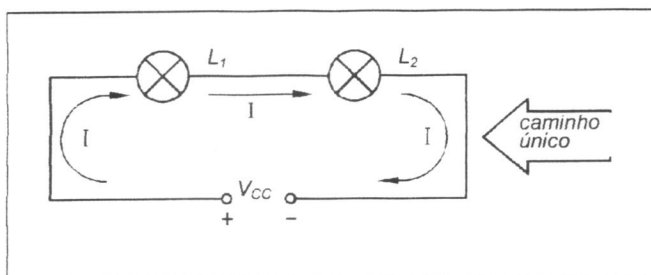


Por isso, para compreender essa lei, é preciso conhecer antes algumas características do circuito em série.

## Características do circuito série

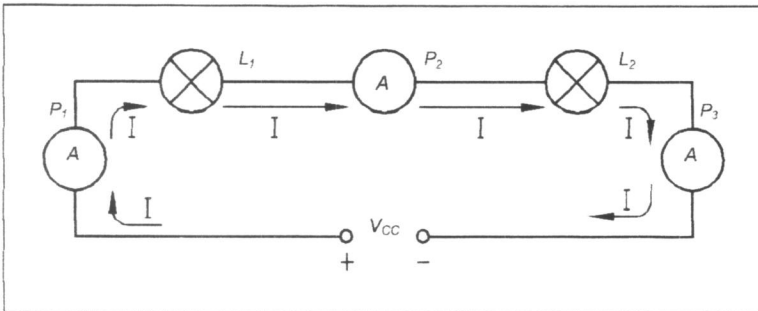
O circuito série apresenta três características importantes:

1. Fornece apenas um caminho para a circulação da corrente elétrica;
2. A intensidade da corrente é a mesma ao longo de todo o circuito em série;
3. Funcionamento de qualquer um dos consumidores depende do funcionamento dos consumidores restantes.



O circuito ao lado ilustra a primeira característica: como existe um único caminho, a mesma corrente que sai do pólo positivo da fonte passa pela lâmpada L1 e chega à lâmpada L2 e retorna à fonte pelo pólo negativo.

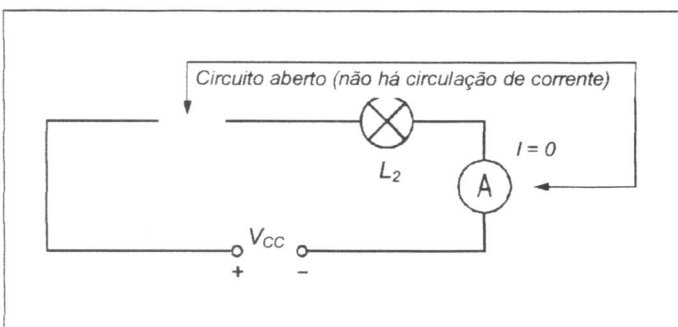
Isso significa que um medidor de corrente (amperímetro, miliamperímetro) pode ser colocado em qualquer parte do circuito. Em qualquer posição, o valor indicado pelo instrumento será o mesmo. A figura a seguir ajuda a entender a segunda característica do circuito em série.



**Observação**

A corrente que circula em um circuito em série é designada simplesmente pela notação  $I$ .

A forma de ligação das cargas, uma após a outra, mostradas na figura abaixo, ilustra a terceira característica. Caso uma das lâmpadas (ou qualquer tipo de carga) seja retirada do circuito, ou tenha o filamento rompido, o circuito elétrico fica aberto, e a corrente cessa.



Pode-se dizer, portanto, que num circuito em série o funcionamento de cada componente depende dos restantes.

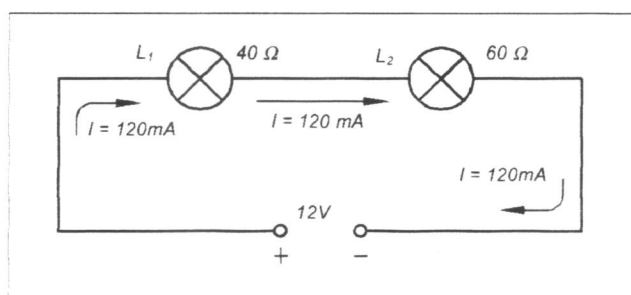


### Corrente na associação em série

Pode-se determinar a corrente de igual valor ao longo de todo o circuito em série, com o auxílio da Lei de Ohm. Nesse caso, deve-se usar a tensão nos terminais da associação e a sua resistência total será como é mostrado na expressão a seguir.

$$I = \frac{V_T}{R_T}$$

Observe o circuito a seguir.



Tomando-o como exemplo, temos:

$$R_T = 40\Omega + 60\Omega = 100\Omega$$

$$V_T = 12V$$

$$I = \frac{12}{100} = 0,12A \text{ ou } 120mA$$

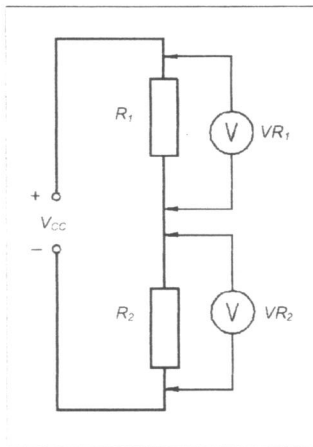
### Tensões no circuito em série

Como os dois terminais da carga não estão ligados diretamente à fonte, a tensão nos componentes de um circuito em série difere da tensão da fonte de alimentação.

O valor de tensão em cada um dos componentes é sempre **menor** que a tensão de alimentação.

A parcela de tensão que fica sobre cada componente do circuito denomina-se queda de tensão no componente. A queda de tensão é representada pela notação **V**.

Observe no circuito a seguir o voltímetro que indica a queda de tensão em  $R_1$  ( $V_{R1}$ ) e o voltímetro que indica a queda de tensão em  $R_2$  ( $V_{R2}$ ).

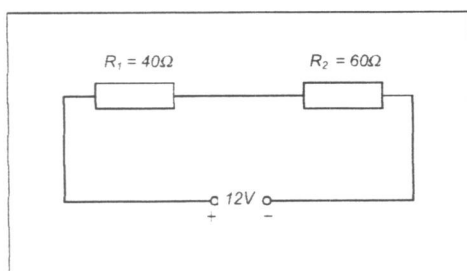


### Determinação da queda de tensão

A queda de tensão em cada componente da associação em série pode ser determinada pela Lei de Ohm. Para isso é necessário dispor-se tanto da corrente no circuito como dos seus valores de resistência.

$$V = R \cdot I \begin{array}{l} \longrightarrow V_{R1} = R_1 \cdot I \\ \longrightarrow V_{R2} = R_2 \cdot I \\ \longrightarrow V_{Rn} = R_n \cdot I \end{array}$$

Vamos tomar como exemplo o circuito apresentado na figura abaixo.



$$I = \frac{V}{R_T} = \frac{12}{100} = 0,12A$$

$$V = R \cdot I \longrightarrow \text{queda de tensão em } R_1: V_{R1} = R_1 \cdot I = 40 \cdot 0,12 = 4,8V$$

$$V = R \cdot I \longrightarrow \text{queda de tensão em } R_2: V_{R2} = R_2 \cdot I = 60 \cdot 0,12 = 7,2V$$

Observando os valores de resistência e a queda de tensão, notamos que:

- Resistor de **maior resistência** fica com uma parcela **maior** de tensão;
- Resistor de **menor resistência** fica com a **menor** parcela de tensão.

Pode-se dizer que, em um circuito em série, a queda de tensão é proporcional ao valor do resistor, ou seja

- *Maior resistência* → *maior queda de tensão*
- *Menor resistência* → *menor queda de tensão*

Com essas noções sobre o circuito em série, fica mais fácil entender a 2ª Lei de Kirchhoff que diz que: "A soma das quedas de tensão nos componentes de uma associação em série é igual à tensão aplicada nos seus terminais extremos."

Chega-se a essa lei tomando-se como referência os valores de tensão nos resistores do circuito determinado anteriormente e somando as quedas de tensão nos dois resistores ( $V_{R1} + V_{R2}$ ). Disso resulta:  $4,8V + 7,2V = 12V$ , que é a tensão de alimentação.

### Aplicação

Geralmente a 2ª Lei de Kirchhoff serve de "ferramenta" para determinar quedas de tensão desconhecidas em circuitos eletrônicos.

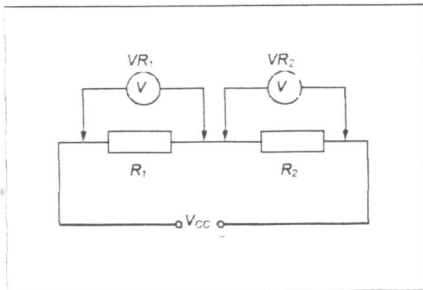
O circuito em série, formado por dois ou mais resistores, divide a tensão aplicada na sua entrada em duas ou mais partes. Portanto, o circuito em série é um **divisor de tensão**.

### Observação

O **divisor de tensão** é usado para diminuir a tensão e para "polarizar" componentes eletrônicos, tornando a tensão adequada quanto à polaridade e quanto à amplitude.

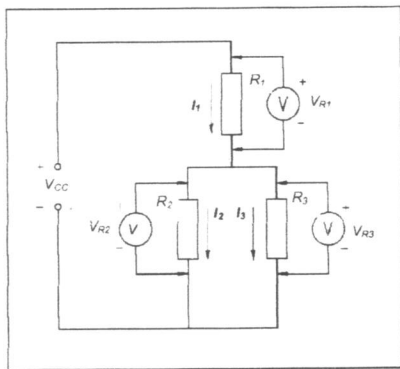
É também usado em medições de tensão e corrente, dividindo a tensão em amostras conhecidas em relação à tensão medida.

Quando se dimensionam os valores dos resistores, pode-se dividir a tensão de entrada da forma que for necessária.



### Leis de Kirchhoff e de Ohm em circuitos mistos.

As Leis de Kirchhoff e de Ohm permitem determinar as tensões ou correntes em cada componente de um circuito misto.



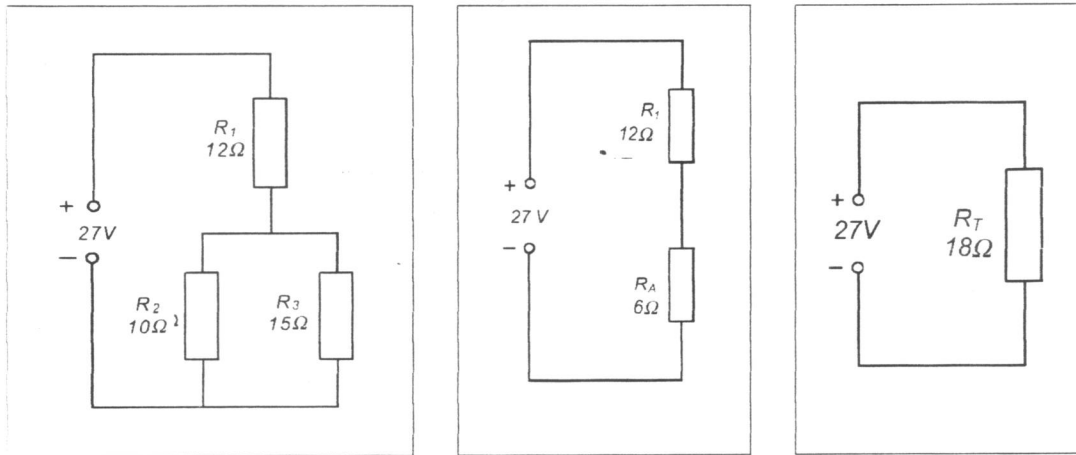
Os valores elétricos de cada componente do circuito podem ser determinados a partir da execução da seqüência de procedimentos a seguir:

- Determinação da resistência equivalente;
- Determinação da corrente total;
- Determinação das tensões ou correntes nos elementos do circuito.

### Determinação da resistência equivalente

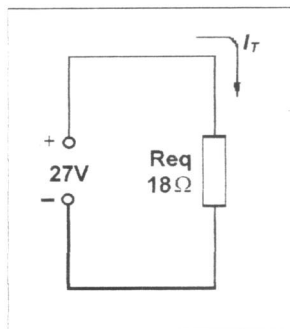
Para determinar a resistência equivalente, ou total ( $R_T$ ) do circuito, empregam-se os "circuitos parciais". A partir desses circuitos, é possível reduzir o circuito original e simplificá-lo até alcançar o valor de um único resistor.

Pela análise dos esquemas dos circuitos abaixo fica clara a determinação da resistência equivalente.



### Determinação da corrente total

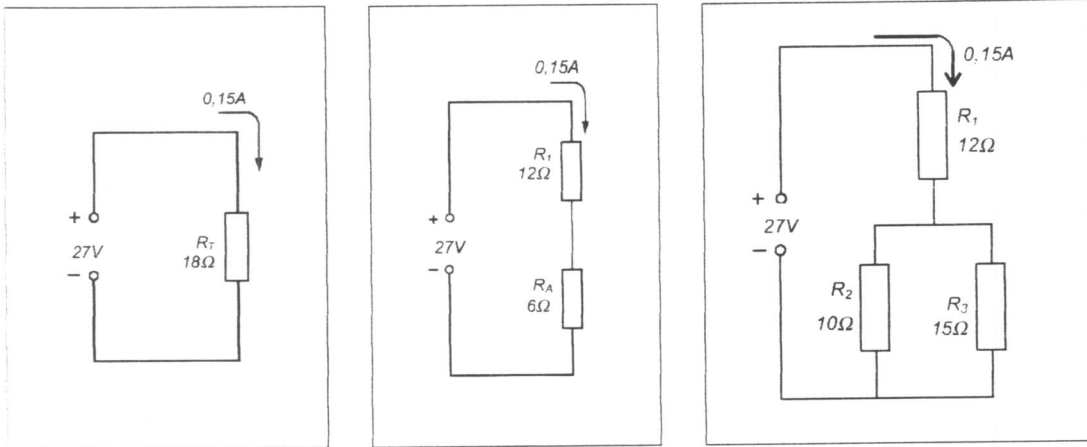
Pode-se determinar a corrente total aplicando ao circuito equivalente final a Lei de Ohm.



$$I_T = I_T = \frac{E_T}{R_T} = \frac{27V}{18\Omega} = 1,5A \Rightarrow I_r = 1,5A$$

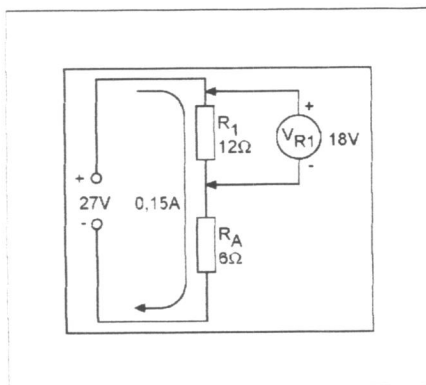
O circuito equivalente final é uma representação simplificada do circuito original (e do circuito parcial).

Conseqüentemente, a corrente calculada também é válida para esses circuitos, conforme mostra a seqüência dos circuitos abaixo.

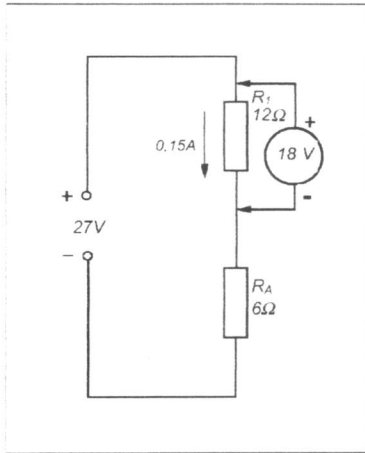


### Determinação das tensões e correntes individuais

A corrente total, aplicada ao "circuito parcial", permite determinar a queda de tensão no resistor  $R_1$ . Observe que  $V_{R_1} = I_{R_1} \cdot R_1$ . Como  $I_{R_1}$  é a mesma  $I$ ,  $V_{R_1} = 0,15A \cdot 12\Omega = 18$   
 $V$   $V_{R_1} = 18 V$ .



Pode-se determinar a queda de tensão em  $R_A$  pela 2ª Lei de Kirchhoff: a soma das quedas de tensão num circuito em série equivale à tensão de alimentação.



$$V_T = V_{R1} + V_{RA}$$

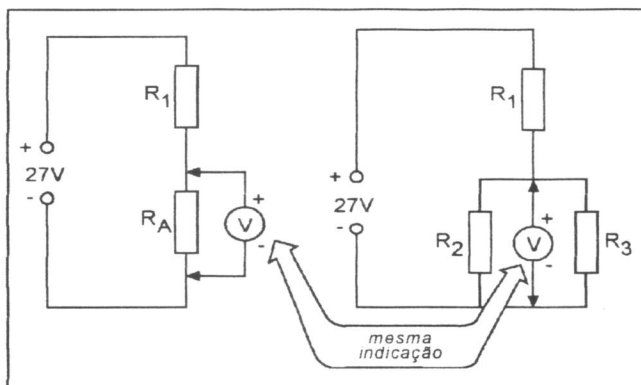
$$V_{RA} = V_T - V_{R1} = 27 \text{ V} - 18 \text{ V} = 9 \text{ V}$$

$$\mathbf{V_{RA} = 9 \text{ V}}$$

#### Observação

Determina-se também a queda de tensão em  $R_A$  pela Lei de Ohm:  $V_{RS} = I \cdot R_A$ , porque os valores de  $I$  (0,15 A) e  $R_A$  (6 Ω) são conhecidos. Ou seja:  $V_{RA} = 0,15 \text{ A} \cdot 6 \text{ Ω} = 9 \text{ V}$ .

Calculando a queda de tensão em  $R_A$ , obtém-se na realidade a queda de tensão na associação em paralelo  $R_2 \cdot R_3$ .



$$\mathbf{V_{RA} = V_{R2} = V_{R3}}$$

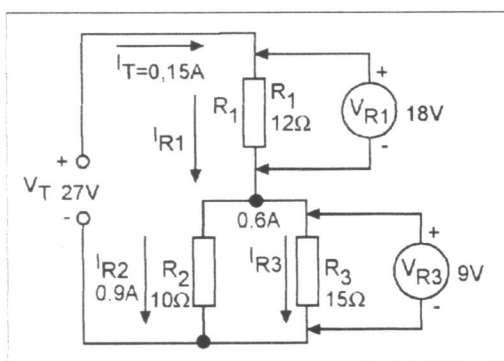
Os últimos dados ainda não determinados são as correntes em  $R_2$  ( $I_{R2}$ ) e  $R_3$  ( $I_{R3}$ ). Estas correntes podem ser calculadas pela Lei de Ohm:

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

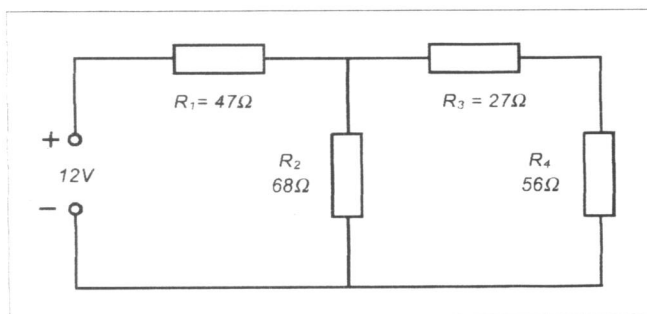
$$I_{R2} = \frac{V_{R2}}{R_2} = \frac{9\text{ V}}{10\ \Omega} = 0,9\text{ A}$$

$$I_{R3} = \frac{V_{R3}}{R_3} = \frac{9\text{ V}}{15\ \Omega} = 0,6\text{ A}$$

A figura a seguir mostra o circuito original com todos os valores de tensão e corrente.



A seguir, é apresentado outro circuito como mais um exemplo de desenvolvimento desse cálculo.

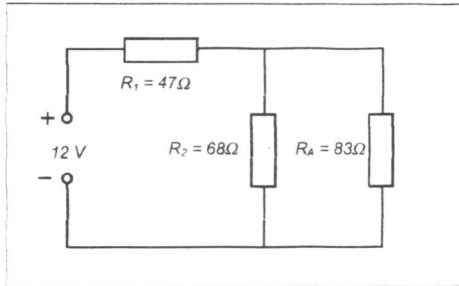


O cálculo deve ser feito nas seguintes etapas:



a. Determinação da resistência equivalente

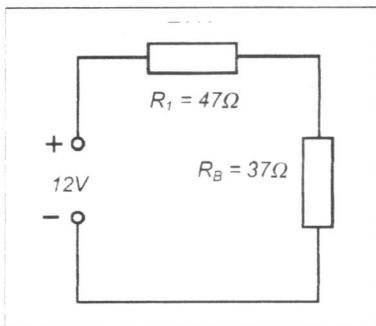
Para determinar a resistência equivalente, basta substituir  $R_3$  e  $R_4$  em série no circuito por  $R_A$ .



$$R_A = R_3 + R_4 = 27 + 56 = 83$$

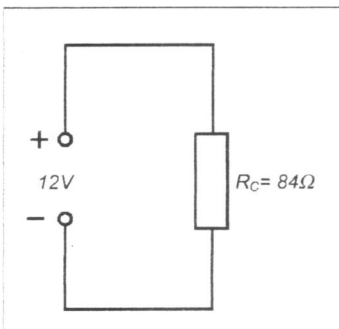
$$R_A = 83\Omega$$

Substituindo a associação de  $R_2//R_A$  por um resistor  $R_B$ , temos:



$$R_B = \frac{R_A \times R_2}{R_A + R_2} = \frac{68 \times 83}{68 + 83} = 37\Omega$$

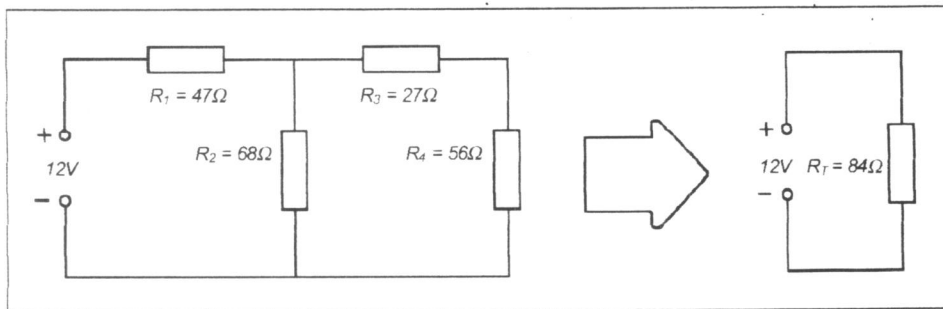
Substituindo a associação em série de  $R_1$  e  $R_B$  por um resistor  $R_C$ , temos o que mostra a figura a seguir.



$$R_C = R_1 + R_B = 47 + 37 = 84\Omega$$

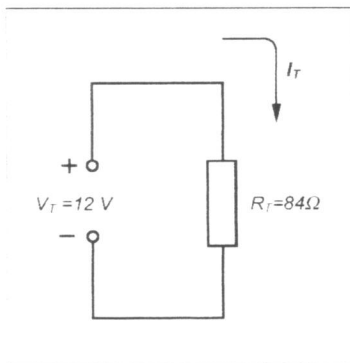
$$R_C = 84\Omega$$

Determina-se  $R_T$  a partir de  $R_C$ , uma vez que representa a resistência total do circuito.



b. Determinação da corrente total

Para determinar a corrente total, usa-se a tensão de alimentação e a resistência equivalente.

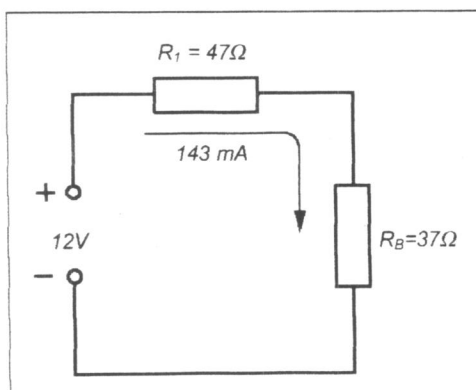


$$I_T = \frac{V_T}{R_T} = \frac{12 \text{ V}}{84 \Omega} = 0,143 \text{ A ou } 143 \text{ mA}$$

$$I_T = 143 \text{ mA}$$

c. Determinação da queda de tensão em  $R_1$  e  $R_B$

Para determinar a queda de tensão, usa-se a corrente  $I_T$  no segundo circuito parcial, conforme mostra figura a seguir.



$$V_{R1} = I_{R1} \cdot R_1$$

Como  $I_{R1} = I_T = 143 \text{ mA}$

$$V_{R1} = 0,143 \cdot 47 = 6,7 \text{ V}$$

$$V_{R1} = 6,7 \text{ V}$$

Determina-se a queda no resistor  $R_B$  pela Lei de Kirchhoff:

$$V = V_{R1} + V_{RB}$$

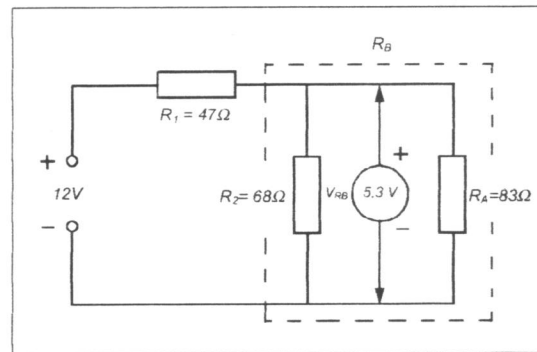
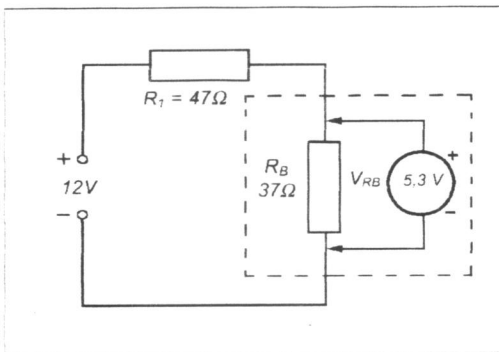
$$V_{RB} = V - V_{R1}$$

$$V_{RB} = 12 - 6,7 = 5,3 \text{ V}$$

$$V_{RB} = 5,3 \text{ V}$$

d. Determinação das correntes em  $R_2$  e  $R_A$

O resistor  $R_B$  representa os resistores  $R_2$  e  $R_A$  em paralelo (primeiro circuito parcial); portanto, a queda de tensão em  $R_B$  é, na realidade, a queda de tensão na associação  $R_2//R_A$ .



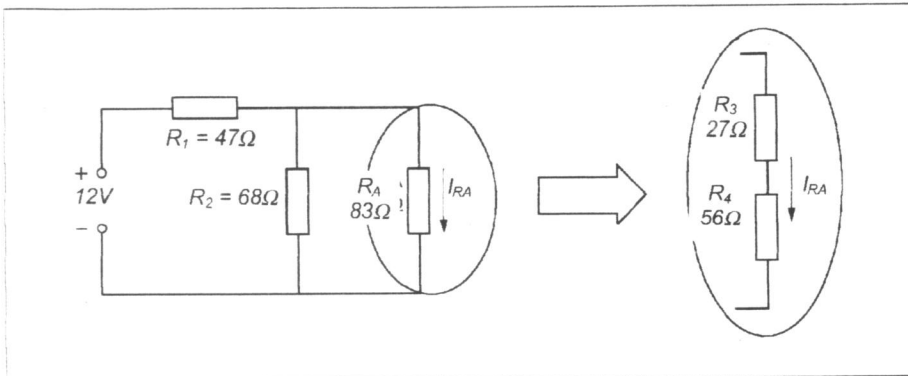
Aplicando a Lei de Ohm, pode-se calcular a corrente em  $R_2$  e  $R_A$ .

$$I_{R2} = \frac{V_{R2}}{R_2} = \frac{5,3}{68} = 0,078 \text{ A} =$$

$$I_{RA} = \frac{V_{RA}}{R_A} = \frac{5,3}{83} = 0,064 \text{ A}$$

e. Determinação das quedas de tensão em  $R_3$  e  $R_4$

O resistor  $R_A$  representa os resistores  $R_3$  e  $R_4$  em série.



Assim, a corrente denominada  $I_{RA}$  é, na realidade, a corrente que circula nos resistores  $R_3$  e  $R_4$  em série. Com o valor da corrente  $I_{RA}$  e as resistências de  $R_3$  e  $R_4$ , calculam-se as suas quedas de tensão pela Lei de Ohm.

$$V_{R_3} = R_3 \cdot I_{RA} = 27 \cdot 0,064 = 1,7 \text{ V}$$

$$V_{R_4} = R_4 \cdot I_{RA} = 56 \cdot 0,064 = 3,6 \text{ V}$$

# Instrumentos de medição de grandezas elétricas

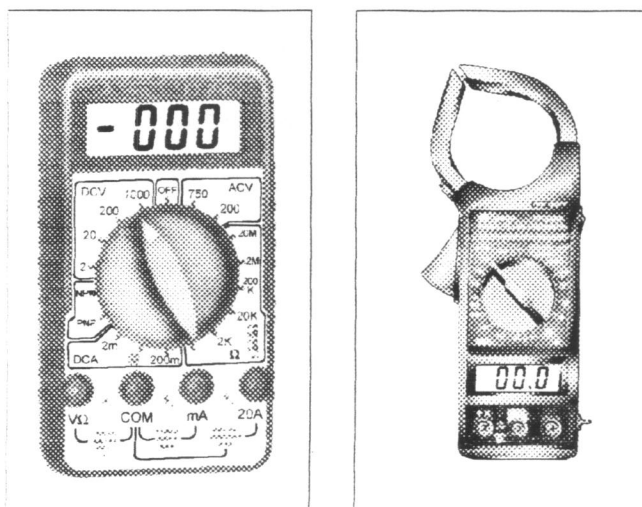
Estudando os capítulos anteriores, você aprendeu o que é corrente, o que é tensão e o que é resistência. Por isso, você já sabe que corrente, tensão e resistência são grandezas elétricas e que, como tal, podem ser medidas.

Existem vários instrumentos para medições dessas grandezas elétricas mas, neste capítulo, estudaremos apenas o multímetro digital e o volt-ampérmetro alicate.

## Instrumentos

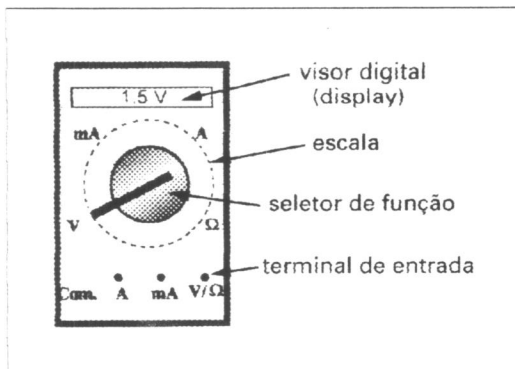
O multímetro digital e o volt-ampérmetro alicate são instrumentos dotados de múltiplas funções: com eles é possível fazer medições de tensão, corrente, resistência. Com alguns de seus modelos pode-se, também, testar componentes eletrônicos, e até mesmo medir outros tipos de grandezas.

A figura que segue, ilustra um modelo de multímetro digital e um modelo de volt-ampérmetro alicate digital.



## Multímetro digital

Com a utilização do multímetro digital, a leitura dos valores observados é de fácil execução, pois eles aparecem no visor digital, sem a necessidade de interpretação de valores como ocorre com os instrumentos analógicos, ou seja, que têm um mostrador com um ponteiro.

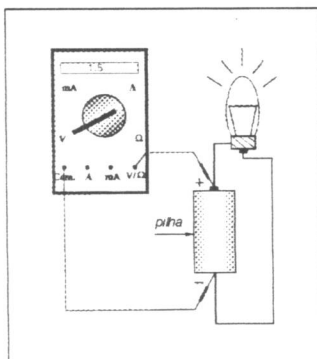


Antes de se efetuar qualquer medição, deve-se ajustar o seletor de funções na função correta, isto é, na grandeza a ser medida (tensão, ou corrente, ou resistência) e a escala no valor superior ao ponto observado. Quando não se tem idéia do valor a ser medido, inicia-se pela escala de maior valor, e de acordo com o valor observado, diminui-se a escala até um valor ideal.

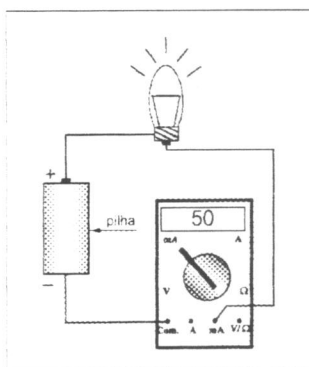
### Observação

Nunca se deve mudar de escala ou função quando o instrumento de medição estiver conectado a um circuito ligado, porque isso poderá causar a queima do instrumento. Para a mudança de escala, deve-se desligar antes o circuito. Para a mudança de função, deve-se desligar o circuito, desligar as pontas de prova, e selecionar a função e escala apropriadas antes da ligação e conexão das pontas de prova no circuito.

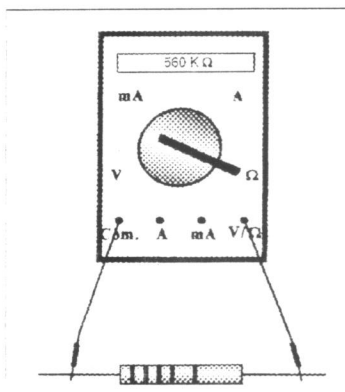
Para a medição de **tensão** elétrica, as pontas de prova do instrumento devem ser conectadas aos pontos a serem medidos, ou seja, **em paralelo**.



Nas medições da **corrente** elétrica, o circuito deve ser interrompido e o instrumento **inserido** nesta parte do circuito, para que os elétrons que estão circulando por ele passem também pelo instrumento e este possa informar o valor dessa corrente. Desse modo, o instrumento deve ser ligado **em série** com o circuito.



Para a medição de **resistência** elétrica, o resistor desconhecido deve estar **desconectado** do circuito. Se isto não for feito, o valor encontrado não será verdadeiro, pois o restante do circuito funcionará como uma resistência. Além disso, se o circuito estiver energizado poderá ocorrer a queima do instrumento.

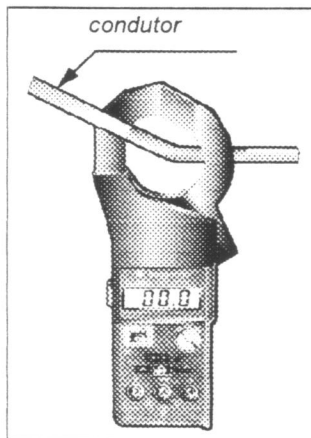


### Volt-ampérimetro alicate

Para a medição de tensão e resistência com o volt-ampérimetro alicate deve-se seguir os mesmos procedimentos empregados na utilização do multímetro.

Na medição de corrente elétrica, o manuseio do volt-ampérimetro alicate difere do manuseio do multímetro, pois com ele não é necessário interromper o circuito para colocá-lo em série.

Basta abraçar o condutor a ser medido com a garra do alicate.



O volt-ampérmetro alicate é indispensável em instalações industriais, para medições da corrente elétrica de motores, transformadores, cabos alimentadores de painéis. No entanto, com este instrumento só é possível medir corrente elétrica alternada, pois seu funcionamento se baseia no princípio da indução eletromagnética.

Antes de utilizar qualquer instrumento de medida, é necessário que se consulte o manual do instrumento, no qual são descritas particularidades e formas de utilização, pois de um instrumento para outro ocorrem diferenças significativas.



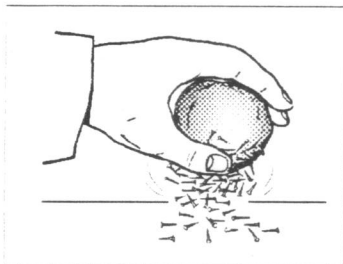
# Magnetismo

O magnetismo impressionou o homem desde a antigüidade, quando foi percebido pela primeira vez. A magnetita instigava a curiosidade porque atraía certos materiais.

Muitos cientistas dedicaram anos ao estudo do magnetismo até que o fenômeno fosse completamente conhecido e pudesse ser aplicado proveitosamente. Este capítulo, que tratará do magnetismo natural, visa o conhecimento da origem e das características do magnetismo e dos ímãs.

## Magnetismo

O magnetismo é uma propriedade que certos materiais têm de exercer uma atração sobre materiais ferrosos.



As propriedades dos corpos magnéticos são grandemente utilizadas em eletricidade, em motores e geradores, por exemplo, e em eletrônica, nos instrumentos de medição e na transmissão de sinais.

## Ímãs

Alguns materiais encontrados na natureza apresentam propriedades magnéticas naturais. Esses materiais são denominados de **ímãs naturais**. Como exemplo de ímã natural, pode-se citar a **magnetita**.

É possível também obter um ímã de forma artificial. Os ímãs obtidos dessa maneira são denominados **ímãs artificiais**. Eles são compostos por barras de materiais ferrosos que o homem **magnetiza** por **processos artificiais**.

Os ímãs artificiais são muito empregados porque podem ser fabricados com os mais diversos formatos, de forma a atender às mais variadas necessidades práticas, como por exemplo, nos pequenos motores de corrente contínua que movimentam os carrinhos elétricos dos brinquedos do tipo “Autorama”.

Os **ímãs artificiais** em geral têm **propriedades magnéticas mais intensas** que os naturais.

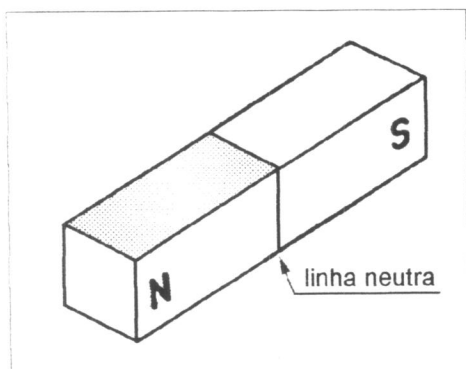
### **Pólos magnéticos de um ímã**

Externamente, as forças de atração magnética de um ímã se manifestam com maior intensidade nas suas extremidades. Por isso, as **extremidades do ímã** são denominadas de **pólos magnéticos**.

Cada um dos pólos apresenta propriedades magnéticas específicas. eles são denominados de **pólo sul** e **pólo norte**.

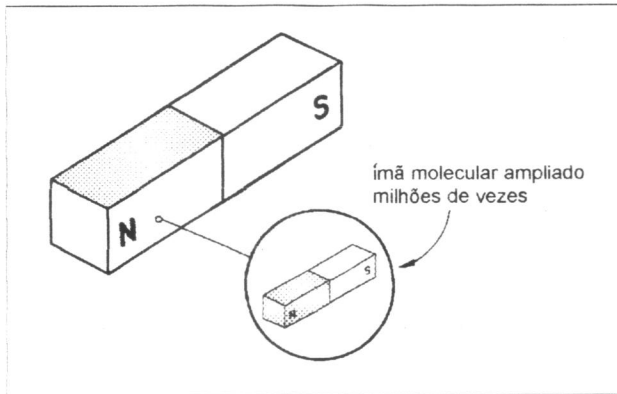
Uma vez que as forças magnéticas dos ímãs são mais concentradas nos pólos, é possível concluir que a intensidade dessas propriedades decresce para o centro do ímã.

Na região central do ímã, estabelece-se uma linha onde as forças de **atração magnética** do pólo sul e do pólo norte são iguais e **se anulam**. Essa linha é denominada de linha neutra. A **linha neutra** é, portanto, a linha **divisória** entre os pólos do ímã.

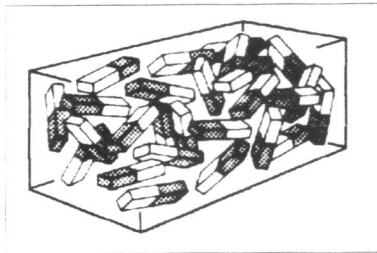


## Origem do magnetismo

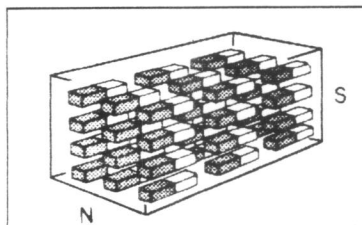
O magnetismo origina-se na organização atômica dos materiais. Cada **molécula** de um material é um **pequeno ímã** natural, denominado de ímã molecular ou domínio.



Quando, durante a formação de um material, as **moléculas** se orientam em **sentidos diversos**, os efeitos magnéticos dos ímãs moleculares se anulam, resultando em um material **sem** magnetismo natural.



Se, durante a formação do material, as **moléculas** assumem uma **orientação única** ou predominante, os efeitos magnéticos de cada ímã molecular se somam, dando **origem** a um **ímã com propriedades magnéticas** naturais.

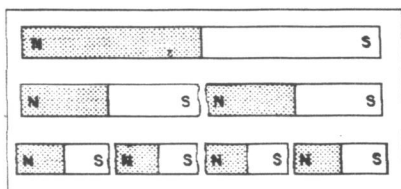


### Observação

Na fabricação de ímãs artificiais, as moléculas desordenadas de um material sofrem um processo de orientação a partir de forças externas.

### Inseparabilidade dos pólos

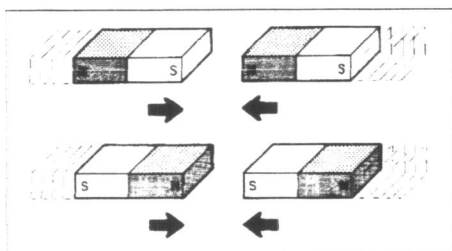
Os ímãs têm uma propriedade característica: por mais que se divida um ímã em partes menores, as partes sempre terão um pólo norte e um pólo sul.



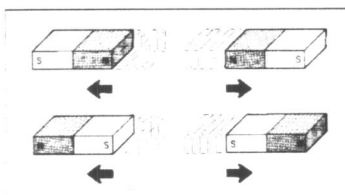
Esta propriedade é denominada de inseparabilidade dos pólos.

### Interação entre ímãs

Quando os pólos magnéticos de dois ímãs estão próximos, as forças magnéticas dos dois ímãs reagem entre si de forma singular. Se **dois pólos** magnéticos **diferentes** forem aproximados (norte de um, com sul de outro), haverá uma **atração** entre os dois ímãs.



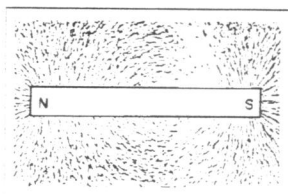
Se dois **pólos** magnéticos **iguais** forem aproximados (por exemplo, norte de um próximo ao norte do outro), haverá uma **repulsão** entre os dois.



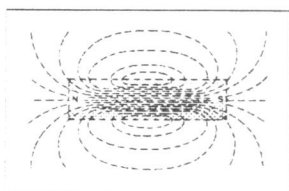
### Campo magnético - linhas de força

O **espaço** ao redor do ímã em que existe atuação das **forças magnéticas** é chamado de **campo magnético**. Os efeitos de atração ou repulsão entre dois ímãs, ou de atração de um ímã sobre os materiais ferrosos se devem à existência desse campo magnético.

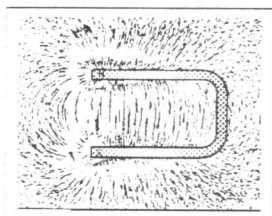
Como artifício para estudar esse campo magnético, admite-se a existência de **linhas de força magnética** ao redor do ímã. Essas linhas são **invisíveis**, mas podem ser visualizadas com o auxílio de um recurso. Colocando-se um ímã sob uma lâmina de vidro, e espalhando limalha de ferro sobre essa lâmina, as limalhas se orientam conforme as linhas de força magnética.



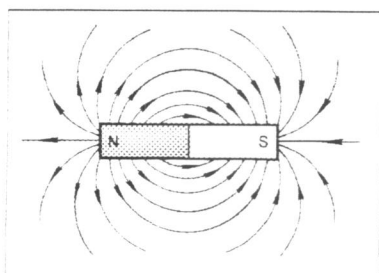
O formato característico das limalhas sobre o vidro, denominado de espectro magnético, é representado na ilustração a seguir.



Essa experiência mostra também a **maior concentração** de limalhas na região dos pólos do ímã. Isso é devido à maior intensidade de magnetismo nas **regiões polares**, pois aí se concentram as linhas de força.



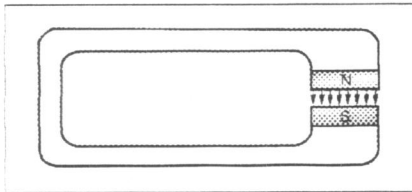
Com o objetivo de padronizar os estudos relativos ao magnetismo e às **linhas de força**, por **convenção** estabeleceu-se que as linhas de força de um campo magnético se dirigem do **pólo norte para o pólo sul**.



### Campo magnético uniforme

Campo magnético uniforme é aquele em que o vetor de indução magnética  $B$  tem o mesmo módulo, a mesma direção e o mesmo sentido em todos os pontos do meio, homogêneo por hipótese.

No campo magnético uniforme, as **linhas de indução** são retas paralelas igualmente espaçadas e orientadas. O campo magnético na região destacada na ilustração a seguir, por exemplo, é aproximadamente uniforme.



Essa convenção se aplica às linhas de força externas ao ímã.

### Fluxo da indução magnética

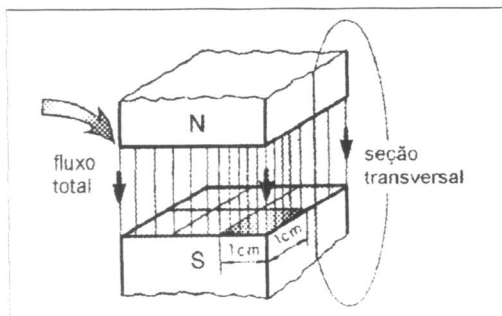
Fluxo da indução magnética é a quantidade total de linhas de um ímã que constituem o campo magnético. É representado graficamente pela letra grega  $\Phi$  (lê-se "fi").

O **fluxo da indução magnética** é uma grandeza e, como tal, pode ser medido. No **SI** (Sistema Internacional de Medidas), sua unidade de medida é o **weber** (Wb). No Sistema **CGS** de medidas, sua unidade é o **maxwell** (Mx).

Para transformar weber em maxwell, usa-se a seguinte relação: **1 Mx = 10<sup>-8</sup> Wb**

### Densidade de fluxo ou indução magnética

Densidade de fluxo ou indução magnética é o número de linhas por centímetro quadrado de seção do campo magnético em linhas/cm<sup>2</sup>.



A densidade de fluxo ou indução magnética é representada graficamente pela letra maiúscula **B** e sua unidade de medida no sistema **SI** é o **tesla (T)** e no **CGS** é o **Gauss (G)**.

Para transformar gauss em tesla, usa-se a seguinte relação: **1G = 10<sup>-4</sup> T**.

Conhecendo-se o valor da superfície (seção transversal **A**) em que estão concentradas as linhas de força e a densidade do fluxo magnético **B**, pode-se enunciar a fórmula do fluxo de indução magnética como o produto da densidade do fluxo **B** pela seção transversal **A**. Assim, matematicamente temos:  **$\phi = B \times A$**

Nessa fórmula,  **$\phi$**  é o fluxo de indução magnética em Mx; **B** é a densidade de fluxo magnético em G; e **A** é a seção transversal em centímetros quadrados.

### Exemplos de cálculos

1. Calcular o fluxo de indução magnética onde a densidade de fluxo é 6000 G, concentrada em uma seção de 6 cm<sup>2</sup>.

Aplicando-se a fórmula  $\phi = B \times A$ , temos:

$$\phi = 6000 \times 6$$

$$\phi = 36000 \text{ Mx}$$

Transformando-se Mx em Wb, temos:

$$36000 \times 10^{-8} = 0,00036 \text{ Wb}$$

Se, para calcular o fluxo de indução magnética temos a fórmula  $\phi = B \times A$ , para calcular a densidade do fluxo (**B**) temos:

$$B = \frac{\Phi}{A}$$

2. Calcular a densidade de fluxo em uma seção de 6 cm<sup>2</sup>, sabendo-se que o fluxo magnético é de 36000 Mx (ou linhas).

$$B = \frac{\Phi}{A} = \frac{36000}{6} = 6000 \text{ G}$$

Transformando gauss em tesla, temos:

$$G = 6000 \times 10^{-4} = 0,6 \text{ T}$$

## Imantação ou magnetização

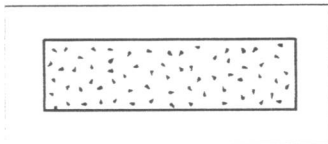
Imantação ou magnetização é o processo pelo qual os ímãs atômicos (ou dipolos magnéticos) de um material são alinhados. Isso é obtido pela **ação** de um **campo magnético externo**.

É possível classificar os materiais de acordo com a intensidade com que eles se imantam, isto é, o modo como ordenam seus ímãs atômicos sob a ação de um campo magnético. Assim, esses materiais podem ser classificados em:

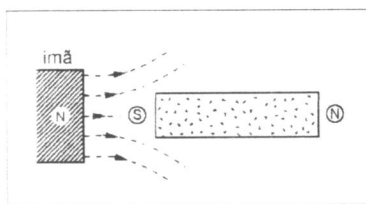
- Paramagnéticos;
- Diamagnéticos;
- Ferromagnéticos.

Experimentalmente, é possível verificar que certos materiais, quando colocados no interior de uma bobina (ou indutor) ligada em C.C., ou próximos de um ímã, têm seus átomos fracamente orientados no mesmo sentido do campo magnético. Esses materiais são denominados de **paramagnéticos**.

Material paramagnético sem a ação de um campo magnético



Material paramagnético sob a ação de um campo magnético



Materiais como o ferro, o aço, o cobalto, o níquel, a platina, o estanho, o cromo e suas respectivas ligas são exemplos de materiais paramagnéticos. Eles são caracterizados por possuírem átomos que têm um campo magnético **permanente**.

Dentre os materiais paramagnéticos, o ferro, o aço, o cobalto, o níquel, e suas ligas constituem uma classe especial.

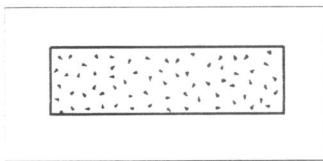


Com efeito, alguns materiais provocam no indutor que os tem como núcleo, um aumento de indutância muito maior que o aumento provocado pelos demais materiais paramagnéticos.

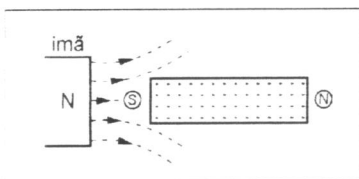
Esses materiais, são denominados de **ferromagnéticos**.

Por serem também paramagnéticos, esses materiais apresentam campo magnético **permanente**, pois os campos magnéticos de seus átomos estão alinhados de tal forma que produzem um campo magnético mesmo na ausência de um campo externo.

Material ferromagnético sem a ação de um campo magnético



Material ferromagnético sob a ação de um campo magnético



Os materiais ferromagnéticos, por serem um caso particular dentre os materiais paramagnéticos, apresentam a densidade do fluxo magnético  $B$ , presente no interior do indutor, **maior** do que quando há ar ou vácuo no seu interior.

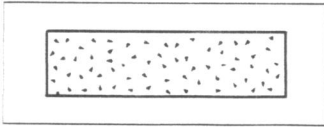
Embora os materiais ferromagnéticos possuam imantação mesmo na ausência de um campo externo (o que os caracteriza como ímãs permanentes), a manutenção de suas propriedades magnéticas depende muito de sua temperatura.

Quando **umenta** a temperatura, as propriedades magnéticas se tornam **menos** intensas.

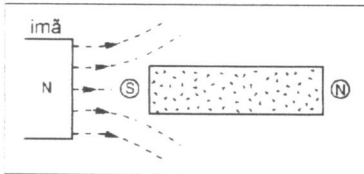
O ouro, a prata, o cobre, o zinco, o antimônio, o chumbo, o bismuto, a água, o mercúrio, ao serem introduzidos no interior de um indutor, ou próximos de um ímã, provocam a **diminuição** de seu campo magnético.

Esses materiais são denominados de **diamagnéticos**.

### Material diamagnético sem a ação de um campo magnético



### Material diamagnético sob a ação de um campo magnético



Esses materiais caracterizam-se por possuírem átomos que **não** produzem um campo magnético permanente, ou seja, o campo resultante de cada átomo é nulo.

Aplicando-se um campo magnético a esses materiais, pequenas correntes são produzidas por indução no interior dos átomos.

Essas correntes se opõem ao crescimento do campo externo, de modo que o magnetismo induzido nos átomos estará orientado em sentido oposto ao do campo externo.

A densidade do fluxo magnético  $B$  no interior do indutor é menor do que se não existisse o núcleo, ou seja, é menor do que quando há vácuo ou ar em seu interior.

---

# Eletromagnetismo

No capítulo anterior estudamos o magnetismo.

Esse conhecimento é muito importante para quem precisa aprender eletromagnetismo, que por sua vez, é de fundamental importância para quem quer compreender o funcionamento de motores, geradores, transformadores.

Neste capítulo estudaremos o eletromagnetismo que explica os fenômenos magnéticos originados pela circulação da corrente elétrica em um condutor.

## Eletromagnetismo

Eletromagnetismo é um **fenômeno magnético** provocado pela circulação de uma corrente elétrica. O termo eletromagnetismo aplica-se a todo fenômeno magnético que tenha **origem** em uma **corrente elétrica**.

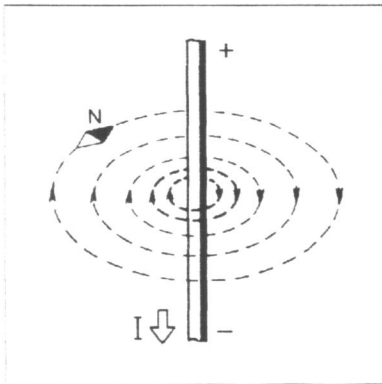
### Campo magnético em um condutor

A circulação de corrente elétrica em um condutor origina um campo magnético ao seu redor.

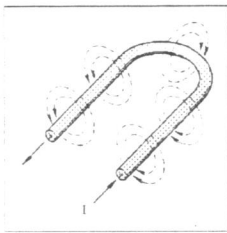
Quando um condutor é percorrido por uma corrente elétrica, ocorre uma orientação no movimento das partículas no seu interior.

Essa orientação do movimento das partículas tem um efeito semelhante ao da orientação dos ímãs moleculares.

Como consequência dessa orientação, surge um campo magnético ao redor do condutor.

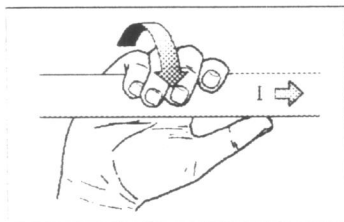


As linhas de força do campo magnético criado pela corrente elétrica que passa por um condutor, são circunferências concêntricas num plano perpendicular ao condutor.



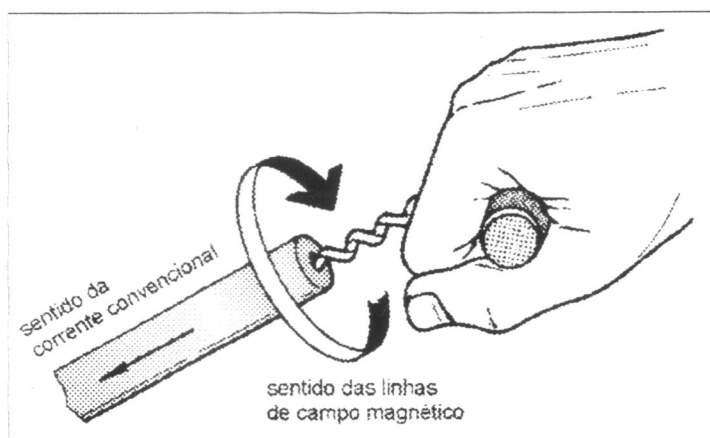
Para o sentido convencional da corrente elétrica, o sentido de deslocamento das linhas de força é dado pela **regra da mão direita**. Ou seja, envolvendo o condutor com os quatro dedos da mão direita de forma que o dedo polegar indique o sentido da corrente (convencional).

O sentido das linhas de força será o mesmo dos dedos que envolvem o condutor.

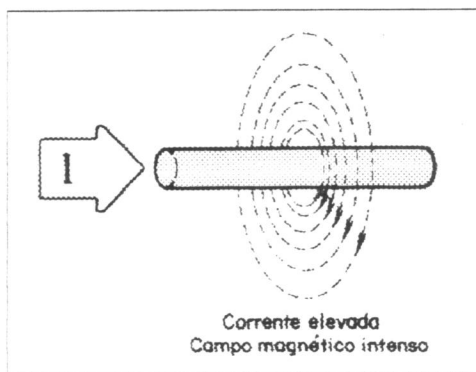
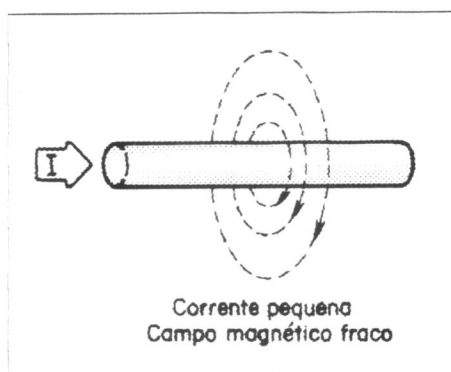


Pode-se também utilizar a **regra do saca-rolhas** como forma de definir o sentido das linhas de força.

Por essa regra, ele é dado pelo movimento do cabo de um saca-rolhas, cuja ponta avança no condutor, no mesmo sentido da corrente elétrica (convencional).

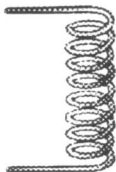




A intensidade do campo magnético ao redor do condutor depende da intensidade da corrente que nele flui. Ou seja, a **intensidade do campo magnético** ao redor de um condutor é **diretamente proporcional à corrente** que circula neste condutor.

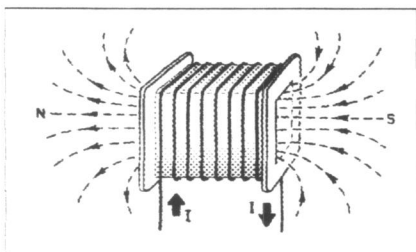


### Campo magnético em uma bobina (ou solenóide)

Para obter campos magnéticos de maior intensidade a partir da corrente elétrica, basta enrolar o condutor em forma de espiras, constituindo uma bobina. A tabela a seguir mostra uma bobina e seus respectivos símbolos conforme determina a NBR 12521.

Bobina, enrolamento ou indutor	Símbolo (forma preferida)	Símbolo (outra forma)
		

As bobinas permitem um acréscimo dos efeitos magnéticos gerados em cada uma das espiras. A figura a seguir mostra uma bobina constituída por várias espiras, ilustrando o efeito resultante da soma dos efeitos individuais.



Os pólos magnéticos formados pelo campo magnético de uma bobina têm características semelhantes àsquelas dos pólos de um ímã natural.

A **intensidade do campo magnético** em uma bobina **depende** diretamente da **intensidade da corrente** e do **número de espiras**.

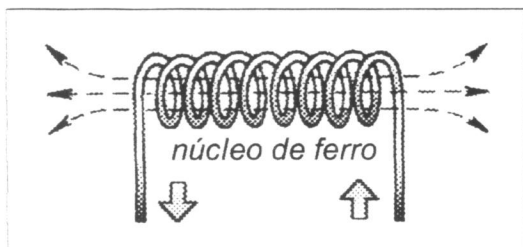
O **núcleo** é a parte central das bobinas, e pode ser de **ar** ou de **material ferroso**. O núcleo é de ar quando nenhum material é colocado no interior da bobina.

O núcleo é de material ferroso quando se coloca um material ferroso (ferro, aço) no interior da bobina. Usa-se esse recurso para obter maior intensidade de campo magnético a partir de uma mesma bobina.



Nesse caso, o **conjunto bobina-núcleo** de ferro é chamado **eletroímã**.

#### Observação

A maior intensidade do campo magnético nos eletroímãs é devida ao fato de que os materiais ferrosos provocam uma concentração das linhas de força.

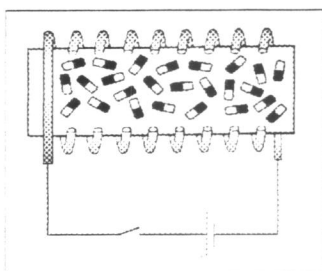


Quando uma bobina tem um núcleo de material ferroso, seu símbolo expressa essa condição (NBR 12521).

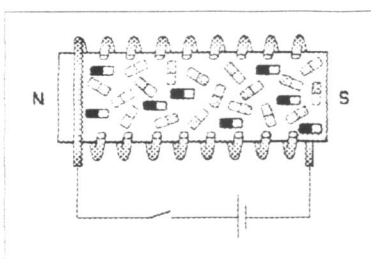
Indutor com núcleo magnético	Núcleo de ferrite com um enrolamento
	

### Magnetismo remanente

Quando se coloca um núcleo de ferro em uma bobina, em que circula uma corrente elétrica, o núcleo torna-se imantado, porque as suas moléculas se orientam conforme as linhas de força criadas pela bobina.



Cessada a passagem da corrente, alguns ímãs moleculares permanecem na posição de orientação anterior, fazendo com que o núcleo permaneça ligeiramente imantado.



Essa pequena imantação é chamada magnetismo remanente ou residual. O magnetismo residual é importante, principalmente para os geradores de energia elétrica. Este tipo de ímã chama-se ímã temporário.





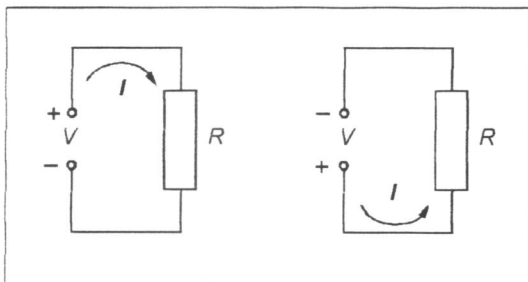
# Corrente alternada

Neste capítulo, estudaremos um assunto de fundamental importância para os profissionais da área da manutenção elétrica: vamos estudar corrente e tensão alternadas monofásicas.

Veremos como a corrente é gerada e a forma de onda senoidal por ela fornecida. Para estudar esse assunto com mais facilidade, é necessário ter conhecimentos anteriores sobre corrente e tensão elétrica

## Corrente e tensão alternadas monofásicas

Como já foi visto, a tensão alternada muda constantemente de polaridade. Isso provoca nos circuitos um fluxo de corrente ora em um sentido, ora em outro.

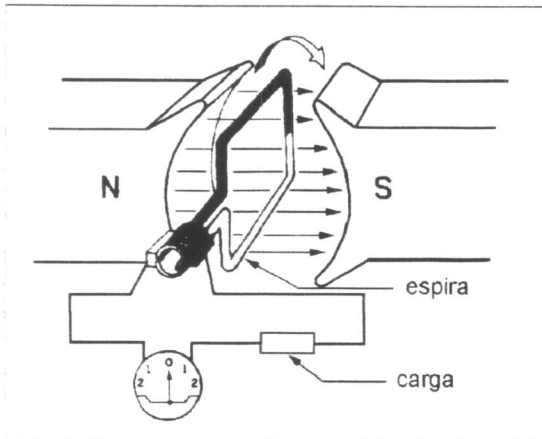


## Geração de corrente alternada

Para se entender como se processa a geração de corrente alternada, é necessário saber como funciona um gerador elementar que consiste de uma espira disposta de tal forma que pode ser girada em um campo magnético estacionário.

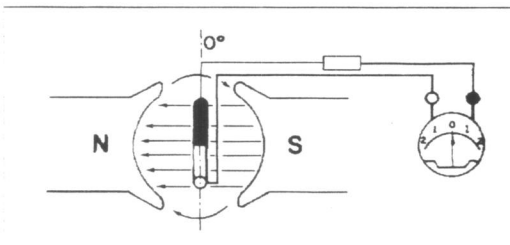
Desta forma, o condutor da espira corta as linhas do campo eletromagnético, produzindo a força eletromotriz (ou fem).

Veja, na figura a seguir, a representação esquemática de um gerador elementar.



### Funcionamento do gerador

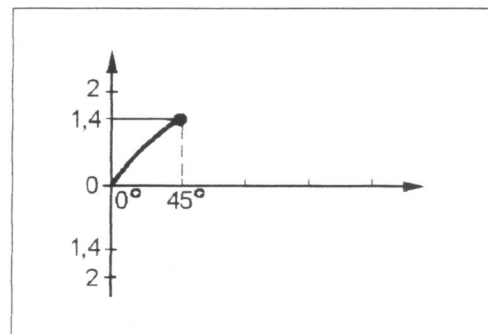
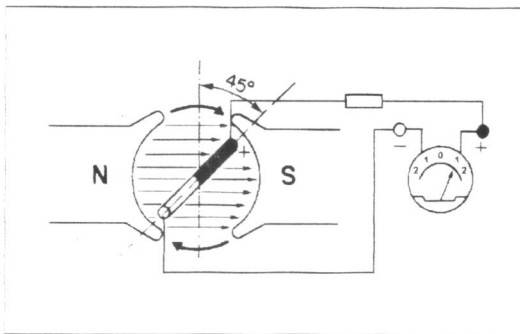
Para mostrar o funcionamento do gerador, vamos imaginar um gerador cujas pontas das espiras estejam ligadas a um galvanômetro



Na posição inicial, o plano da espira está perpendicular ao campo magnético e seus condutores se deslocam paralelamente ao campo. Nesse caso, os condutores não cortam as linhas de força e, portanto, a força eletromotriz (fem) não é gerada.

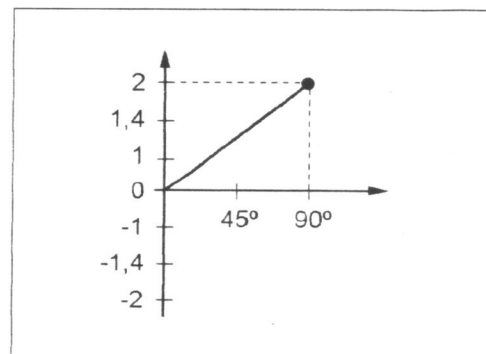
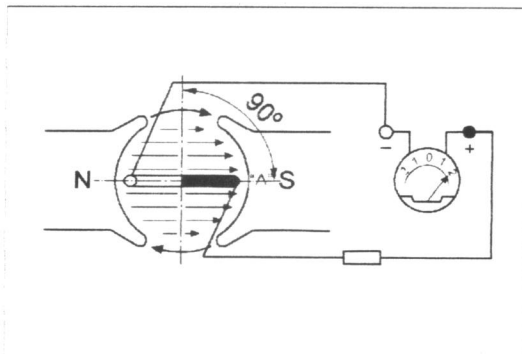
No instante em que a bobina é movimentada, o condutor corta as linhas de força do campo magnético e a geração de fem é iniciada.

Observe na ilustração a seguir, a indicação do galvanômetro e a representação dessa indicação no gráfico correspondente.

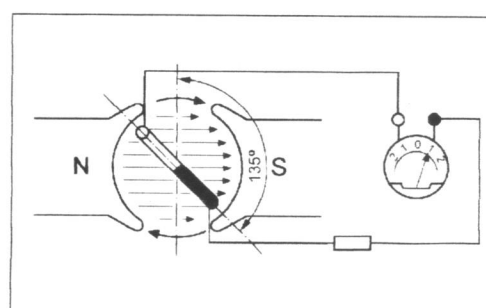
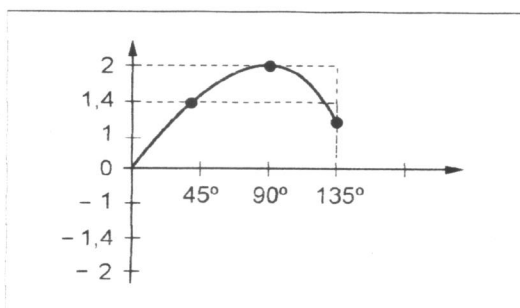


À medida que a espira se desloca, aumenta seu ângulo em relação às linhas de força do campo. Ao atingir o ângulo de  $90^\circ$ , o gerador atingirá a geração máxima da força eletromotriz, pois os condutores estarão cortando as linhas de força perpendicularmente.

Acompanhe, na ilustração a seguir, a mudança no galvanômetro e no gráfico.

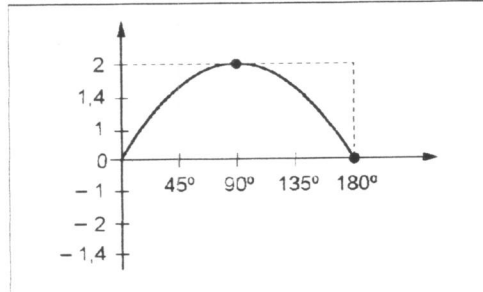
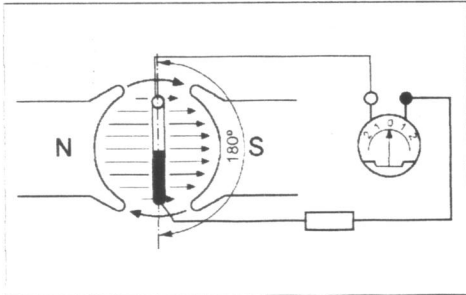


Girando-se a espira até a posição de  $135^\circ$ , nota-se que a fem gerada começa a diminuir.



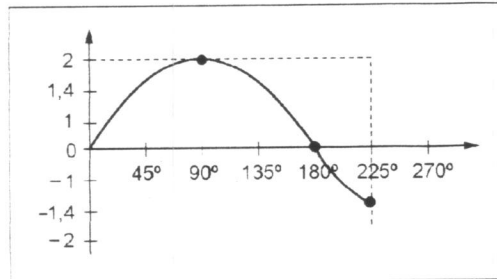
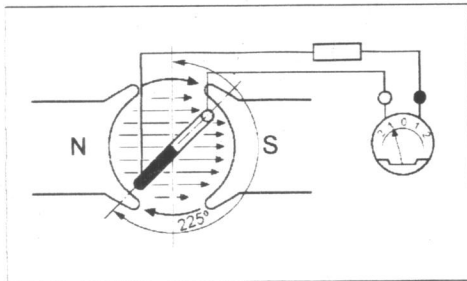
Quando a espira atinge os  $180^\circ$  do ponto inicial, seus condutores não mais cortam as linhas de força e, portanto, não há indução de fem e o galvanômetro marca zero.

Formou-se assim o primeiro semiciclo (positivo).

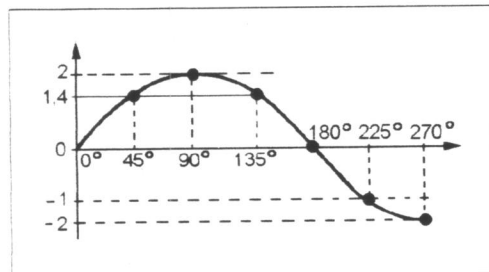
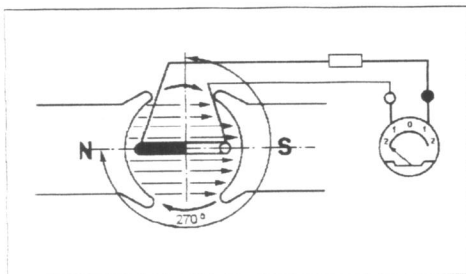


Quando a espira ultrapassa a posição de  $180^\circ$ , o sentido de movimento dos condutores em relação ao campo se inverte. Agora, o condutor preto se move para cima e o condutor branco para baixo. Como resultado, a polaridade da fem e o sentido da corrente também são invertidos.

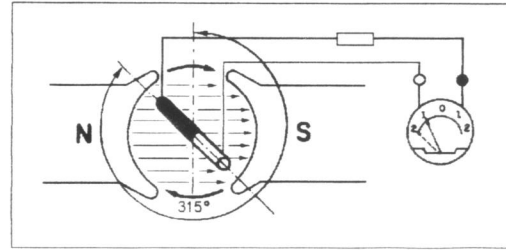
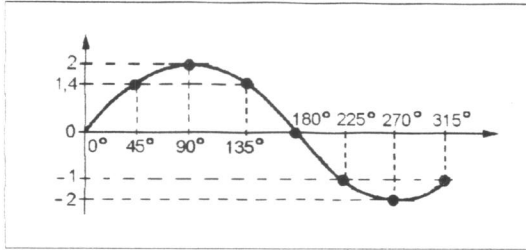
A  $225^\circ$ , observe que o ponteiro do galvanômetro e, conseqüentemente, o gráfico, mostram o semiciclo negativo. Isso corresponde a uma inversão no sentido da corrente, porque o condutor corta o fluxo em sentido contrário.



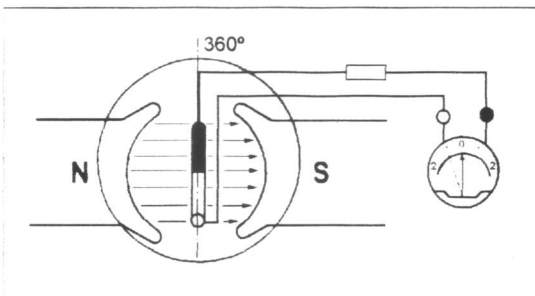
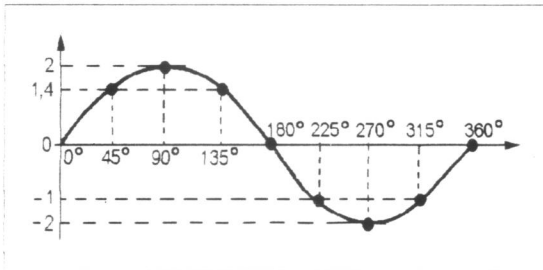
A posição de  $270^\circ$  corresponde à geração máxima da fem como se pode observar na ilustração a seguir.



No deslocamento para  $315^\circ$ , os valores medidos pelo galvanômetro e mostrados no gráfico começam a diminuir.



Finalmente, quando o segundo semiciclo (negativo) se forma, e obtém-se a volta completa ou ciclo ( $360^\circ$ ), observa-se a total ausência de força eletromotriz porque os condutores não cortam mais as linhas de força do campo magnético.



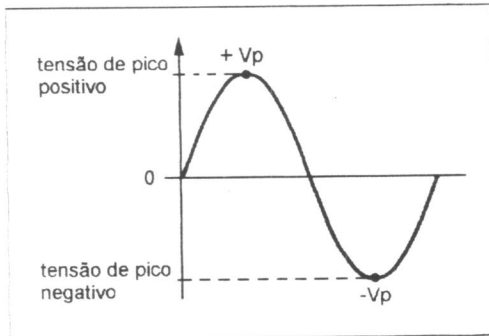
Observe que o gráfico resultou em uma curva senoidal (ou senoide) que representa a forma de onda da corrente de saída do gerador e que corresponde à rotação completa da espira.

Nesse gráfico, o eixo horizontal representa o movimento circular da espira, daí suas subdivisões em graus.

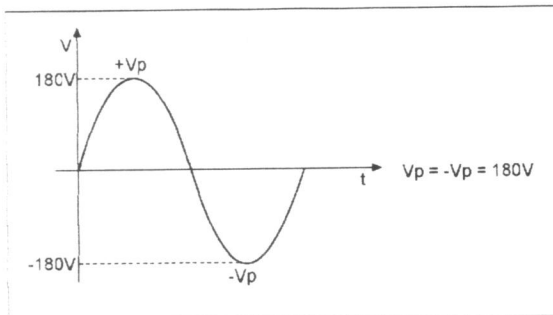
O eixo vertical representa a corrente elétrica gerada, medida pelo galvanômetro.

### Valor de pico e valor de pico a pico da tensão alternada senoidal

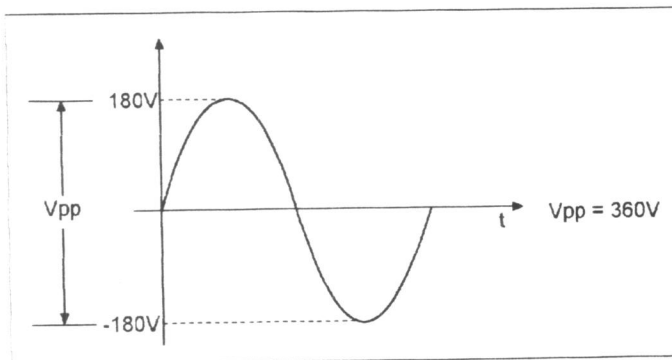
Tensão de pico é o **valor máximo** que a tensão atinge em cada semiciclo. A tensão de pico é representada pela notação  $V_p$ .



Observe que no gráfico aparecem tensão de pico positivo e tensão de pico negativo. O valor de pico negativo é numericamente igual ao valor de pico positivo. Assim, a determinação do valor de tensão de pico pode ser feita em qualquer um dos semiciclos.

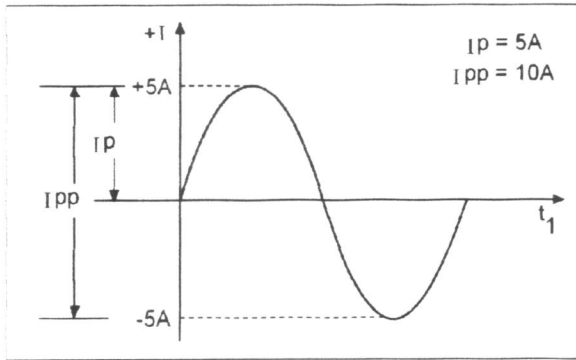


A tensão de **pico a pico** da CA senoidal é o valor medido entre os picos positivo e negativo de um ciclo. A tensão de pico a pico é representada pela notação  $V_{pp}$ . Considerando-se que os dois semiciclos da CA são iguais, pode-se afirmar que:  $V_{pp} = 2V_p$ .

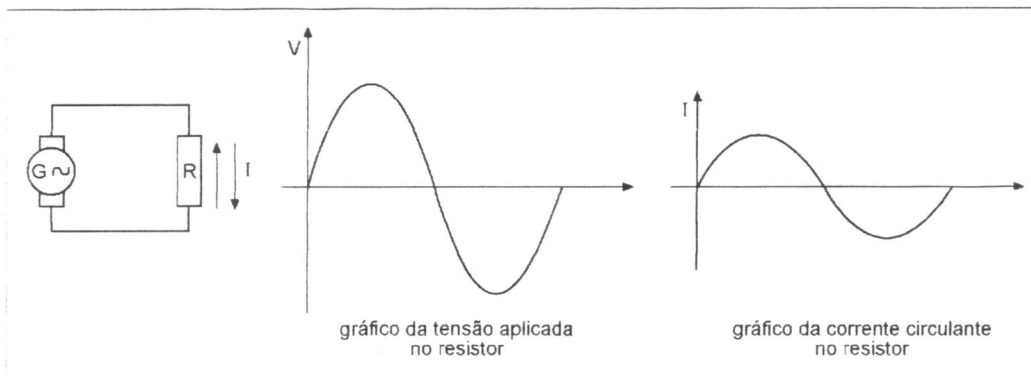


**Observação**

Essas medições e conseqüente visualização da forma de onda da tensão CA, são feitas com um instrumento de medição denominado de **osciloscópio**. Da mesma forma que as medidas de pico e de pico a pico se aplicam à tensão alternada senoidal, aplicam-se também à corrente alternada senoidal.

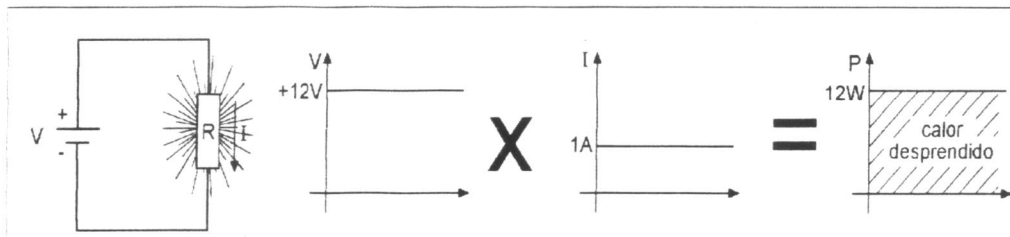


**Tensão e corrente eficazes**

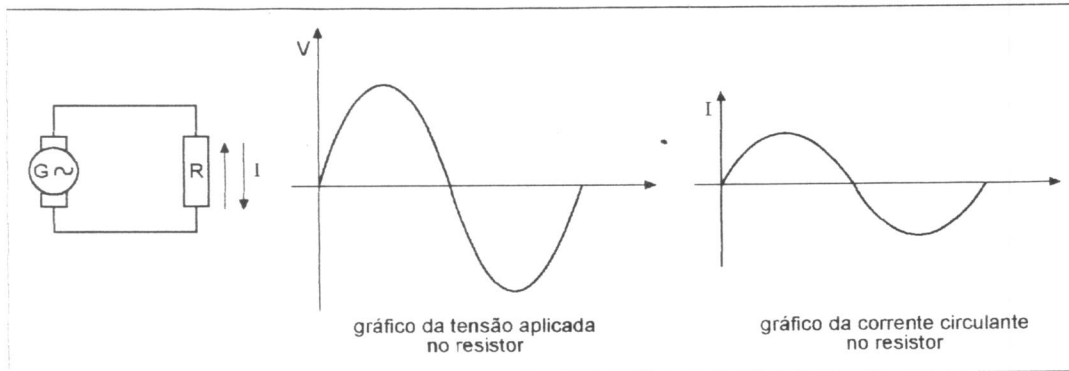


Quando se aplica uma tensão contínua sobre um resistor, a corrente que circula por ele possui um valor constante. Como resultado disso, estabelece-se uma dissipação de potência no resistor ( $P = E \cdot I$ ).

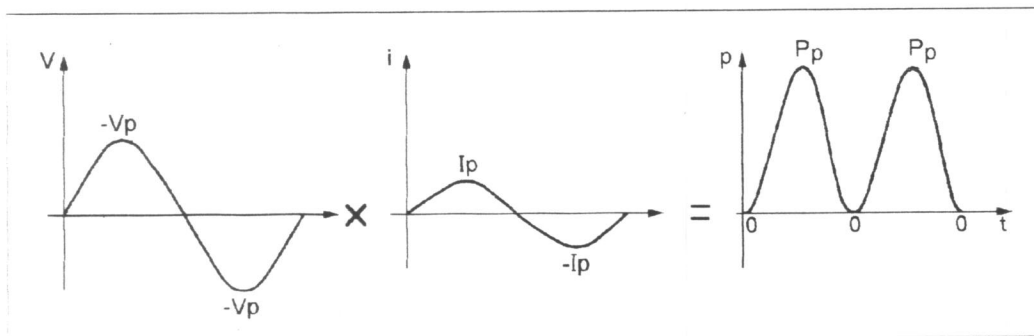
Essa potência é dissipada em regime contínuo, fazendo com que haja um desprendimento constante de calor no resistor.



Por outro lado, aplicando-se uma tensão alternada senoidal a um resistor, estabelece-se a circulação de uma corrente alternada senoidal.



Como a tensão e a corrente são variáveis, a quantidade de calor produzido no resistor varia a cada instante.



Nos momentos em que a tensão é zero, não há corrente e também não há produção de calor ( $P = 0$ ).

Nos momentos em que a tensão atinge o valor máximo ( $V_p$ ), a corrente também atinge o valor máximo ( $I_p$ ) e a potência dissipada é o produto da tensão máxima pela corrente máxima ( $P_p = V_p \cdot I_p$ ).

Em consequência dessa produção variável de "trabalho" (calor) em CA, verifica-se que um resistor de valor  $R$  ligado a uma tensão contínua de 10V produz a mesma quantidade de "trabalho" (calor) que o mesmo resistor  $R$  ligado a uma tensão alternada de valor de pico de 14,1 V, ou seja,  $10 V_{ef}$ .

Assim, pode-se concluir que a tensão eficaz de uma CA senoidal é um valor que indica a tensão (ou corrente) contínua correspondente a essa CA em termos de produção de trabalho.



### **Cálculo da tensão/corrente eficazes**

Existe uma relação constante entre o valor eficaz (ou valor RMS) de uma CA senoidal e seu valor de pico.

Essa relação auxilia no cálculo da tensão/corrente eficazes e é expressa como é mostrado a seguir.

Tensão eficaz:

$$V_{ef} = \frac{V_p}{\sqrt{2}}$$

Corrente eficaz:

$$I_{ef} = \frac{I_p}{\sqrt{2}}$$

#### **Exemplo de cálculo:**

Para um valor de pico de 14,14 V, a tensão eficaz será:

$$V_{ef} = \frac{V_p}{\sqrt{2}} = \frac{14,14}{1,414} = 10V$$

Assim, para um valor de pico de 14,14 V, teremos uma tensão eficaz de 10 V.

A tensão/corrente eficaz é o dado obtido ao se utilizar, por exemplo, um multímetro.

#### **Observação**

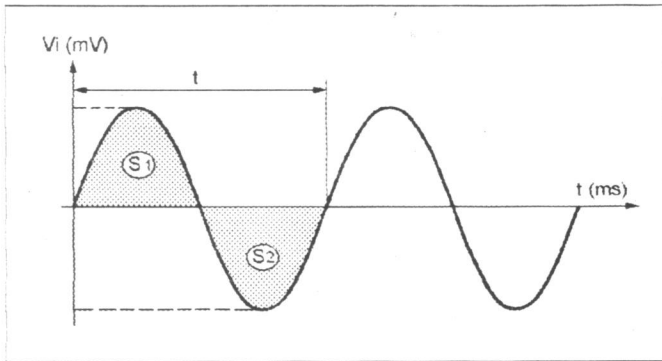
Quando se mede sinais alternados (senoidais) com um multímetro, este deve ser aferido em 60Hz que é a frequência da rede da concessionária de energia elétrica.

Assim, os valores eficazes medidos com multímetro são válidos apenas para essa frequência.

### **Valor médio da corrente e da tensão alternada senoidal (Vdc)**

O valor médio de uma grandeza senoidal, quando se refere a um ciclo completo é nulo. Isso acontece porque a soma dos valores instantâneos relativa ao semiciclo positivo é igual à soma do semiciclo negativo e sua resultante é constantemente nula.

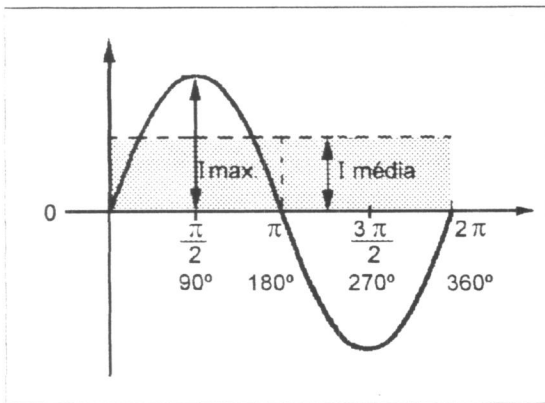
Veja gráfico a seguir.



Observe que a área  $S_1$  da senoide (semiciclo) é igual a  $S_2$  (semiciclo), mas  $S_1$  está do lado positivo e  $S_2$  tem valor negativo. Portanto  $S_{total} = S_1 - S_2 = 0$ .

O valor médio de uma grandeza alternada senoidal deve ser considerado como sendo a média aritmética dos valores instantâneos no intervalo de meio período (ou meio ciclo).

Esse valor médio é representado pela altura do retângulo que tem como área a mesma superfície coberta pelo semiciclo considerado e como base a mesma base do semiciclo.



A fórmula para o cálculo do valor médio da corrente alternada senoidal é:

$$I_{dc} = I_{med} = \frac{2 \cdot I_p}{\pi}$$

Nessa fórmula,  $I_{med}$  é a corrente média;  $I_p$  é a corrente de pico, e  $\pi$  é 3,14.  
A fórmula para calcular o valor médio da tensão alternada senoidal é:

$$V_{dc} = V_{med} = \frac{2 \cdot V_p}{\pi}$$

Nela,  $V_{med}$  é a tensão média,  $V_p$  é a tensão máxima, e  $\pi$  é igual a 3,14.

**Exemplo de cálculo:**

Em uma grandeza senoidal, a tensão máxima é de 100V. Qual é a tensão média?

$$V_{med} = \frac{2 \cdot V_p}{\pi} = \frac{2 \cdot 100}{3,14} = \frac{200}{3,14} = 63,6 \text{ V}$$



---

# Osciloscópio

Uma das grandes dificuldades que os técnicos enfrentam na reparação de circuitos eletrônicos é esta: os fenômenos que ocorrem nos componentes eletrônicos são abstratos; ou seja, tudo acontece sem que se possa ver. Consequentemente, toda a reparação é feita também a partir de raciocínios, de forma abstrata.

Daí a importância do osciloscópio para o técnico. É através desse instrumento que variações de tensão em um componente do circuito são transformadas em figuras, ou seja, em formas de ondas mostradas em uma tela. Isso torna possível a análise do comportamento do componente analisado dentro do circuito a ser reparado.

Neste capítulo, vamos tratar dos controles básicos e da preparação do osciloscópio para o uso. Desse modo, você saberá como utilizar posteriormente esse instrumento nos mais diversos tipos de medições.

## Osciloscópio

O osciloscópio é um equipamento que permite ao técnico em manutenção observar as variações de tensão elétrica em forma de figura em uma tela.

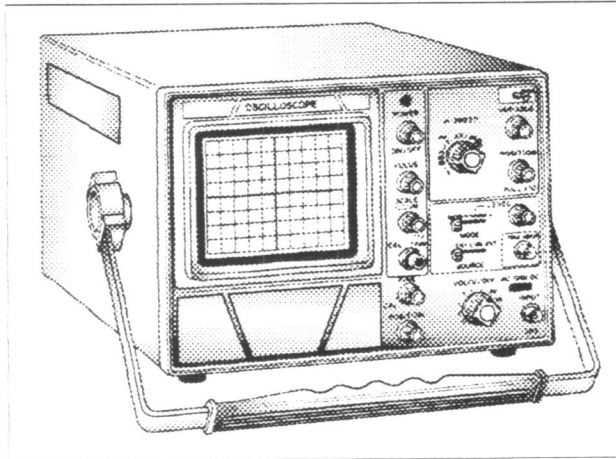
Através do osciloscópio, é possível pesquisar e analisar defeitos em circuitos eletrônicos e elétricos.

Na tela de um osciloscópio, as imagens são formadas unicamente pelo movimento rápido de um ponto na horizontal e vertical, como em um aparelho de televisão.

Quando o movimento do ponto é rápido, a imagem que se observa na tela é uma linha.

As imagens se formam na tela do osciloscópio mediante movimentos simultâneos no sentido vertical e horizontal.

A figura a seguir mostra um modelo de osciloscópio de traço simples com o painel de controle e entrada de sinal em primeiro plano.

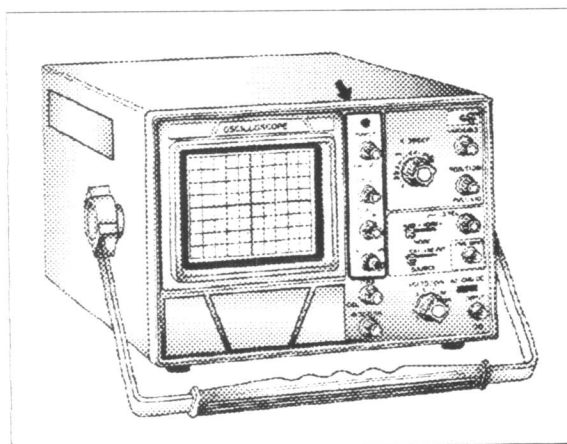


Como se pode observar pela figura, os controles e entradas do painel podem ser divididos em quatro grupos a saber:

1. Controles de ajuste do traço ou ponto na tela;
2. Controles e entrada de atuação vertical;
3. Controles e entrada de atuação horizontal;
4. Controles e entradas de sincronismo.

#### **Controles de ajuste do traço ou ponto na tela**

A figura a seguir destaca o grupo de controles de ajuste do traço ou ponto.



### Observação

As designações dos controles aparecem entre parênteses em inglês, visto que é comum os osciloscópios terem esse tipo de identificação.

Esses controles são enumerados a seguir.

- **Brilho ou luminosidade** (brightness ou intensity):  
Controle que ajusta a luminosidade do ponto ou traço. Em alguns osciloscópios, vem acoplado à chave liga-desliga (on/off) do equipamento.

### Observação

Deve-se evitar o uso de brilho excessivo, pois a tela do osciloscópio pode ser danificada.

- **Foco** (focus):  
Controle que ajusta a nitidez do ponto ou traço luminoso. O foco deve ser ajustado de forma a obter um traço fino e nítido na tela.

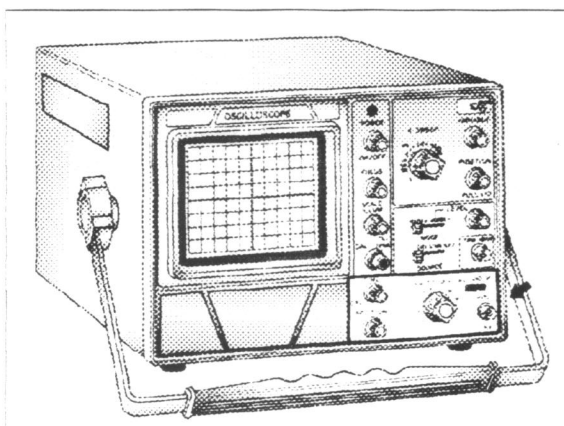
### Observação

Os ajustes de brilho e foco são ajustes básicos que sempre devem ser realizados quando se utiliza o osciloscópio.

- **Iluminação da retícula** (scale illumination):  
Permite iluminar as divisões traçadas na tela.

### Controles e entrada de atuação vertical

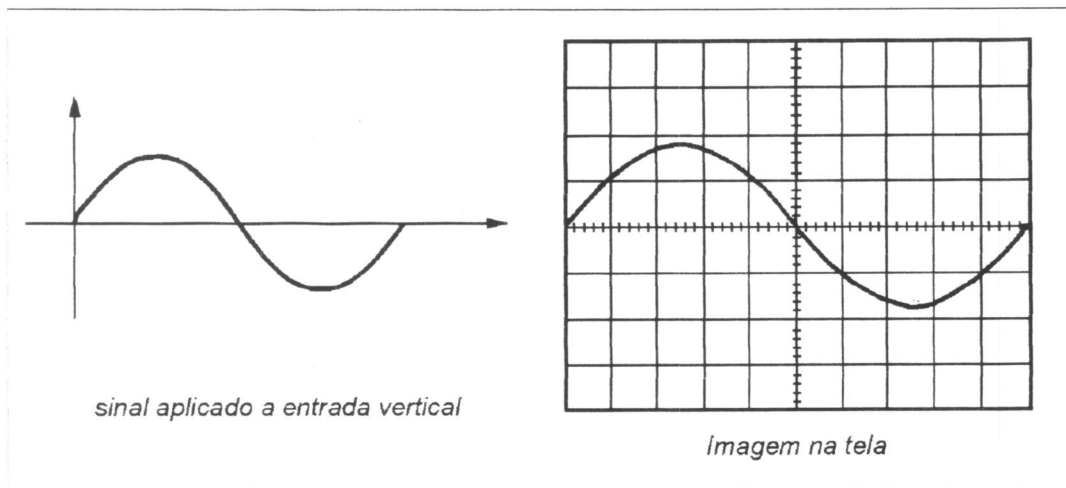
A figura abaixo coloca em destaque o grupo de controles de atuação vertical.



Esses controles estão enumerados a seguir.

- **Entrada de sinal vertical** ou Y (input):

Nesta entrada conecta-se a ponta de prova do osciloscópio. As variações de tensão aplicadas nesta entrada aparecem sob a forma de figuras na tela do osciloscópio.



Chave de seleção do modo de entrada (CA-CC ou AC-DC): esta chave é selecionada de acordo com o tipo de forma de onda a ser observado.

Em alguns osciloscópios, esta chave tem três posições, a saber: CA – 0 – CC ou CA – GND – CC.

#### Observação

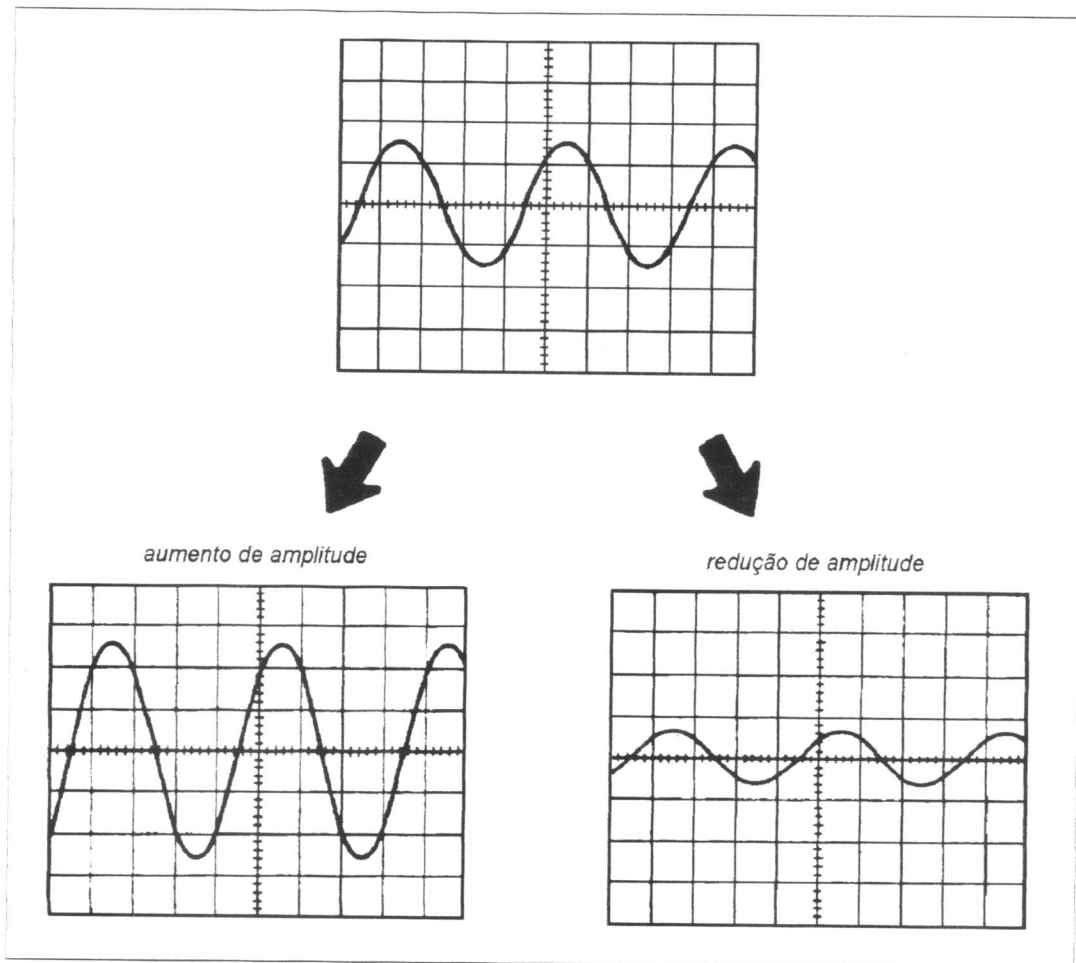
Em algumas situações, usa-se a posição adicional 0 ou GND para ajustar o osciloscópio.

- **Chave seletora de ganho vertical** (volt gain ou volt/div):

Com essa chave é possível aumentar ou diminuir a amplitude de uma projeção na tela do osciloscópio.



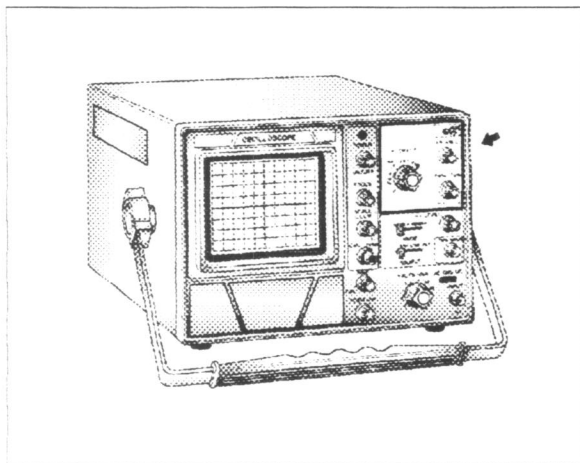
A figura a seguir mostra o que ocorre com a imagem na tela quando se movimenta a chave seletora.



- **Ajuste fino de ganho vertical** (fine-variable ou vernier):  
Sua função é a mesma que a da chave seletora de ganho vertical, ou seja, aumentar ou diminuir a amplitude da imagem na tela. A diferença está em que enquanto a chave seletora provoca variações de amplitude em passos (proporções definidas), o ajuste fino permite variar linearmente a amplitude, porém, sem escala graduada.
- **Posição vertical** (position):  
Esse controle permite movimentar a projeção mais para cima ou para baixo na tela. A movimentação não interfere na forma da imagem projetada na tela.

- **Controle de atuação horizontal**

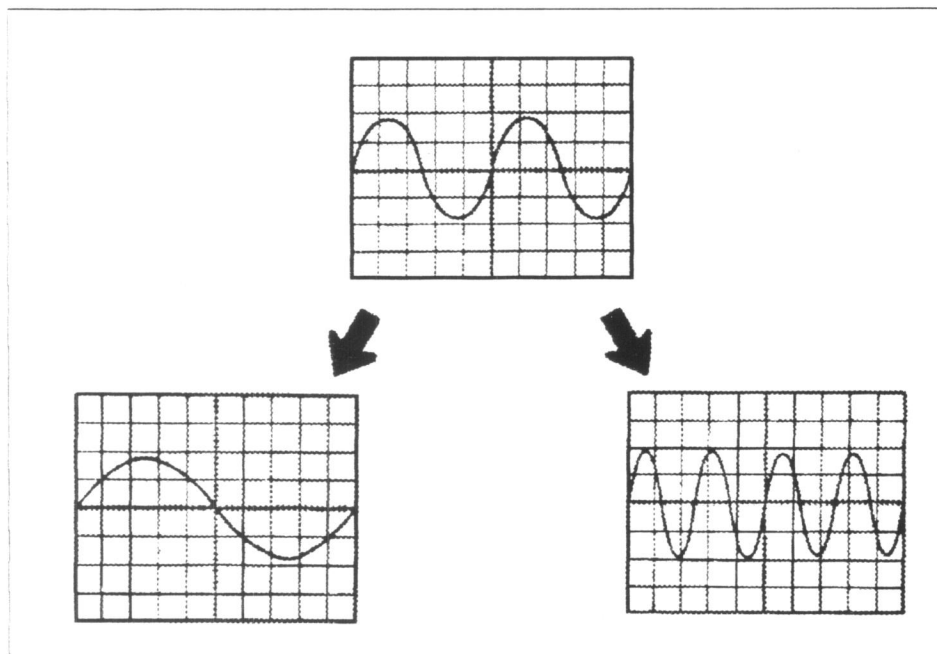
A figura a seguir coloca em destaque os controles de atuação horizontal.



Esses controles são os seguintes:

- **Chave seletora na base de tempo (H, sweep ou time/div):**

É o controle que permite variar o tempo de deslocamento horizontal do ponto na tela. Através desse controle, pode-se ampliar ou reduzir horizontalmente uma imagem na tela.



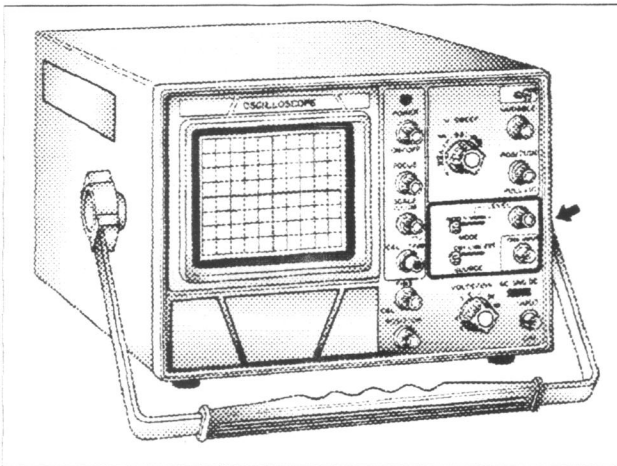
### Observação

Em alguns osciloscópios, esta chave seletora tem uma posição chamada EXT (externa). Essa posição permite que o deslocamento horizontal do ponto seja controlado por um circuito externo ao osciloscópio, através de uma entrada específica. Quando a posição EXT é selecionada, não ocorre formação de traço na tela, mas apenas um ponto.

- **Ajuste fino (variable):**  
Este controle permite ajustar com mais precisão o tempo de deslocamento do ponto na tela. Atua em conjunto com a chave seletora da base de tempo.
- **Posição horizontal (H. position):**  
Consiste no ajuste que permite centrar horizontalmente a forma de onda na tela. Girando o controle de posição horizontal para a direita, o traço se move horizontalmente para a direita ou vice-versa.

### Sincronismo da projeção

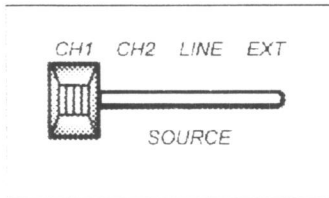
O sincronismo consiste na fixação da imagem na tela para facilitar a observação. A fixação da imagem se faz mediante os controles de sincronismo do osciloscópio.



Os controles de sincronismo são os enumerados a seguir:

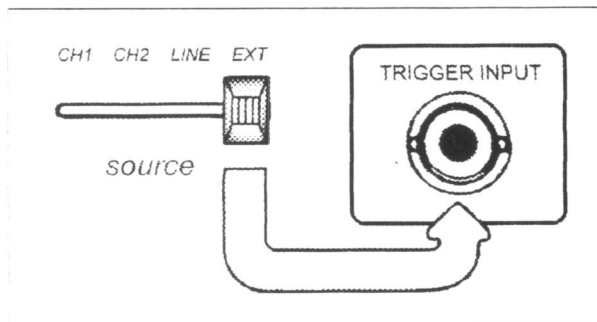
- Chave seletora de fonte de sincronismo;
- Chave de modo de sincronismo;
- Controle de nível de sincronismo.

A **chave seletora de fonte de sincronismo** ("source") é uma chave que seleciona o local onde será tomado o sinal de sincronismo necessário para fixar a imagem na tela do osciloscópio. Possui, em geral, quatro posições, conforme mostra a figura abaixo.



Na posição *rede* (line), a chave seletora permite o sincronismo com base na frequência da rede de alimentação do osciloscópio (senoidal 60 Hz). Nessa posição, consegue-se facilmente sincronizar na tela sinais aplicados na entrada vertical, sinais esse obtidos a partir da rede elétrica.

Na posição externo (ext), obtém-se o sincronismo da imagem com o auxílio de outro equipamento externo conectado no osciloscópio. O sinal que controla o sincronismo nessa posição é aplicado à entrada de sincronismo.

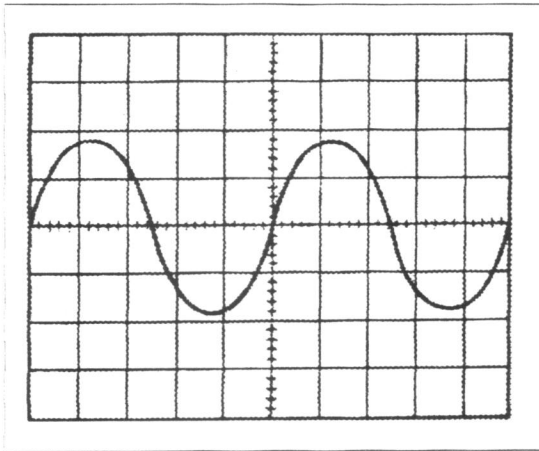


A **chave de modo** (mode) e **controle de nível** (level) **de sincronismo**, normalmente tem duas ou três posições que são: auto; normal +; normal -.

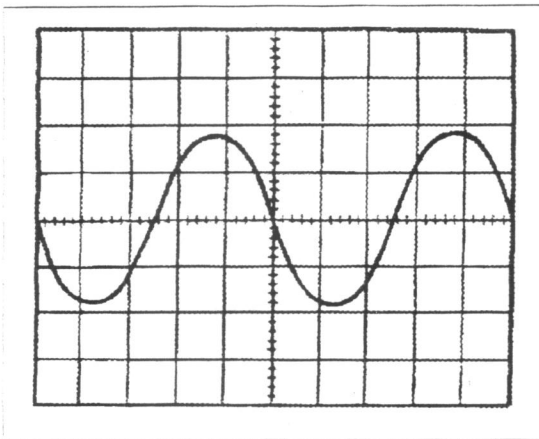
A posição *auto* permite que o osciloscópio realize o sincronismo da projeção automaticamente, com base no sinal selecionado pela chave seletora de fonte de sincronismo.

As posições normal + e normal - permitem que o sincronismo seja ajustado manualmente por meio de controle de nível de sincronismo (level).

Na posição normal +, o sincronismo é positivo, fazendo com que o primeiro pico a parecer na tela seja o positivo.



Na posição normal -, o sincronismo é negativo. O primeiro pico que aparece na tela é o negativo.



### Observação

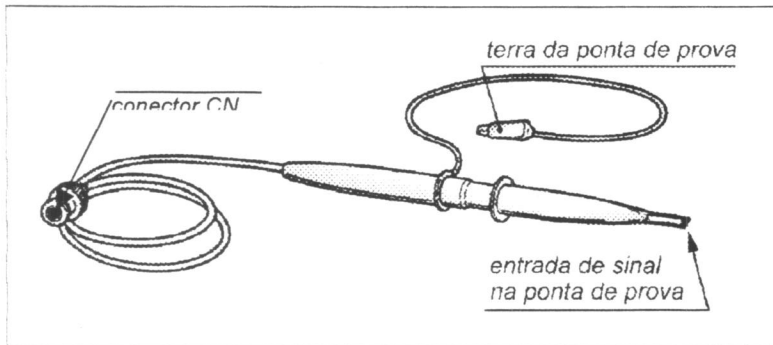
Estes controles serão analisados quando se tratar da utilização do osciloscópio na medição de tensão CA.

### Pontas de prova

As pontas de prova são utilizadas para interligar o osciloscópio aos pontos de medição.

Uma das extremidades da ponta de prova é conectada a uma das entradas do osciloscópio por meio de um conector, geralmente do tipo BNC.

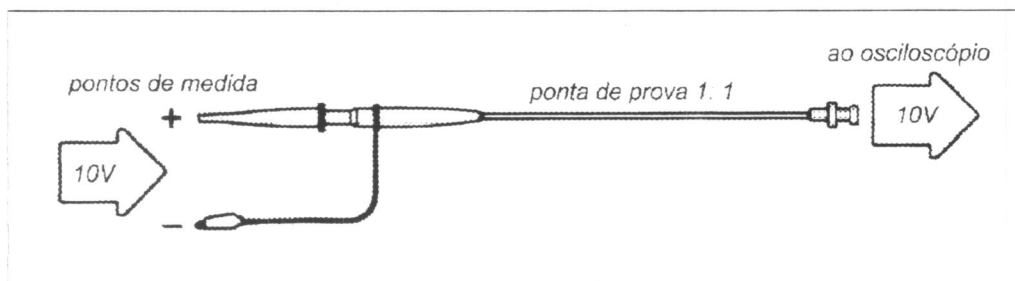
A extremidade livre, por sua vez, serve para fazer a conexão aos pontos de medição. É provida de uma garra jacaré e de uma ponta de entrada sinal. A garra jacaré, chamada também de terra da ponta de prova, deve ser conectada ao terra do circuito. e a ponta de entrada de sinal, por sua vez, conecta-se ao ponto que se deseja medir.



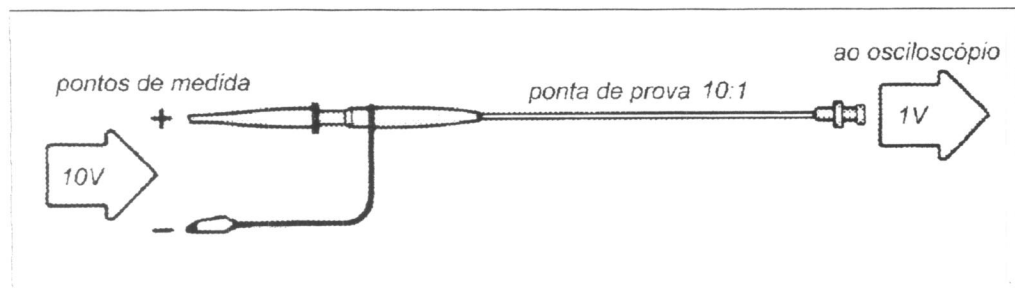
Existem dois tipos de ponta de prova:

- Ponta de prova 1:1;
- Ponta de prova 10:1.

A ponta de prova 1:1 permite aplicar à entrada do osciloscópio o mesmo nível de tensão e forma de onda aplicado à ponta de medição.



A ponta de prova 10:1 é divisora de tensão, entregando ao osciloscópio a décima parte da tensão aplicada à ponta de medição.



As pontas de prova 10:1 são usadas para permitir que o osciloscópio seja empregado para medição ou observações de sinais com tensões e amplitudes 10 vezes maiores que o seu limite normal de medição.

Assim, um osciloscópio que permita a leitura de tensões até 50V com ponta de prova 1:1, pode ser utilizado em tensões de até 500V (10 x 50) com uma ponta de prova 10:1.

### **Observação**

Existem pontas de prova que dispõem de um botão através do qual se pode selecionar 10:1 ou 1:1.

### **Osciloscópio de duplo traço**

O osciloscópio de duplo traço permite visualizar ao mesmo tempo dois sinais na tela. Ele tem alguns controles que são comuns aos dois traços:

- Controles básicos (brilho, foco);
- Controles do horizontal (base de tempo e posição).

As diferenças entre o osciloscópio de traço simples e duplo traço aparecem:

- Nas entradas e controles do vertical;
- Nos controles e entrada de sincronismo.

### **Entradas e controles do vertical no osciloscópio duplo traço**

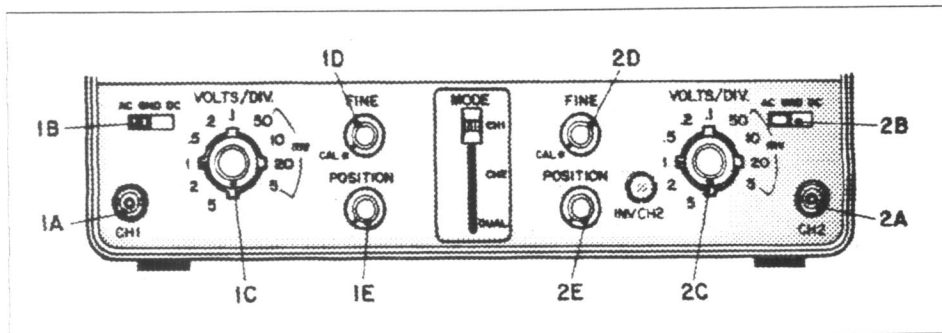
As imagens na tela do osciloscópio são uma projeção da **tensão** aplicada à entrada vertical. Conseqüentemente, para observar dois sinais simultaneamente é necessário aplicar duas tensões em duas entradas verticais.

O osciloscópio de duplo traço dispõe de dois grupos de controles verticais:

- Um grupo para o canal A ou canal 1 (Channel 1 ou CH1);
- Um grupo para o canal B ou canal 2 (Channel 2 ou CH2).

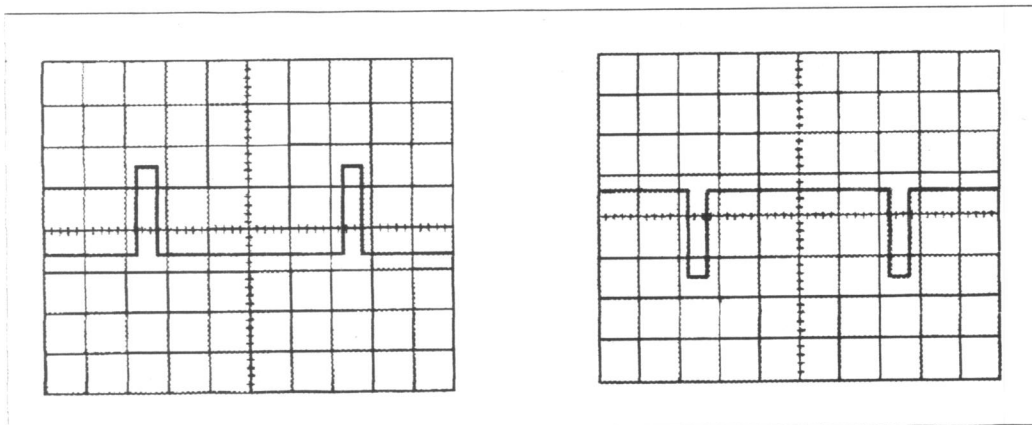
Cada canal vertical controla um dos sinais na tela (amplitude, posição vertical).

A figura a seguir coloca em destaque os grupos de controles do canal 1 (CH1) e canal 2 (CH2).



Os grupos de controles verticais dos dois canais geralmente são iguais. Cada canal dispõe de:

- Entrada vertical ou Y (1A e 2A);
- Chave seletora CA – 0 – CC (1B e 2B);
- Chave seletora de ganho vertical (1C e DC);
- Ajuste fino de ganho vertical (1D e 2D);
- Posição vertical (1E e 2E).



Alguns osciloscópios dispõem ainda de um **inversor** (invert), que é um controle que permite inverter a imagem do canal 2 obtida na tela.

### Modo de operação vertical de duplo traço

O osciloscópio de traço duplo dispõe de uma chave seletora que possibilita o uso de apenas um dos traços na tela; ou seja, como se fosse de traço simples. Tanto o canal 1 como o canal 2 podem ser utilizados separadamente.



Na posição.CH1, o sincronismo é controlado pelo sinal aplicado ao canal 1.  
Na posição CH2, o sincronismo é controlado pelo sinal aplicado ao canal 2.

### Observação

Sempre que se usar o osciloscópio de traço duplo como um de traço simples, a chave seletora deve ser posicionada no canal utilizado (CH1 ou CH2).

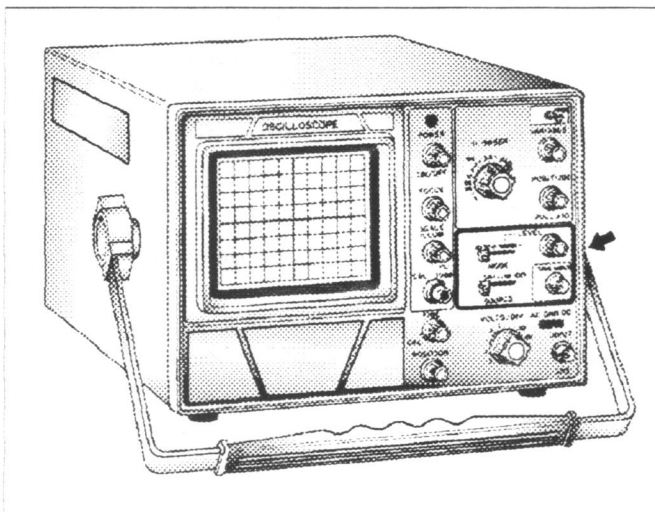
Entre os grupos de controles verticais dos canais 1 e 2 existe uma chave seletora que permite determinar quantos e quais canais aparecerão na tela. Esta chave tem pelo menos três posições: CH1; CH2; DUAL (ou chopper).

Na posição CH1 aparecerá apenas um traço na tela, projetando o sinal que estiver aplicado à entrada vertical do canal 1. Na posição CH2, aparecerá apenas um traço na tela, projetando o sinal aplicado à entrada vertical do canal 2. Na posição DUAL (chopper), aparecerão na tela dois traços, cada um representando o sinal aplicado nas respectivas entradas verticais.

Em osciloscópios mais sofisticados, esta chave pode ter mais posições permitindo, desse modo, outras opções de funcionamento.

### Controles de sincronismos no osciloscópios duplo traço

A função dos controles de sincronismo é fixar a imagem na tela. A figura a seguir coloca em destaque o grupo de controles de sincronismo.



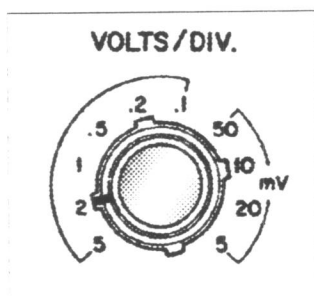
Os controles de sincronismos são:

- Chave seletora de fonte de sincronismo;
- Chave seletora de modo de sincronismo;
- Controle de nível de sincronismo;
- Entrada de sincronismo.

Estes controles serão analisados detalhadamente quando tratarmos da medição de tensão CA com osciloscópio.

### Chave seletora de ganho vertical (VOLT/DIV)

A chave seletora de ganho vertical estabelece a quantos volts corresponde cada divisão vertical da tela. Em todos os osciloscópios, essa chave tem muitas posições, de forma que se possa fazer com que cada divisão da tela tenha valores que vão, por exemplo, de 1mV a 10V.



Em cada posição da chave seletora, o osciloscópio tem um limite de medição. Assim, com 8 divisões verticais na tela, selecionando para 10 V/divisão, pode-se medir tensões de até 80 V (8 divisões. 10 V/div = 80 V).

Se a tensão aplicada à entrada vertical excede o limite de medição, o traço sofre um deslocamento tal que desaparece da tela.

Quando isso acontece, deve-se mudar a posição da chave seletora de ganho vertical para um valor maior, reajustar a referência e refazer a medição.

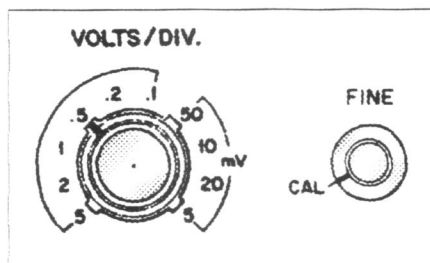
### Observação

Quando o valor de tensão a medir é parcialmente conhecido, a chave seletora de ganho vertical deve ser posicionada adequadamente antes de realizar a medição.

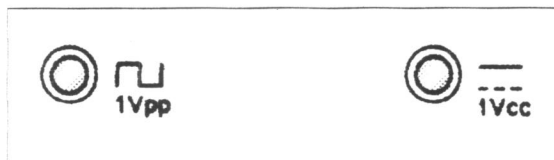
É importante lembrar que a posição de referência do traço na tela deve ser conferida a cada mudança de posição da chave seletora de ganho vertical e reajustada, se necessário.

### Ajuste fino de ganho vertical

Quando o osciloscópio dispõe de um ajuste fino de ganho vertical, este deve ser calibrado, antes de executar a medição; caso contrário, a leitura não será correta. Em alguns osciloscópios, o ajuste fino de ganho vertical já tem a posição de calibração indicada por "CAL".



Quando o ajuste fino não tiver posição de calibração indicada, o ajuste é feito utilizando-se uma tensão CC (ou CA quadrada) que está disponível em um borne do painel de osciloscópio.



Conecta-se a ponta de prova ao borne e ajusta-se o controle de ajuste fino. Isso deve ser feito de forma que a tensão lida na tela confira com a tensão (CC ou CA PP) indicada ao lado do borne.

Assim, ao lado do borne no painel do osciloscópio está colocado 1VPP. Conecta-se a ponta de prova ao borne e posiciona-se o ajuste fino de ganho vertical para que a figura na tela indique 1VPP.

## Controles da base de tempo

O traço na tela de um osciloscópio é formado pelo movimento de um ponto, controlado pelos circuitos da base de tempo ou varredura horizontal.

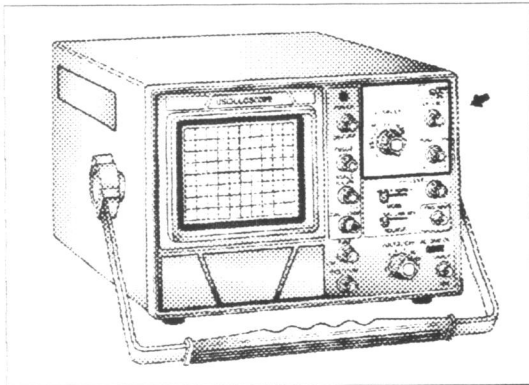
O movimento horizontal do ponto é chamado de varredura. Por essa razão, os controles da base de tempo do osciloscópio também são conhecidos por controles de varredura.

Através dos controles da base de tempo é possível fazer com que o ponto se desloque mais rápida ou mais lentamente na tela do osciloscópio.

Em geral, o osciloscópio possui três controles da base de tempo:

- Chave seletora da base de tempo (H. Sweep ou time/div.);
- Ajuste fino da base de tempo (H. Vernier);
- Amplificador horizontal.

Esses controles são comuns a todos os traços do osciloscópio (duplo traço; 4 traços ou mais). Nos osciloscópios de duplo traço, os controles da base de tempo são comuns aos dois traços. Esses controles da base de tempo são mostrados a seguir em um modelo de osciloscópio de traço simples.

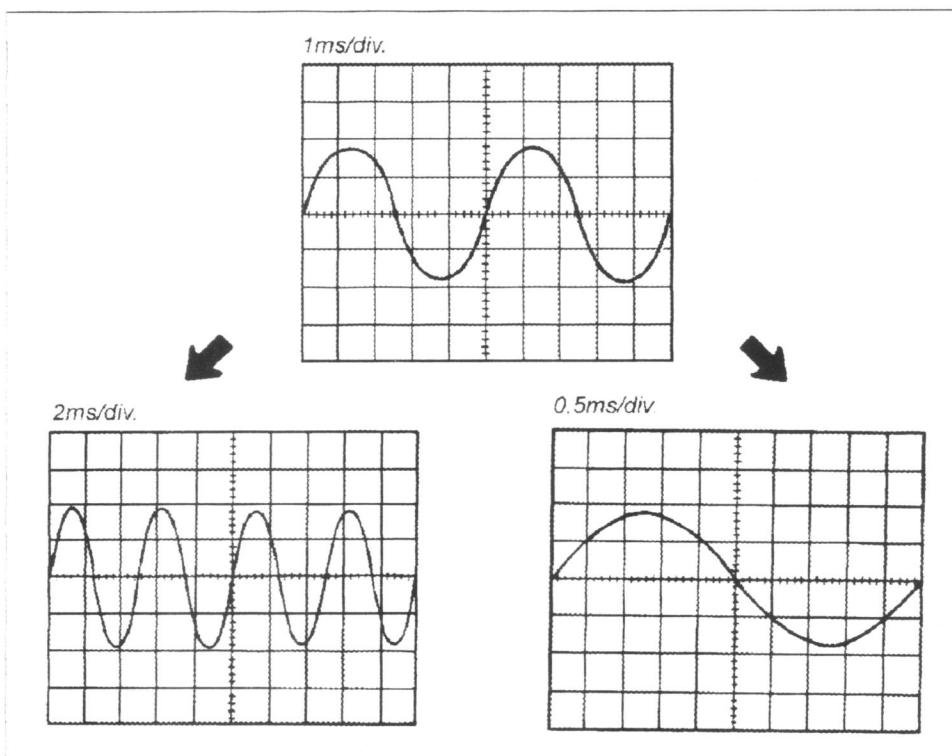
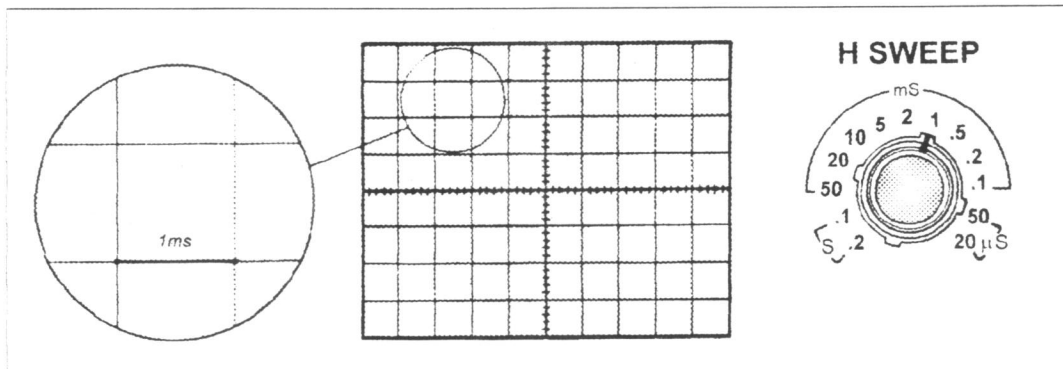


### Chave seletora da base de tempo

A chave seletora da base de tempo (H sweep ou time/div) é calibrada em valores de tempo por divisão (ms/div; ms/div; s/div).

Esta chave estabelece quanto tempo o ponto leva para percorrer uma divisão da tela no sentido horizontal.

Assim, se a chave seletora da base de tempo estiver posicionada em 1 ms/div, o ponto leva um milissegundo para percorrer uma divisão horizontal da tela.



Através da chave seletora é possível expandir ou comprimir horizontalmente a figura na tela.

### Ajuste fino da base de tempo

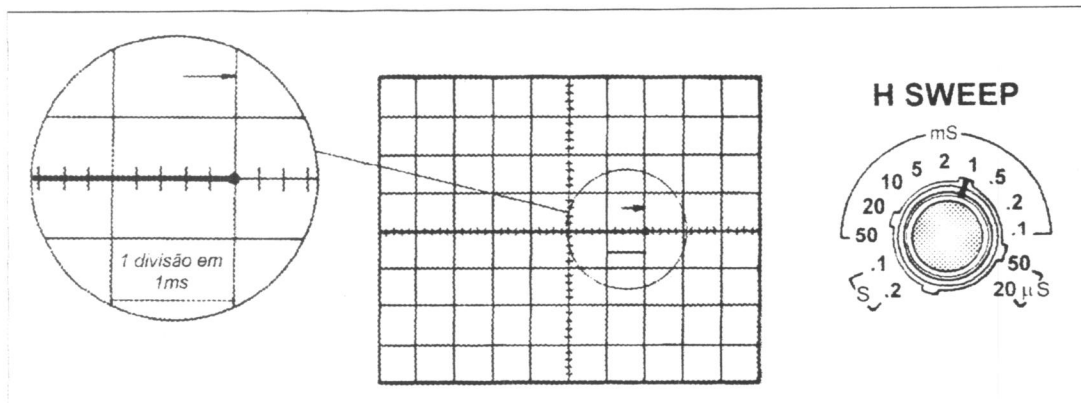
Esse botão (variable) atua em conjunto com a chave seletora da base de tempo. Permite que o tempo de deslocamento horizontal do ponto na tela seja ajustado para valores intermediários entre uma posição e outra da base de tempo.

Desse modo, se a chave seletora da base de tempo tem as posições 1 ms/div e 0,5 ms/div, o ajuste fino permite que se ajustem tempos entre estes dois valores (0,6 ms/div; 0,85 ms/div).

Na tela, o efeito do ajuste fino é de ajustar a largura da figura em qualquer proporção que se deseje.

Um aspecto importante deve ser considerado: o ajuste fino não tem escala, de forma que não é possível saber exatamente quanto tempo o ponto leva para deslocar-se numa divisão horizontal.

Este controle de ajuste fino tem uma posição denominada "calibrado" ou "cal". Quando o controle está na posição "calibrado", o tempo de deslocamento horizontal do ponto em uma divisão horizontal da tela é determinado somente pela posição da chave seletora da base de tempo.



Sempre que for necessário conhecer o tempo de deslocamento horizontal do ponto em uma divisão, o ajuste fino da base de tempo tem que ser posicionado em calibrado.

### Amplificador horizontal

O amplificador (magnifier) é chamado também de expensor e atua na largura da figura na tela. Em geral, os expansores permitem que a figura seja ampliada 5 ou 10 vezes no sentido horizontal.

**Observação:** Nem todos os osciloscópios trazem este controle.

---

# Gerador de funções

No trabalho de manutenção, o técnico de eletroeletrônica enfrenta situações em que é preciso usar equipamentos que o ajudem a descobrir e a corrigir defeitos em aparelhos. O gerador de funções é um destes equipamentos, utilizado com frequência na manutenção de equipamentos de som e imagem.

O presente capítulo vai tratar do gerador de funções e mostrar o modo correto de operar esse equipamento.

Para desenvolver os conteúdos e atividades desta lição, é necessário que você conheça corrente alternada e resistência interna.

## **Gerador de funções**

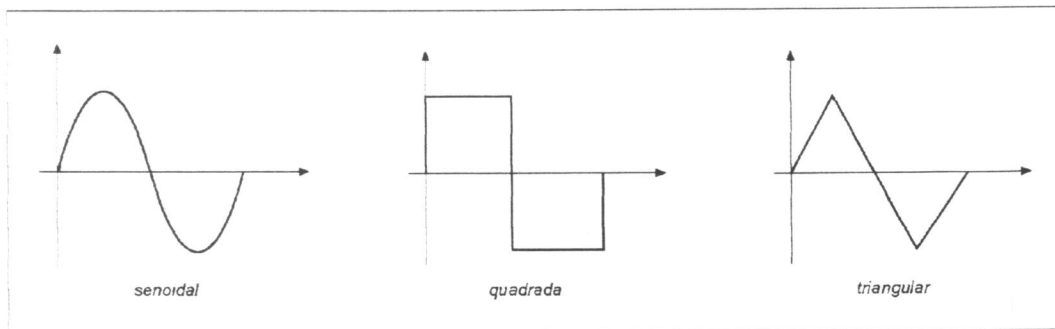
O gerador de funções é utilizado para calibrar e reparar circuitos eletrônicos. É um equipamento que fornece tensões elétricas com diversas formas de onda chamadas de sinais elétricos, com amplitudes e frequências variáveis.

## **Características do gerador de funções**

As características fundamentais dos geradores de funções são:  
tipos de sinais fornecidos;

- Faixa de frequência;
- Tensão máxima de pico-a-pico na saída;
- Impedância de saída.

## Tipos de sinais fornecidos



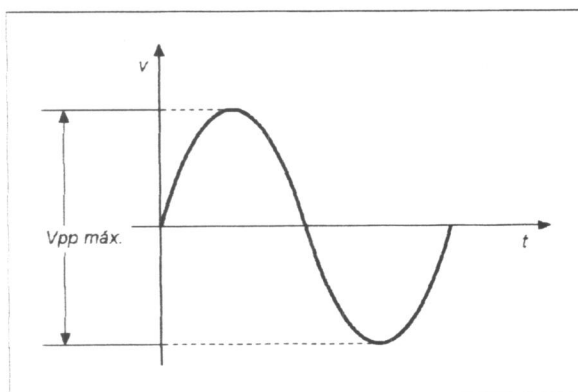
Os sinais variam de modelo para modelo. Dentre os tipos de sinais mais comuns, fornecidos pelo gerador, temos os que se apresentam as formas de ondas senoidal, quadrada e triangular.

### Faixa de frequência

Dependendo da marca e do modelo, o gerador de funções fornece sinais em uma frequência que vai de 1 Hz a vários MHz. Os manuais dos fabricantes informam a faixa de frequência que o equipamento pode fornecer. Por exemplo, de 1Hz a 20 kHz.

### Tensão máxima de pico-a-pico na saída

A tensão máxima de pico-a-pico é o valor máximo de amplitude do sinal que o gerador pode fornecer.



### Impedância de saída

A impedância de saída é a impedância que o gerador apresenta entre os terminais de saída.



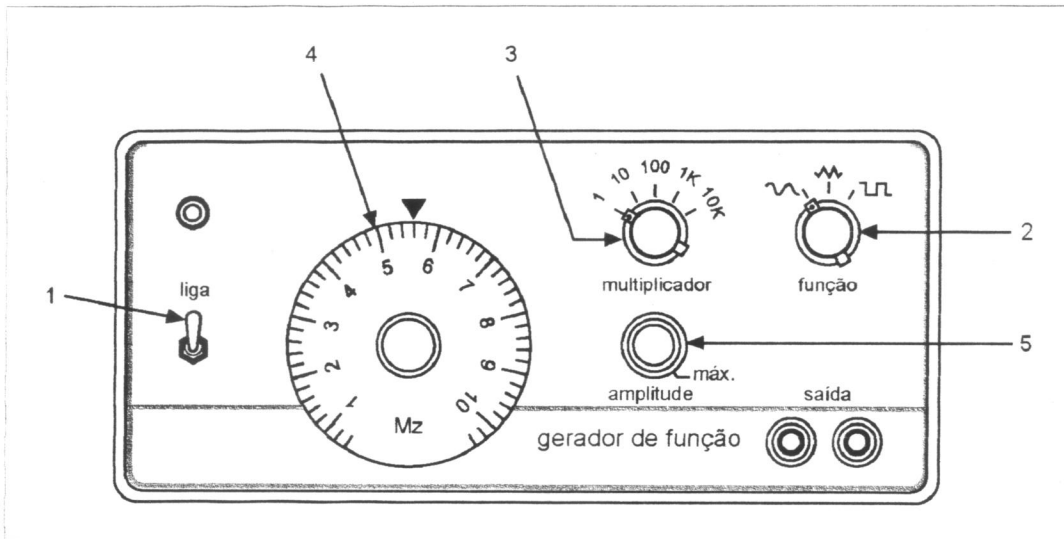
Os geradores podem ser de:

- Alta impedância de saída, para circuitos a válvula;
- Média impedância de saída, para circuitos transistorizados. Geralmente, sua impedância é de 600  $\Omega$ ;
- Baixa impedância de saída, para trabalhos em circuitos digitais. Em geral, sua impedância de saída fica em torno de 50  $\Omega$ .

É importante conhecer as características do gerador de funções, porque isso permite obter a máxima transferência de potência entre gerador e carga.

### Dispositivos de controle

O painel do gerador de sinal tem uma série de dispositivos de controle que servem para ajustar o equipamento de acordo com o trabalho a realizar.



Observe na figura a seguir um modelo de gerador de funções, com o painel de controles em destaque.

No gerador de funções são comuns os seguintes dispositivos de controle:

1. Chave liga-desliga que serve para ligar e desligar o equipamento;
2. Chave seletora de sinal ou função que seleciona a forma de onda do sinal de saída;
3. Chave seletora de faixa de frequência ou multiplicador, presente em geradores que fornecem valores de frequência em ampla faixa como, por exemplo, de 10Hz a 100kHz. Esse seletor possui diversas posições, permitindo escolher a faixa de frequência desejada como, por exemplo, de 100 Hz a 1000 Hz;

4. Controle de frequência fornecida ou DIAL: é um controle acoplado a uma escala que permite estabelecer o ajuste da frequência do sinal fornecido pelo gerador dentro dos limites definidos pelo seletor da faixa de operação. O valor indicado no dial deve ser multiplicado pela faixa de frequência previamente ajustada pela chave seletora de faixa de frequência;
5. Controle de nível de saída ou amplitude: serve para ajustar a amplitude (pico-a-pico) do sinal de saída.

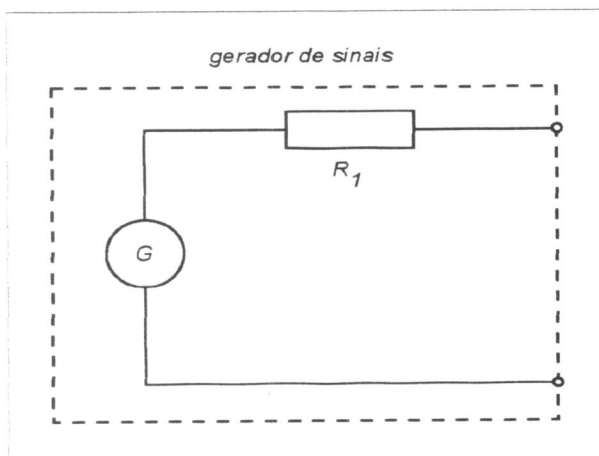
Existem geradores de funções mais sofisticados que dispõem de outros controles.

### Observação

Para uma correta compreensão dos controles adicionais, é preciso consultar o manual do fabricante.

### Influência da carga na amplitude do sinal

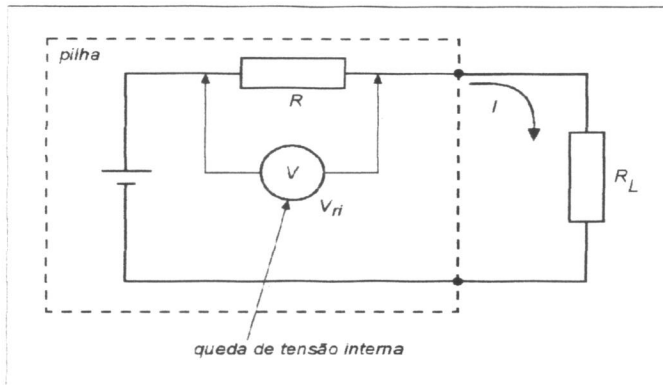
O gerador de funções apresenta uma impedância interna. Esta impedância interna produz um efeito semelhante ao de uma resistência elétrica colocada no interior do aparelho, em série com a saída.



Assim como em pilhas e baterias, essa impedância de saída do gerador pode ser representada com um resistor em série com os bornes de saída.

Devido a essa resistência, a amplitude do sinal sofre uma redução quando a carga é ligada.

Tal redução se deve ao fato de que a impedância interna provoca uma queda de tensão, quando o gerador fornece corrente ao circuito.



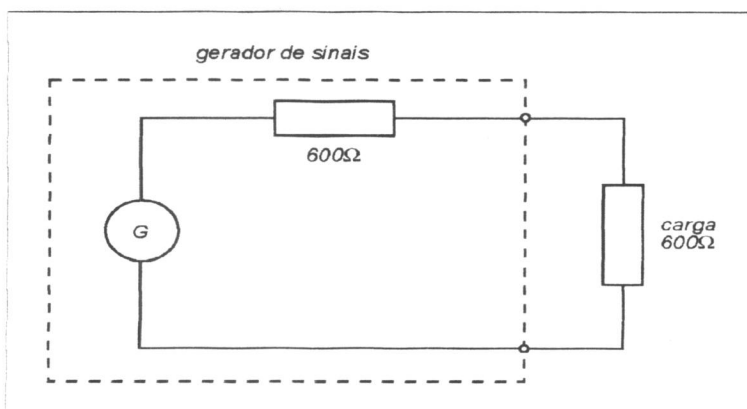
O efeito é semelhante à queda de tensão que ocorre em pilhas e baterias devido a suas resistências internas.

Quanto maior for a carga a ser alimentada, maior será a corrente fornecida pelo gerador e maior será também a queda de tensão interna no gerador. Portanto, haverá uma maior redução na amplitude do sinal de saída. Por essa razão, sempre que se utilizar o gerador de funções, o nível de saída deve ser ajustado com a carga conectada.

### Casamento de impedância

Para obter a máxima transferência de potência gerador-carga, a impedância de saída do gerador deve ser a mais próxima possível da impedância da carga.

Observe na figura que segue uma situação ideal de casamento de impedância, com máxima transferência de potência.





# Capacitores

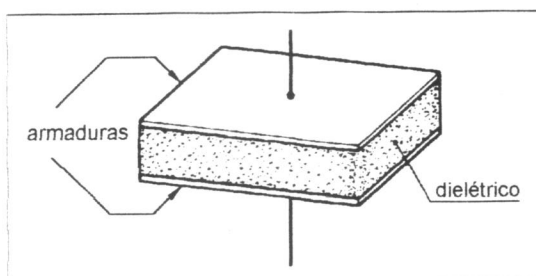
Os capacitores são componentes largamente empregados nos circuitos eletrônicos. Eles podem cumprir funções tais como o armazenamento de cargas elétricas ou a seleção de frequências em filtros para caixas acústicas.

Este capítulo vai falar sobre o capacitor: sua constituição, tipos, características. Ele falará também sobre a capacitância que é a característica mais importante desse componente.

Para ter sucesso no desenvolvimento dos conteúdos e atividades deste capítulo, você já deverá ter conhecimentos relativos a condutores, isolantes e potencial elétrico.

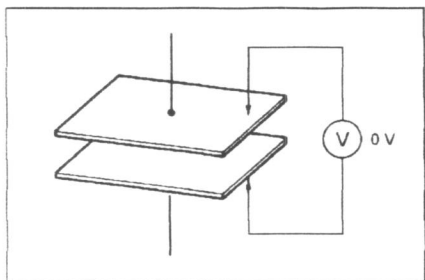
## Capacitor

O capacitor é um componente capaz de **armazenar cargas elétricas**. Ele se compõe basicamente de duas placas de material condutor, denominadas de **armaduras**. Essas **placas** são **isoladas** eletricamente **entre si** por um material isolante chamado **dielétrico**.



### Observação

O material condutor que compõe as armaduras de um capacitor é **eletricamente neutro** em seu **estado natural**; em cada uma das armaduras o número total de **prótons e elétrons é igual**, portanto as placas **não têm potencial elétrico**. Isso significa que entre elas não há diferença de potencial (tensão elétrica).



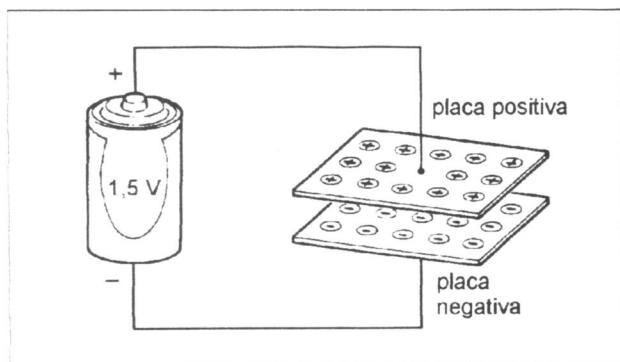
### Armazenamento de carga

Conectando-se os terminais do capacitor a uma fonte de CC, ele fica sujeito à diferença de potencial dos pólos da fonte.

O **potencial** da bateria aplicado a cada uma das **armaduras** faz surgir entre elas uma força chamada **campo elétrico**, que nada mais é do que uma **força de atração** (cargas de sinal diferente) ou **repulsão** (cargas de mesmo sinal) entre **cargas** elétricas.

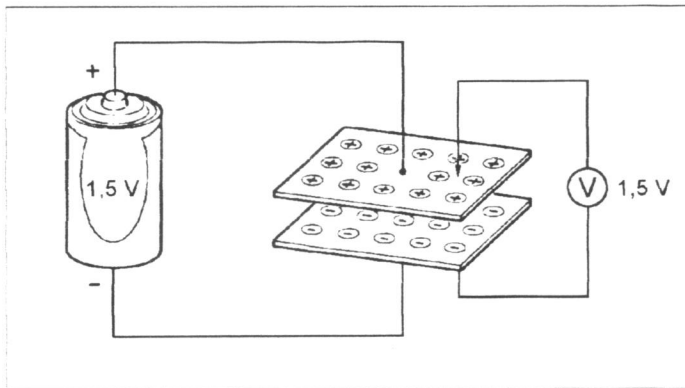
O pólo positivo da fonte absorve elétrons da armadura à qual está conectado enquanto o pólo negativo fornece elétrons à outra armadura.

A armadura que fornece elétrons à fonte fica com íons positivos adquirindo um potencial positivo. A armadura que recebe elétrons da fonte fica com íons negativos adquirindo potencial negativo.



### Observação

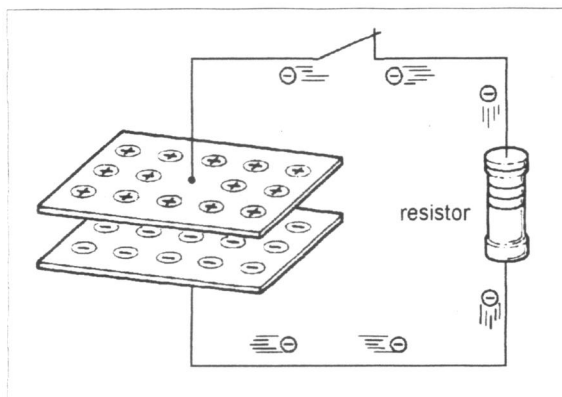
Para a análise do movimento dos elétrons no circuito usou-se o **sentido eletrônico** da corrente elétrica. Isso significa que ao conectar o capacitor a uma fonte CC surge uma diferença de potencial entre as armaduras. A tensão presente nas armaduras do capacitor terá um valor tão próximo ao da tensão da fonte que, para efeitos práticos, podem ser considerados iguais.

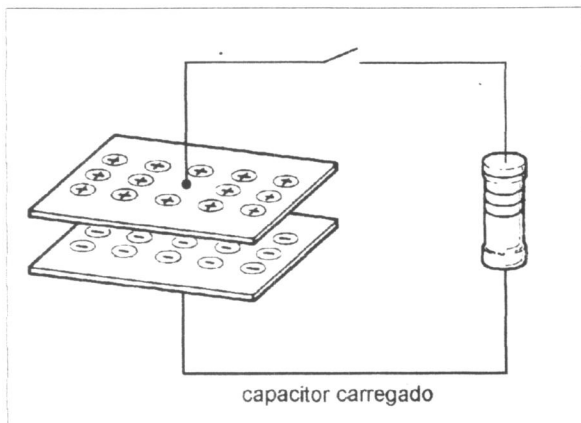


Quando o **capacitor** assume a **mesma tensão da fonte** de alimentação diz-se que o capacitor está "**carregado**". Se, após ter sido carregado, o capacitor for desconectado da fonte de CC, suas armaduras permanecem com os potenciais adquiridos. Isso significa, que, mesmo após ter sido desconectado da fonte de CC, ainda existe tensão presente entre as placas do capacitor. Assim, essa energia armazenada pode ser reaproveitada.

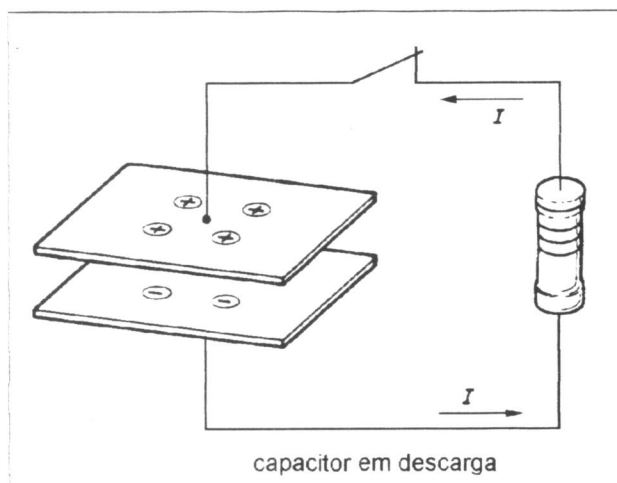
### Descarga do capacitor

Tomando-se um **capacitor carregado** e conectando seus terminais a uma **carga** haverá uma **circulação de corrente**, pois o capacitor atua como fonte de tensão.





Isso se deve ao fato de que através do circuito fechado inicia-se o estabelecimento do equilíbrio elétrico entre as armaduras. Os elétrons em excesso em uma das armaduras, se movimentam para a outra onde há falta de elétrons, até que se **restabeleça o equilíbrio de potencial entre elas.**



Durante o tempo em que o **capacitor se descarrega**, a **tensão entre suas armaduras diminui**, porque o número de íons restantes em cada armadura é cada vez menor. Ao fim de algum tempo, a tensão entre as armaduras é tão pequena que pode ser considerada zero.

### Capacitância

A **capacidade de armazenamento** de cargas de um capacitor depende de alguns fatores:

- **Área das armaduras**

Ou seja, quanto maior a área das armaduras, maior a capacidade de armazenamento de um capacitor;



- **Espessura do dielétrico**

Pois, quanto mais fino o dielétrico, mais próximas estão as armaduras. O campo elétrico formado entre as armaduras é maior e a capacidade de armazenamento também;

- **Natureza do dielétrico**

Ou seja, quanto maior a capacidade de isolamento do dielétrico, maior a capacidade de armazenamento do capacitor.

Essa **capacidade de um capacitor de armazenar cargas** é denominada de **capacitância**, que é um dos fatores elétricos que identifica um capacitor.

A **unidade de medida** de capacitância é o **farad**, representado pela letra **F**. Por ser uma unidade muito "grande", apenas seus submúltiplos são usados. Veja tabela a seguir.

Unidade	Símbolo	Valor com relação ao farad
microfarad	$\mu\text{F}$	$10^{-6}$ F ou 0,000001 F
nanofarad	nF (ou KpF)	$10^{-9}$ F ou 0,000000001 F
picofarad	pF	$10^{-12}$ F ou 0,000000000001 F

### Tensão de trabalho

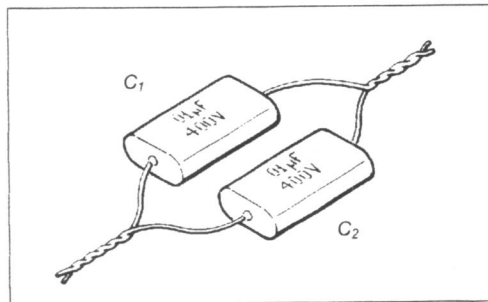
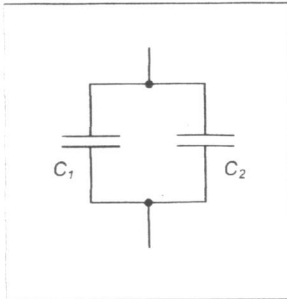
Além da capacitância, os capacitores têm ainda outra característica elétrica importante: a **tensão de trabalho**, ou seja, a **tensão máxima** que o capacitor pode suportar entre as armaduras.

A aplicação no capacitor de uma tensão superior à sua tensão máxima de trabalho provoca o rompimento do dielétrico e faz o capacitor entrar em curto. Na maioria dos capacitores, isso danifica permanentemente o componente.

### Associação de capacitores

Os **capacitores**, assim como os resistores podem ser **conectados entre si** formando uma associação série, paralela e mista. As associações paralela e série são encontradas na prática. As mistas raramente são utilizadas.

A **associação paralela** de capacitores tem por objetivo obter **maiores valores de capacitância**.



Essa associação tem características particulares com relação à capacitância total e à tensão de trabalho.

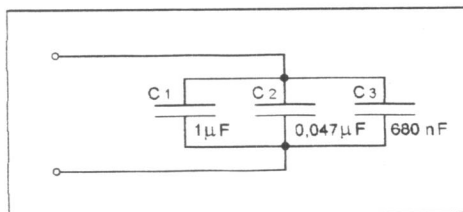
A **capacitância total** ( $C_T$ ) da associação paralela é a **soma das capacitâncias individuais**. Isso pode ser representado matematicamente da seguinte maneira:

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 \dots + C_n$$

Para executar a soma, todos os valores devem ser convertidos para a mesma unidade.

**Exemplo:**

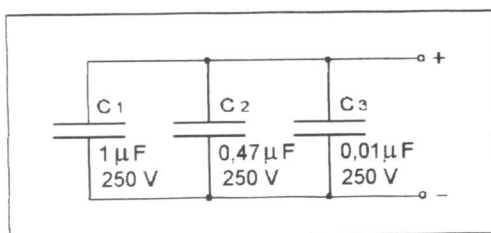
Qual a capacitância total da associação paralela de capacitores mostrada a seguir:



$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 = 1 + 0,047 + 0,68 = 1,727$$

$$C_T = 1,727 \mu F$$

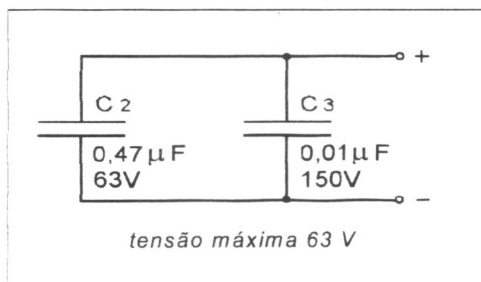
A **tensão de trabalho** de todos os **capacitores** associados em paralelo corresponde à **mesma tensão aplicada** ao conjunto.



Assim, a **máxima tensão** que pode ser **aplicada** a uma associação paralela é a do **capacitor** que tem **menor tensão** de trabalho.

**Exemplo:**

A máxima tensão que pode ser aplicada nas associações apresentadas nas figuras a seguir é **63 V**.

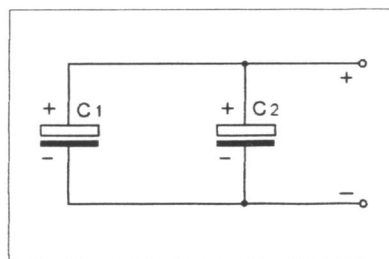
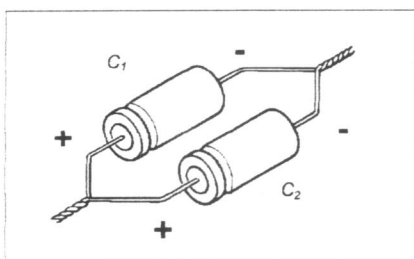


É importante ainda lembrar dois aspectos:

- Deve-se evitar aplicar sobre um capacitor a tensão máxima que ele suporta; em **CA**, a tensão máxima é a **tensão de pico**. Um capacitor com tensão de trabalho de 100 V pode ser aplicado a uma tensão eficaz máxima de 70 V, pois 70 V eficazes correspondem a uma tensão CA com pico de 100 V.

**Associação paralela de capacitores polarizados**

Ao associar capacitores polarizados em paralelo, tanto os terminais positivos dos capacitores quanto os negativos devem ser ligados em conjunto entre si.

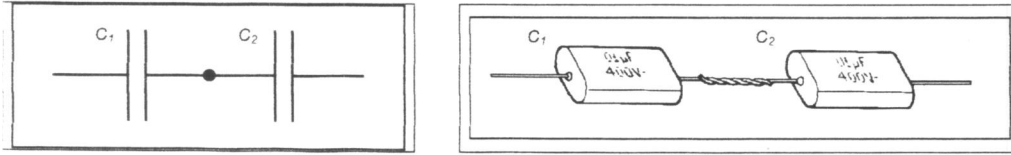


**Observação**

Deve-se lembrar que **capacitores polarizados** só podem ser usados em **CC** porque não há troca de polaridade da tensão.

### Associação série de capacitores

A associação série de capacitores tem por objetivo obter **capacitâncias menores** ou **tensões de trabalho maiores**.



Quando se associam capacitores em série, a capacitância total é **menor** que o valor do menor capacitor associado. Isso pode ser representado matematicamente da seguinte maneira:

$$C_T = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}}$$

Essa expressão pode ser desenvolvida (como a expressão para  $R_T$  de resistores em paralelo) para duas situações particulares:

a. Associação série de dois capacitores:

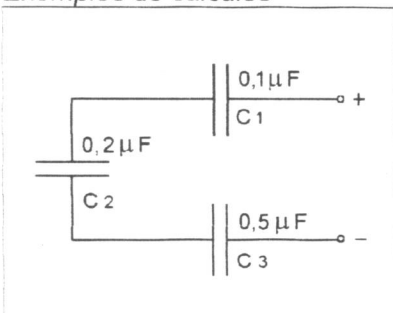
$$C_T = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2}$$

b. Associação série de "n" capacitores de mesmo valor:

$$C_T = \frac{C}{n}$$

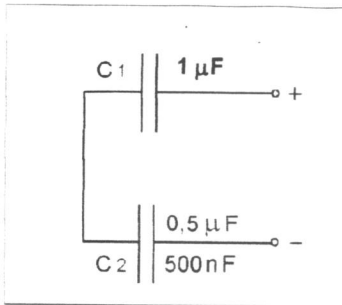
Para a utilização das equações, **todos os valores** de capacitância devem ser convertidos para a **mesma unidade**.

#### Exemplos de cálculos



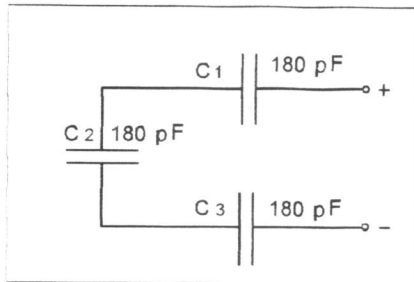
$$C_T = \frac{1}{\frac{1}{0,1} + \frac{1}{0,2} + \frac{1}{0,5}} = \frac{1}{10 + 5 + 2} = \frac{1}{17} = 0,059$$

$$C_T = 0,059 \mu F$$



$$C_T = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2} = \frac{1 \times 0,5}{1 + 0,5} = \frac{0,5}{1,5} = 0,33$$

$$C_T = 0,33 \mu F$$



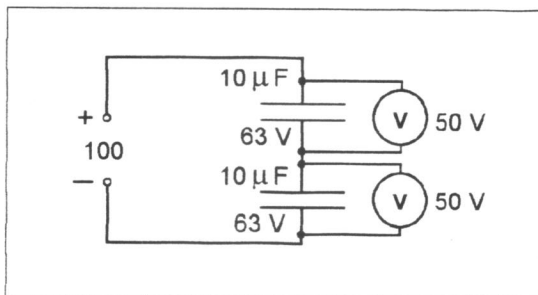
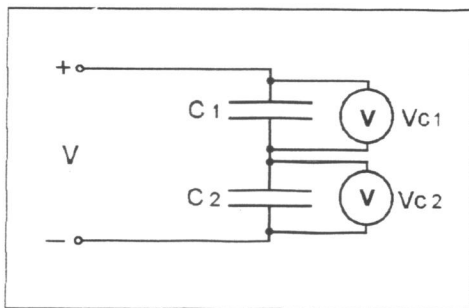
$$C_1 = C_2 = C_3 = C = 180 \text{ pF}$$

$$C_T = \frac{C}{n} = \frac{180}{3} = 60$$

$$C_T = 60 \text{ pF}$$

### Tensão de trabalho da associação série

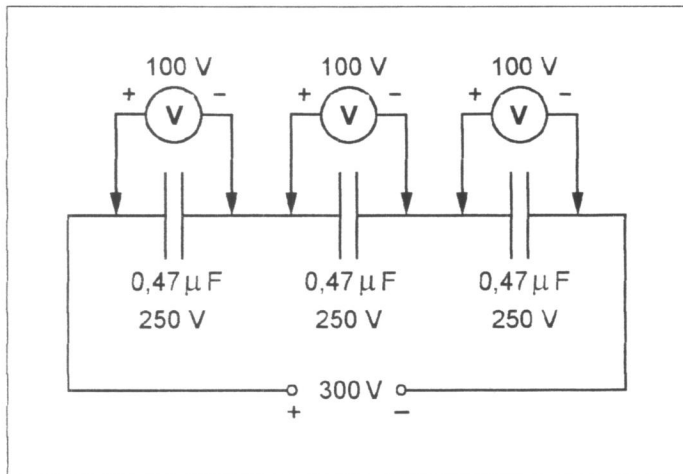
Quando se aplica tensão a uma associação série de capacitores, a **tensão** aplicada **se divide** entre os dois capacitores.



A **distribuição da tensão** nos capacitores ocorre de forma **inversamente proporcional à capacitância**, ou seja, quanto maior a capacitância, menor a tensão; quanto menor a capacitância, maior a tensão.

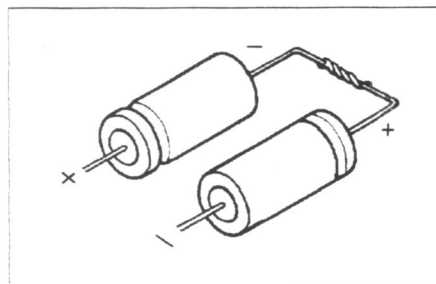
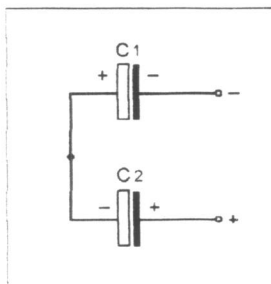
Como forma de simplificação pode-se adotar um procedimento simples e que evita a aplicação de tensões excessivas a uma associação série de capacitores. Para isso, associa-se em série **capacitores de mesma capacitância e mesma tensão de trabalho**.

Desta forma, a tensão aplicada se distribui igualmente sobre todos os capacitores.



### Associação série de capacitores polarizados

Ao associar capacitores polarizados em série, o **terminal positivo** de um capacitor é conectado ao **terminal negativo** do outro.



É importante lembrar que **capacitores polarizados** só devem ser ligados em **CC**.

# Reatância capacitiva

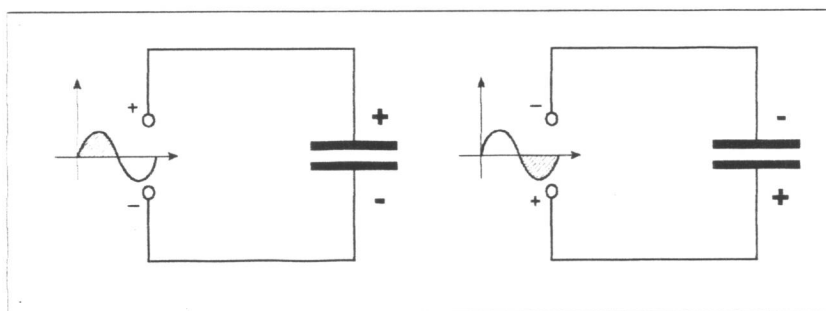
Em resposta à corrente contínua, um capacitor atua como um armazenador de energia elétrica. Em corrente alternada, contudo, o comportamento do capacitor é completamente diferente devido à troca de polaridade da fonte.

Este capítulo apresentará o comportamento do capacitor nas associações em circuitos CA. Para aprender esses conteúdos com mais facilidade, é necessário ter conhecimentos anteriores sobre corrente alternada e capacitores.

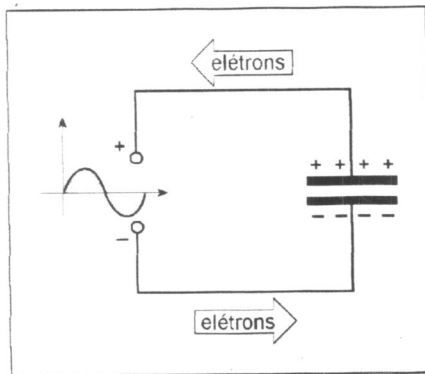
## Funcionamento em CA

Os capacitores despolarizados podem funcionar em corrente alternada, porque cada uma de suas armaduras pode receber tanto potencial positivo como negativo.

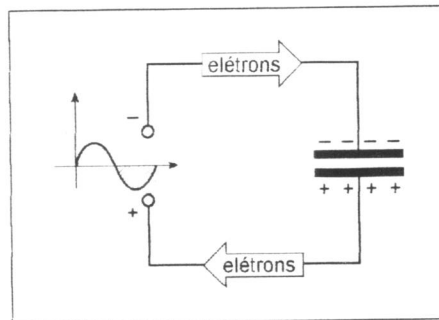
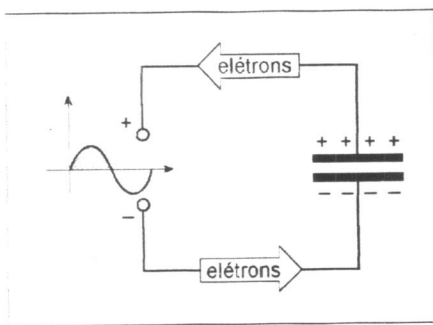
Quando um capacitor é conectado a uma fonte de corrente alternada, a troca sucessiva de polaridade da tensão é aplicada às armaduras do capacitor.



A cada semiciclo, a **armadura que recebe potencial positivo entrega elétrons à fonte**, enquanto a armadura que está ligada ao potencial negativo recebe elétrons.



Com a troca sucessiva de polaridade, uma mesma armadura durante um semiciclo recebe elétrons da fonte e no outro devolve elétrons para a fonte.



Existe, portanto, um movimento de elétrons ora entrando, ora saindo da armadura. Isso significa que circula uma corrente alternada no circuito, embora as **cargas elétricas não passem de uma armadura do capacitor para a outra** porque entre elas há o dielétrico, que é um isolante elétrico.

### Reatância capacitiva

Os processos de **carga e descarga sucessivas** de um capacitor ligado em CA dão origem a uma **resistência** à passagem da corrente CA no circuito. Essa resistência é denominada de **reatância capacitiva**. Ela é representada pela notação  $X_C$  e é expressa em **ohms** ( $\Omega$ ), através da expressão:

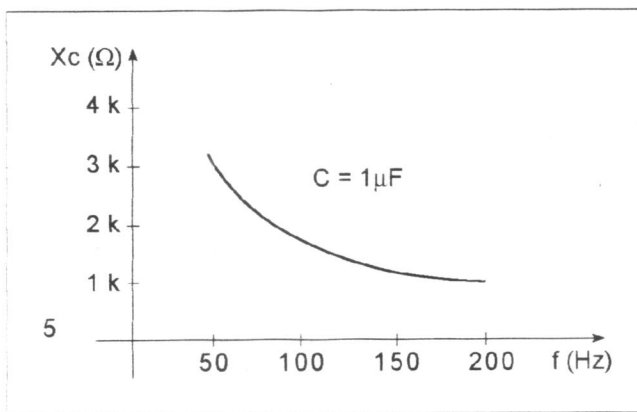
$$X_C = \frac{V_C}{I_C}$$



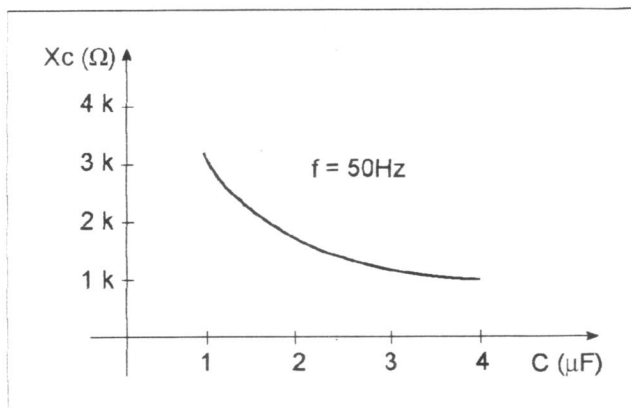
Na expressão apresentada,  $X_C$  é a reatância capacitiva em ohms ( $\Omega$ );  $f$  é a frequência da corrente alternada em Hertz (Hz);  $C$  é a capacitância do capacitor em Farad (F);  $2\pi$  é uma constante matemática cujo valor aproximado é 6,28.

### Fatores que influenciam na reatância capacitiva

A reatância capacitiva de um capacitor depende apenas da sua capacitância e da frequência da rede CA. O gráfico a seguir mostra o comportamento da **reatância capacitiva** com a variação da **frequência da CA**, no qual é possível perceber que a **reatância capacitiva diminui** com o **aumento da frequência**.



No gráfico a seguir, está representado o comportamento da reatância capacitiva com a variação da capacitância. Observa-se que a **reatância capacitiva diminui** com o **aumento da capacitância**.



Na equação da reatância, não aparece o valor de tensão. Isso significa que a reatância capacitiva é **independente** do valor de tensão de CA aplicada ao capacitor.

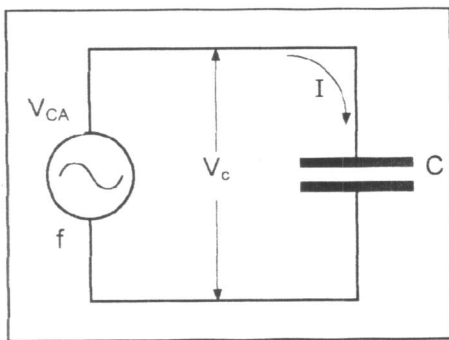
A tensão CA aplicada ao capacitor influencia apenas na intensidade de corrente CA circulante no circuito.

### Relação entre tensão CA, corrente CA e reatância capacitiva

Quando um capacitor é conectado a uma fonte de CA, estabelece-se um circuito elétrico. Nesse circuito estão envolvidos três valores:

- Tensão aplicada;
- Reatância capacitiva;
- Corrente circulante.

Esses três valores estão relacionados entre si nos circuitos de CA da mesma forma que nos circuitos de CC, através da **Lei de Ohm**.

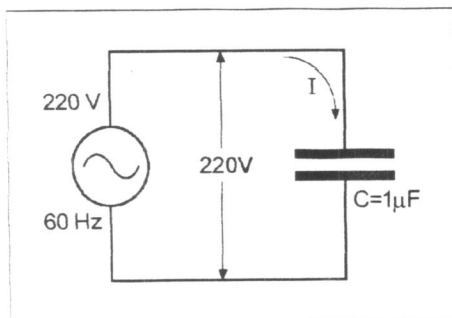


Assim,  $V_C = I \cdot X_C$ .

Nessa expressão,  $V_C$  é a tensão no capacitor em volts (V);  $I$  é a corrente (eficaz) no circuito em ampères (A);  $X_C$  é a reatância capacitiva em omhs ( $\Omega$ ).

#### Exemplo de cálculo:

Um capacitor de  $1 \mu\text{F}$  é conectado a uma rede de CA de 220 V, 60 Hz. Qual é a corrente circulante no circuito?



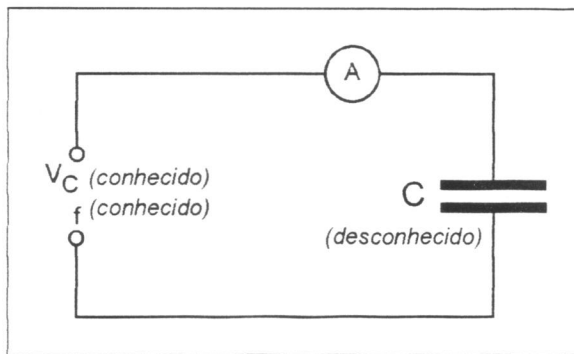
$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{6,28 \cdot 60 \cdot 0,000001} = 2654 \Omega$$

$$I = \frac{V_C}{X_C} = \frac{220}{2654} = 0,0829 \text{ ou } 82,9 \text{ mA}$$

Deve-se lembrar que os valores de **V** e **I** são eficazes, ou seja, são valores que serão indicados por um **voltímetro** e um **miliamperímetro** de **CA** conectados ao circuito.

### Determinação experimental da capacitância de um capacitor

Quando a capacitância de um capacitor despolarizado é desconhecida, é possível determiná-la por um processo experimental. Isso é feito aplicando-se o capacitor a uma fonte de CA com tensão ( $V_C$ ) e frequência ( $f$ ) conhecidos e medindo-se a corrente com um amperímetro de CA ( $I_C$ ).



### Observação

O valor de **tensão de pico da CA** aplicada deve ser **inferior à tensão** de trabalho do **capacitor**.

Conhecendo-se os valores de tensão e corrente no circuito, determina-se a reatância capacitiva do capacitor por meio da expressão:

$$X_C = \frac{V_C}{I_C}$$

A capacitância (**C**) é obtida a partir da expressão:

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

Isolando **C**:

$$C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot X_C}$$



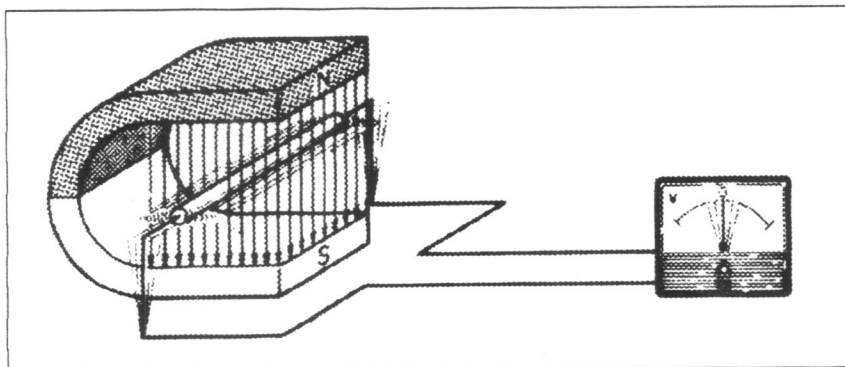
# Indutores

Neste capítulo, é iniciado o estudo de um novo componente: o indutor. Seu campo de aplicação se estende desde os filtros para caixas acústicas até circuitos industriais, passando pela transmissão de sinais de rádio e televisão.

O capítulo falará dos indutores, dos fenômenos ligados ao magnetismo que ocorrem no indutor e de seu comportamento em CA.

Para ter sucesso no desenvolvimento desses conteúdos, é necessário ter conhecimentos anteriores sobre magnetismo e eletromagnetismo.

## Indução



O princípio da geração de energia elétrica baseia-se no fato de que toda a vez que um **condutor se movimenta** no interior de um **campo magnético** aparece neste condutor uma **diferença de potencial**.

Essa tensão gerada pelo movimento do condutor no interior de um campo magnético é denominada de **tensão induzida**.

**Michael Faraday**, cientista inglês, ao realizar estudos com o eletromagnetismo, determinou as condições necessárias para que uma tensão seja induzida em um condutor. Suas observações podem ser resumidas em duas conclusões que compõem as leis da auto-indução:

“ Quando um condutor elétrico é sujeito a um campo magnético variável, uma tensão induzida tem origem nesse condutor.”

### Observação

Para ter um campo magnético variável no condutor, pode-se manter o campo magnético estacionário e movimentar o condutor perpendicularmente ao campo, ou manter o condutor estacionário e movimentar o campo magnético.

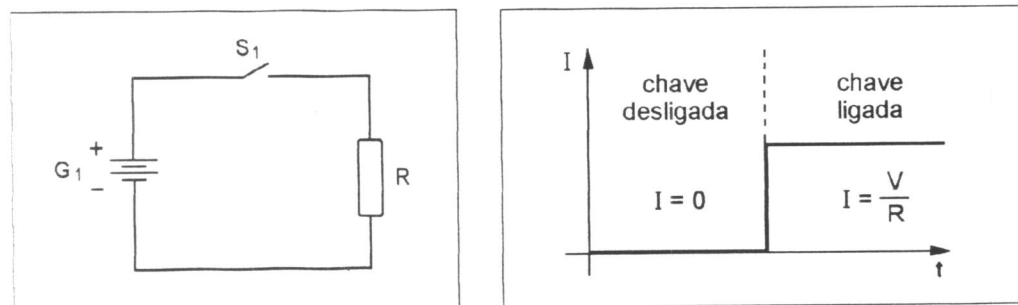
“A magnitude da tensão induzida é diretamente proporcional à intensidade do fluxo magnético e à velocidade de sua variação. Isso significa que quanto mais intenso for o campo, maior será a tensão induzida e quanto mais rápida for a variação do campo, maior será a tensão induzida.”

Para seu funcionamento, os geradores de energia elétrica se baseiam nesses princípios.

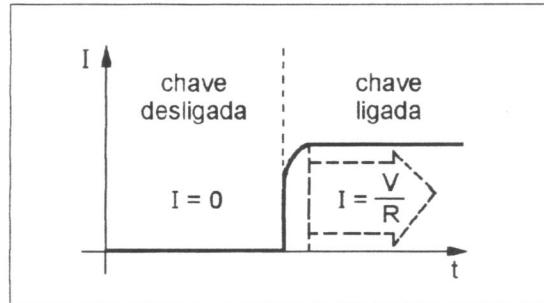
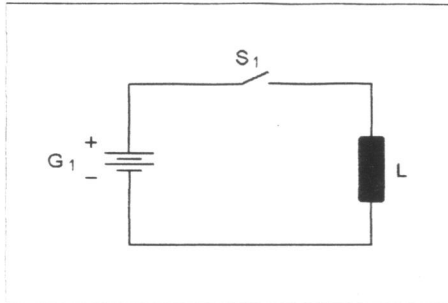
### Auto-indução

O fenômeno da indução faz com que o comportamento das bobinas seja diferente do comportamento dos resistores em um circuito de CC.

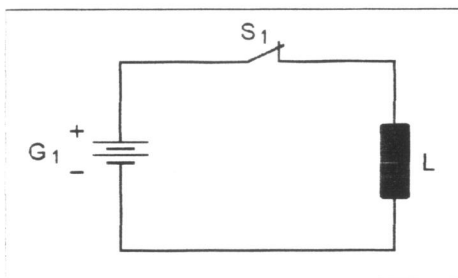
Em um circuito formado por uma fonte de CC, um resistor e uma chave, a corrente atinge seu valor máximo instantaneamente, no momento em que o interruptor é ligado.



Se, nesse mesmo circuito, o **resistor** for substituído por uma **bobina**, o comportamento será diferente. A corrente atinge o valor máximo algum tempo após a ligação do interruptor.

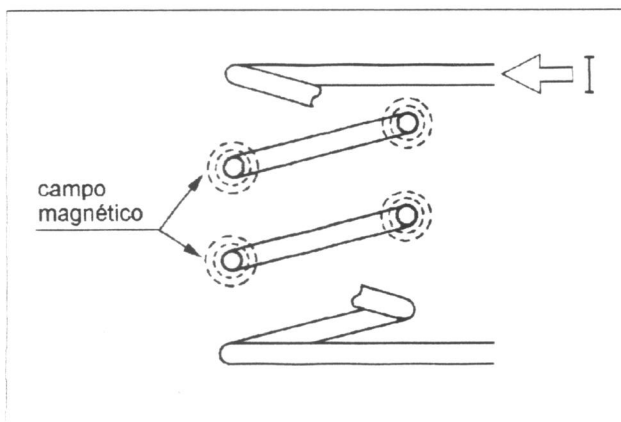


Esse atraso para atingir a corrente máxima se deve à indução e pode ser melhor entendido se imaginarmos passo a passo o comportamento de um circuito composto por uma **bobina**, uma fonte de CC e uma chave.

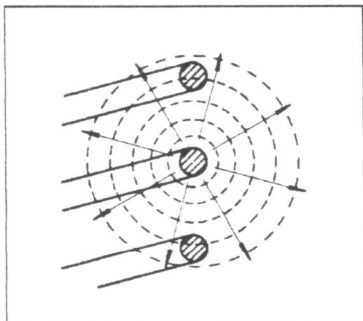


Enquanto a chave está desligada, não há campo magnético ao redor das espiras porque não há corrente circulante. No momento em que a chave é fechada, inicia-se a circulação de corrente na bobina.

Com a **circulação da corrente** surge o **campo magnético** ao redor de suas espiras.



À medida que a **corrente cresce** em direção ao valor máximo, o **campo magnético** nas espiras se **expande**. Ao se expandir, o campo magnético em movimento gerado em uma das espiras corta a espira colocada ao lado.

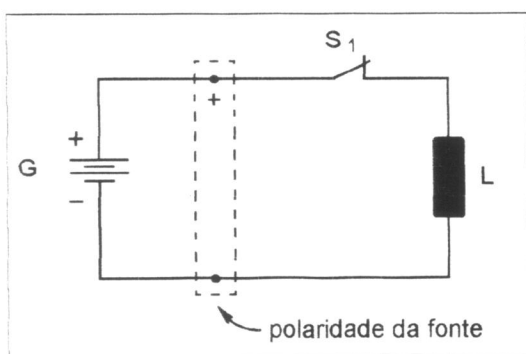


Conforme Faraday enunciou, induz-se uma determinada tensão nesta espira cortada pelo campo magnético em movimento. E **cada espira** da bobina **induz** uma **tensão** elétrica nas **espiras vizinhas**.

Assim, a aplicação de tensão em uma bobina provoca o aparecimento de um campo magnético em expansão que gera na **própria bobina** uma **tensão induzida**. Este fenômeno é denominado de **auto-indução**.

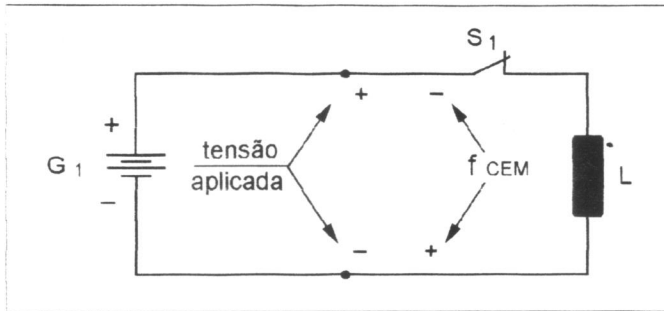
A **tensão gerada** na bobina por auto-indução tem **polaridade oposta** à da tensão que é aplicada aos seus terminais, por isso é denominada de **força contra-eletromotriz** ou **f<sub>cem</sub>**.

Resumindo, quando a chave do circuito é ligada, uma tensão com uma determinada polaridade é aplicada à bobina.

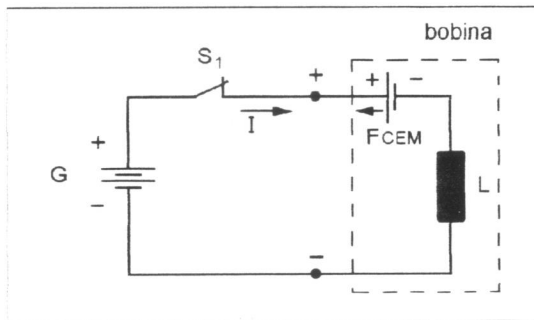




A auto-indução gera na bobina uma tensão induzida ( $f_{cem}$ ) de polaridade oposta à da tensão aplicada.



Se representarmos a  $f_{cem}$  como uma "bateria" existente no interior da própria bobina, o circuito se apresenta conforme mostra a figura a seguir.



Como a  $f_{cem}$  atua contra a tensão da fonte, a tensão aplicada à bobina é, na realidade:

$$V_{\text{RESULTANTE}} = V_{\text{FONTE}} - f_{cem}.$$

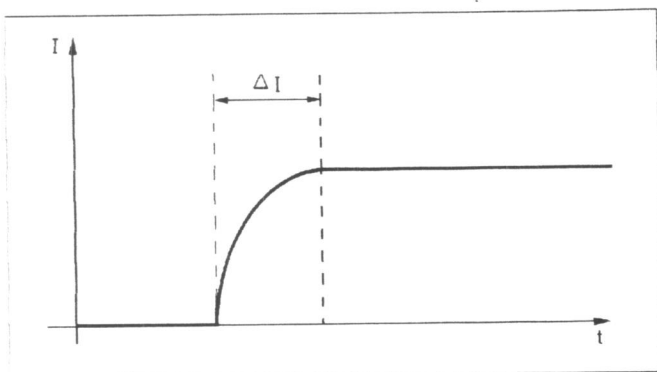
A corrente no circuito é causada por essa tensão resultante, ou seja:

$$I = \frac{(V - f_{cem})}{R}$$

### Indutância

Como a  $f_{cem}$  existe **apenas** durante a **variação do campo magnético** gerado na bobina, quando este atinge o **valor máximo**, a  $f_{cem}$  **deixa de existir** e a corrente atinge seu valor máximo.

O gráfico a seguir ilustra detalhadamente o que foi descrito.



O mesmo fenômeno ocorre quando a chave é **desligada**. A contração do campo induz uma fcm na bobina, retardando o decréscimo da corrente. Essa capacidade de se opor às variações da corrente é denominada de **indutância** e é representada pela letra **L**.

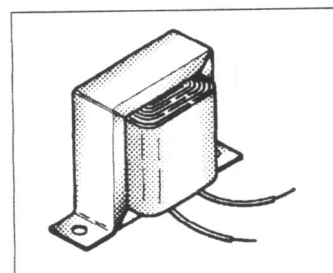
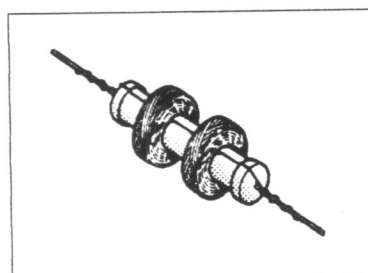
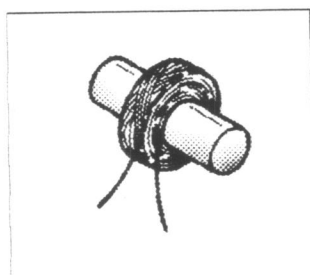
A unidade de medida da indutância é o **henry**, representada pela letra **H**. Essa unidade de medida tem submúltiplos muito usados em eletrônica. Veja tabela a seguir.

Denominação		Símbolo	Valor com relação ao henry
Unidade	henry	H	1
Submúltiplos	milihenry	mH	$10^{-3}$ ou 0,001
	microhenry	$\mu$ H	$10^{-6}$ ou 0,000001

A indutância de uma bobina depende de diversos fatores:

- Material, seção transversal, formato e tipo do núcleo;
- Número de espiras;
- Espaçamento entre as espiras;
- Tipo e seção transversal do condutor.

Como as **bobinas** apresentam indutância, elas também são chamadas de **indutores**. Estes podem ter as mais diversas formas e podem inclusive ser parecidos com um transformador. Veja figura a seguir.

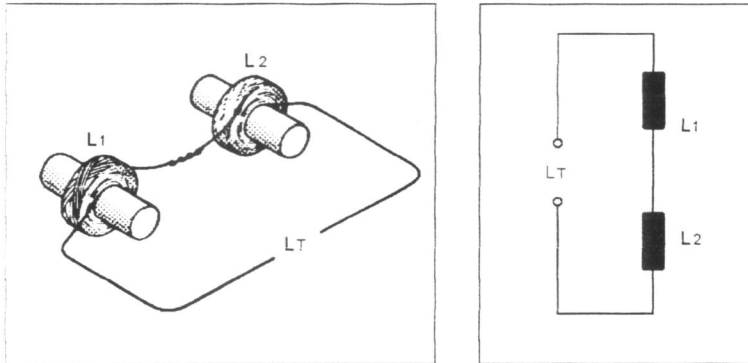


### Associação de indutores

Os indutores podem ser associados **em série**, **em paralelo** e até mesmo de forma **mista**, embora esta última não seja muito utilizada.

#### Associação em série

As ilustrações a seguir mostram uma associação série de indutores e sua representação esquemática.

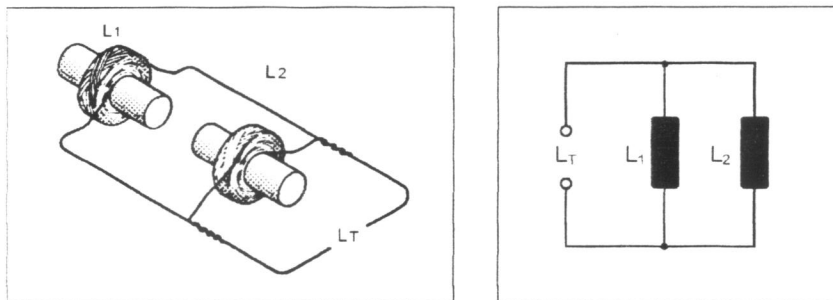


A representação matemática desse tipo de associação é:

$$L_T = L_1 + L_2 + \dots + L_n$$

#### Associação em paralelo

A associação paralela pode ser usada como forma de obter indutâncias menores ou como forma de dividir uma corrente entre diversos indutores.



A indutância total de uma associação paralela é representada matematicamente por:

$$L_T = \frac{1}{\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots + \frac{1}{L_n}}$$

Nessa expressão,  $L_T$  é a indutância total e  $L_1, L_2, \dots, L_n$  são as indutâncias associadas.

Essa expressão pode ser desenvolvida para duas situações particulares:

a. Associação paralela de dois indutores:

$$L_T = \frac{L_1 \times L_2}{L_1 + L_1}$$

b. Associação paralela de "n" indutores de mesmo valor (L):

$$L_T = \frac{L}{n}$$

Para utilização das equações, **todos os valores** de indutâncias devem ser convertidos para a **mesma unidade**.

---

# Reatância indutiva

Neste capítulo, continuaremos a estudar o comportamento dos indutores em circuitos de CA. Veremos que o efeito da indutância nestas condições se manifesta de forma permanente.

Para aprender esses conteúdos com mais facilidade, é necessário ter bons conhecimentos sobre magnetismo, eletromagnetismo e indutância.

## Reatância indutiva

Quando se aplica um indutor em um circuito de CC, sua indutância se manifesta apenas nos momentos em que existe uma variação de corrente, ou seja, no momento em que se liga e desliga o circuito.

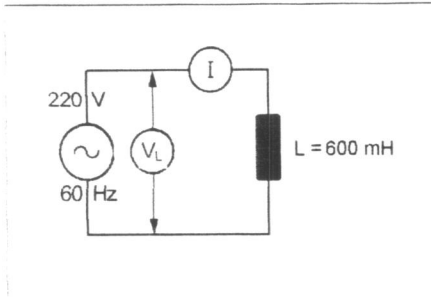
Em CA, como os valores de tensão e corrente estão em constante modificação, o efeito da indutância se manifesta permanentemente.

Esse fenômeno de oposição permanente à circulação de uma corrente variável é denominado de **reatância indutiva**, representada pela notação  $X_L$ . Ela é expressa em ohms e representada matematicamente pela expressão:  $X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$

Na expressão,  $X_L$  é a reatância indutiva em ohms ( $\Omega$ );  $2\pi$  é uma constante (6,28);  $f$  é a frequência da corrente alternada em hertz (Hz) e  $L$  é a indutância do indutor em henrys (H).

### Exemplo de cálculo

No circuito a seguir, qual é a reatância de um indutor de 600 mH aplicado a uma rede de CA de 220 V, 60Hz?



$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = 6,28 \cdot 60 \cdot 0,6 = 226,08$$

$$X_L = 226,08 \Omega$$

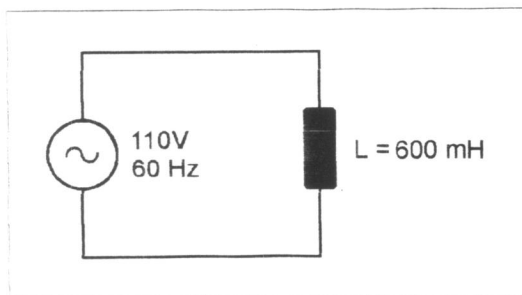
É importante observar que a **reatância indutiva** de um indutor **não depende da tensão** aplicada aos seus terminais. A corrente que circula em um indutor aplicado à CA ( $I_L$ ) pode ser calculada com base na Lei de Ohm, substituindo-se R por  $X_L$ , ou seja:

$$I_L = \frac{V_L}{X_L}$$

Na expressão,  $I_L$  é a corrente eficaz no indutor em ampères (A);  $V_L$  é a tensão eficaz sobre o indutor, expressa em volts (V); e  $X_L$  é a reatância indutiva em ohms ( $\Omega$ ).

### Exemplo de cálculo

No circuito a seguir, qual o valor da corrente que um indutor de 600 mH aplicado a uma rede de CA de 110V, 60Hz, permitiria que circulasse?



$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = 6,28 \cdot 60 \cdot 0,6 = 226,08 \Omega$$

$$I_L = \frac{V_L}{X_L} = \frac{110}{226,08} = 0,486$$

$$I_L = 0,486 \text{ A}$$

### Fator de qualidade Q

Todo indutor apresenta, além da reatância indutiva, uma resistência ôhmica que se deve ao material com o qual é fabricado. O fator de qualidade Q é uma relação entre a reatância indutiva e a resistência ôhmica de um indutor, ou seja:

$$Q = \frac{X_L}{R}$$

Na expressão, **Q** é o fator de qualidade adimensional; **X<sub>L</sub>** é a reatância indutiva (Ω); **R** é a resistência ôhmica da bobina (Ω). Um indutor ideal deveria apresentar resistência ôhmica zero. Isso determinaria um fator de qualidade infinitamente grande. No entanto, na prática, esse indutor não existe porque o condutor sempre apresenta resistência ôhmica.

### Exemplo de cálculo

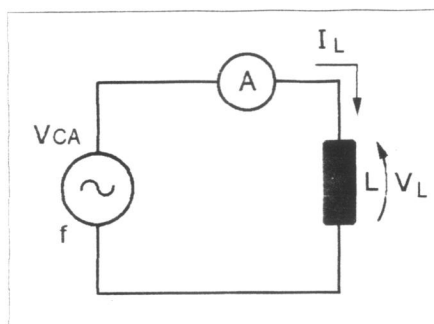
O fator de qualidade de um indutor com reatância indutiva de 3768 Ω (indutor de 10H em 60Hz) e com resistência ôhmica de 80 Ω é:

$$Q = \frac{X_L}{R} = \frac{3768}{80} = 47,1$$

$$Q = 47,1$$

### Determinação experimental da indutância de um indutor

Quando se deseja utilizar um indutor e sua indutância é desconhecida, é possível determiná-la aproximadamente por processo experimental. O valor encontrado não será exato porque é necessário considerar que o indutor é puro ( $R = 0 \Omega$ ). Aplica-se ao indutor uma corrente alternada com frequência e tensão conhecidas e determina-se a corrente do circuito com um amperímetro de corrente alternada.



Conhecidos os valores de tensão e corrente do circuito, determina-se a reatância indutiva do indutor:

$$X_L = \frac{V_L}{I_L}$$

Na expressão,  $V_L$  é a tensão sobre o indutor;  $I_L$  é a corrente do indutor.

Aplica-se o valor encontrado na equação da reatância indutiva e determina-se a indutância:  $X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$ .

Isolando-se  $L$ , temos:

$$L = \frac{X_L}{2 \cdot \pi \cdot f}$$

A imprecisão do valor encontrado não é significativa na prática, porque os valores de resistência ôhmica da bobina são pequenos quando comparados com a reatância indutiva (alto  $Q$ ).



---

# Impedância

Quando um circuito composto apenas por resistores é conectado a uma fonte de CC ou CA, a oposição total que esse tipo de circuito apresenta à passagem da corrente é denominada de **resistência total**. Entretanto, em circuitos CA que apresentam resistências associadas e reatâncias associadas, a expressão resistência total não é aplicável.

Nesse tipo de circuito, a oposição total à passagem da corrente elétrica é denominada de **impedância**, que não pode ser calculada da mesma forma que a resistência total de um circuito composta apenas por resistores, por exemplo.

A existência de componente reativos, que defasam correntes ou tensões, torna necessário o uso de formas particulares para o cálculo da impedância de cada tipo de circuito em CA. Esse é o assunto deste capítulo.

Para ter um bom aproveitamento no estudo deste assunto, é necessário ter conhecimentos anteriores sobre tipos de circuitos em CA, resistores, capacitores e indutores.

## **Circuitos resistivos, indutivos e capacitivos**

Em circuitos alimentados por CA, como você já estudou, existem três tipos de resistências que dependem do tipo de carga.

Em **circuitos resistivos**, a resistência do circuito é somente a dificuldade que os elétrons encontram para circular por um determinado material, normalmente níquel-cromo ou carbono. Esta resistência pode ser medida utilizando-se um ohmímetro.

Nos **circuitos indutivos**, a resistência total do circuito não pode ser medida somente com um ohmímetro, pois, além da resistência ôhmica que a bobina oferece à passagem da corrente (resistência de valor muito baixo), existe também uma corrente de auto-indução que se opõe à corrente do circuito, dificultando a passagem da corrente do circuito.

Desta forma, a resistência do circuito vai depender, além da sua resistência ôhmica, da indutância da bobina e da frequência da rede, pois são estas grandezas que influenciam o valor da corrente de auto-indução.

Nos **circuitos capacitivos**, a resistência total do circuito também não pode ser medida com um ohmímetro, porque a mudança constante do sentido da tensão da rede causa uma oposição à passagem da corrente elétrica no circuito.

Neste caso, a resistência total do circuito, vai depender da frequência de variação da polaridade da rede e da capacitância do circuito. A tabela que segue, ilustra de forma resumida os três casos citados.

Tipo de circuito	Grandeza	Símbolo	Unidade	Representação	Fórmula	Causa da oposição
Resistivo	resistência	R	ohm	$\Omega$	$R = \frac{V}{I}$	resistência do material usado
Indutivo	reatância indutiva	$X_L$	ohm	$\Omega$	$2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$	corrente de auto-indução e quadrática
Capacitivo	reatância capacitiva	$X_C$	ohm	$\Omega$	$\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$	variação constante de polaridade da tensão da rede

### Impedância

Em circuitos alimentados por CA, com cargas resistivas-indutivas ou resistivas-capacitivas, a resistência total do circuito será a soma quadrática da resistência pura (R) com as reatâncias indutivas ( $X_L$ ) ou capacitivas ( $X_C$ ). A este somatório quadrático denomina-se **impedância**, representada pela letra **Z** e expressa em ohms ( $\Omega$ ):

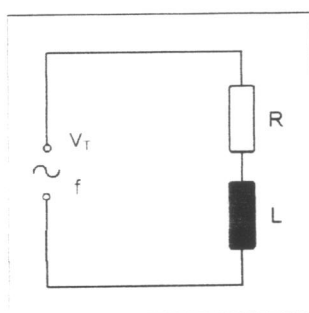
$$Z^2 = R^2 + X_L^2 \text{ ou } Z^2 = R^2 + X_C^2$$

Para cálculo da impedância de um circuito, não se pode simplesmente somar valores de resistência com reatâncias, pois estes valores não estão em fase. De acordo com o tipo de circuito, são usadas equações distintas para dois tipos de circuitos: **em série** e **em paralelo**.

### Circuitos em série

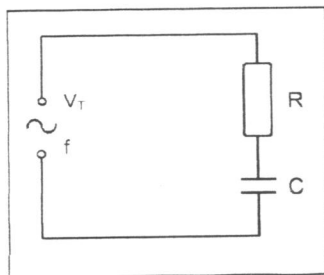
Nos circuitos em série, pode-se ter três situações distintas: **resistor e indutor**, **resistor e capacitor**, ou **resistor, indutor e capacitor** simultaneamente.

Resistor e indutor (circuito RL - série).



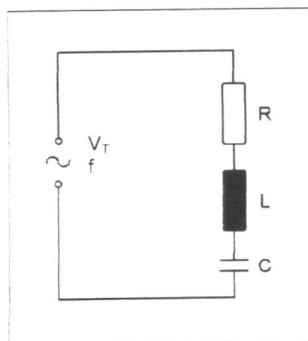
$$Z = \sqrt{X_L^2 + R^2}$$

Resistor e capacitor (circuito RC - série).



$$Z = \sqrt{X_C^2 + R^2}$$

Resistor indutor e capacitor (circuito RLC - série).



$$Z = \sqrt{(X_L - X_C)^2 + R^2}$$

### Tensão e corrente

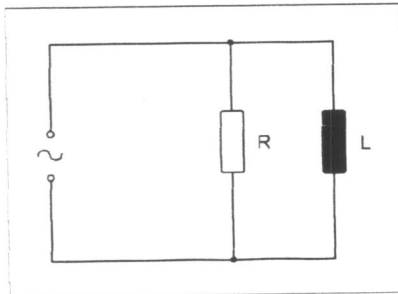
Para cálculos de tensão e corrente, as equações são apresentadas na tabela a seguir:

Tipo de circuito	Tensão				Corrente			
	Total	Resistor	Capacitor	Indutor	Total	Resistor	Capacitor	Indutor
<b>RL</b>	$V_T = \sqrt{V_R^2 + V_L^2}$	$V_R = \sqrt{V_T^2 - V_L^2}$	-	$V_L = \sqrt{V_T^2 - V_R^2}$	$I_T = \frac{V_T}{Z}$	$I_R = \frac{V_R}{R}$	$I_C = \frac{V_C}{X_C}$	$I_L = \frac{V_L}{X_L}$
<b>RC</b>	$V_T = \sqrt{V_R^2 + V_C^2}$	$V_R = \sqrt{V_T^2 - V_C^2}$	$V_C = \sqrt{V_T^2 - V_R^2}$	-				
<b>RLC</b>	$V_T = \sqrt{V_R^2 + (V_L - V_C)^2}$	$V_R = \sqrt{V_T^2 - (V_L - V_C)^2}$	$V_C = X_C \cdot I_T$	$V_L = X_L \cdot I_T$				

### Circuitos em paralelo

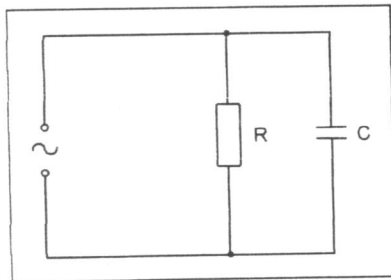
Nos circuitos em paralelo, podem ocorrer três situações estudadas distintas; resistor e indutor, resistor e capacitor ou resistor, indutor e capacitor simultaneamente. A seguir será apresentado as três situações.

Resistor e indutor (circuito RL - paralelo).



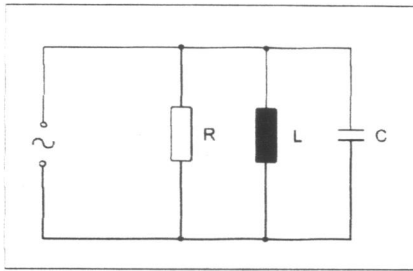
$$Z = \frac{X_L \cdot R}{\sqrt{X_L^2 + R^2}}$$

Resistor e capacitor (circuito RC - paralelo).



$$Z = \frac{X_C \cdot R}{\sqrt{X_C^2 + R^2}}$$

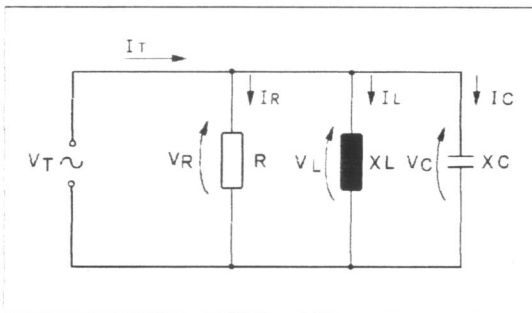
Resistor indutor e capacitor (circuito RLC -série).



$$Z = \frac{1}{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C}\right)^2}$$

Tensão e corrente

Para cálculos de tensão e corrente as equações são apresentadas a seguir.



$$V_T = V_R = V_L = V_C$$

Tipo de circuito	Tensão				Corrente			
	Total	Resistor	Capacitor	Indutor	Total	Resistor	Capacitor	Indutor
<b>RL</b>	$I_T = \sqrt{V_R^2 + L^2}$	$I_R = \sqrt{V_T^2 - I_L^2}$	-	$I_L = \sqrt{V_T^2 - I_C^2}$	$I_T = \frac{V_T}{Z}$	$I_R = \frac{V_R}{R}$	$I_C = \frac{V_C}{X_C}$	$I_L = \frac{V_L}{X_L}$
<b>RC</b>	$I_T = \sqrt{V_R^2 + C^2}$	$I_R = \sqrt{V_T^2 - I_C^2}$	$I_C = \sqrt{V_T^2 - I_R^2}$	-				
<b>RLC</b>	$I_T = \sqrt{V_R^2 + (I_L - I_C)^2}$	$I_R = \sqrt{V_T^2 - (I_L - I_C)^2}$	$I_C = I_L - \sqrt{V_T^2 - I_R^2}$	$I_L = I_C + \sqrt{V_T^2 - I_R^2}$				



# Potência em CA

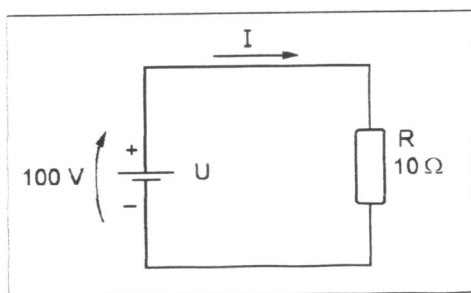
Além da tensão e da corrente, a potência é um parâmetro muito importante para o dimensionamento dos diversos equipamentos elétricos.

Neste capítulo, estudaremos a potência em corrente alternada em **circuitos monofásicos**, o fator de potência e suas unidades de medida.

Para aprender esse conteúdo com mais facilidade, é necessário ter conhecimentos anteriores sobre corrente alternada, comportamento de indutores e capacitores em CA.

## Potência em corrente alternada

Como já vimos, a capacidade de um consumidor de produzir trabalho em um determinado tempo, a partir da energia elétrica, é chamada de **potência elétrica**. Em um circuito de corrente contínua, a potência é dada em **watts**, multiplicando-se a tensão pela corrente.



O cálculo apresentado a seguir é válido não só para **CC** mas também para **CA**, quando os circuitos são **puramente resistivos**.

$$I = \frac{U}{R} = \frac{100}{10} = 10 \text{ A}$$

$$P = U \cdot I = 100 \cdot 10 = 1000 \text{ W}$$

Todavia, quando se trata de circuitos de CA com cargas indutivas e/ou capacitivas, ocorre uma **defasagem** entre **tensão** e **corrente**. Isso nos leva a considerar três tipos de potência:

- Potência aparente (S);
- Potência ativa (P);
- Potência reativa (Q).

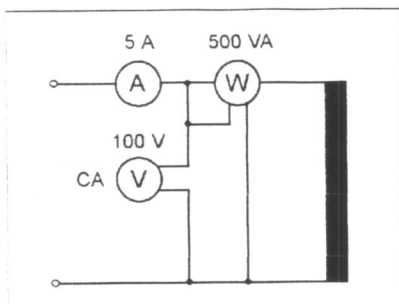
### Potência aparente

A **potência aparente (S)** é o resultado da multiplicação da tensão pela corrente. Em circuitos não resistivos em CA, essa potência **não é real**, pois não considera a defasagem que existe entre tensão e corrente.

A unidade de medida da potência aparente é o **volt-ampère (VA)**.

### Exemplo de cálculo:

Determinar a potência aparente do circuito a seguir.



$$S = U \cdot I = 100 \cdot 5 = 500$$

$$S = 500 \text{ VA}$$

### Potência ativa

A **potência ativa**, também chamada de potência real, é a potência **verdadeira** do circuito, ou seja, a potência que **realmente** produz trabalho. Ela é representada pela notação **P**.

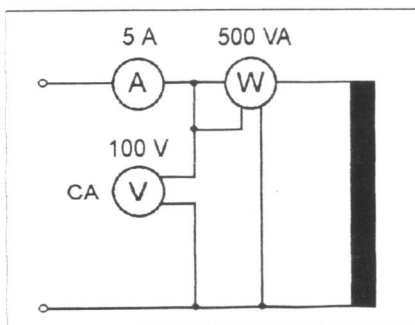
A potência ativa pode ser **medida** diretamente através de um **wattímetro** e sua unidade de medida é o **watt (W)**.

No cálculo da potência ativa, deve-se considerar a defasagem entre as potências, através do fator de potência ( $\cos \phi$ ) que determina a defasagem entre tensão e corrente. Assim, a fórmula para esse cálculo é:  $P = U \cdot I \cdot \cos \phi$



**Exemplo de cálculo:**

Determinar a potência ativa do circuito a seguir, considerando  $\cos \varphi = 0,8$ .



$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi = 100 \cdot 5 \cdot 0,8 = 400$$

$$P = 400 \text{ W}$$

**Observação**

O fator  **$\cos \varphi$**  (cosseno do ângulo de fase) é chamado de fator de **potência do circuito**, pois determina qual a porcentagem de potência aparente é empregada para produzir trabalho.

O fator de potência é calculado por meio da seguinte fórmula:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}$$

No circuito do exemplo acima, a potência ativa é de 400 W e a potência aparente é de 500 VA. Assim, o  $\cos \varphi$  é:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{400}{500} = 0,8$$

A concessionária de energia elétrica especifica o valor mínimo do fator de potência em **0,92**, medido junto ao medidor de energia.

O fator de potência deve ser o mais alto possível, isto é, próximo da unidade ( $\cos \varphi = 1$ ). Assim, com a mesma corrente e tensão, consegue-se maior potência ativa que é a que produz trabalho no circuito.

### Potência reativa

Potência reativa é a porção da potência aparente que é fornecida ao circuito. Sua função é constituir o **circuito magnético** nas bobinas e um **campo elétrico** nos capacitores.

Como os campos aumentam e diminuem acompanhando a frequência, a potência reativa varia duas vezes por período entre a fonte de corrente e o consumidor.

A potência reativa **aumenta a carga** dos **geradores**, dos **condutores** e dos **transformadores** originando perdas de potência nesses elementos do circuito.

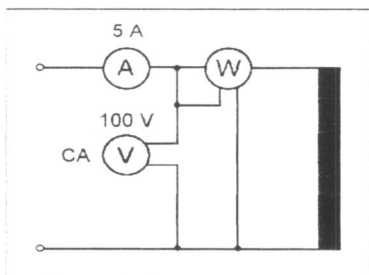
A unidade de medida da potência reativa é o **volt-ampère reativo (VAR)**, e é representada pela letra **Q**.

A potência reativa é determinada por meio da seguinte expressão:

$$Q = S \cdot \text{sen } \varphi$$

### Exemplo de cálculo:

Determinar a potência reativa do circuito a seguir.



Primeiramente, verifica-se na tabela, o valor do ângulo  $\varphi$  e o valor do seno desse ângulo:

$$\text{arc cos } 0,8 = 36^\circ 52'$$

$$\text{sen } 36^\circ 52' = 0,6$$

Outra maneira de determinar o  $\text{sen } \varphi$  é por meio da seguinte fórmula:

$$\text{sen } \varphi = \sqrt{1 - (\text{cos } \varphi)^2}$$

No exemplo dado, tem-se

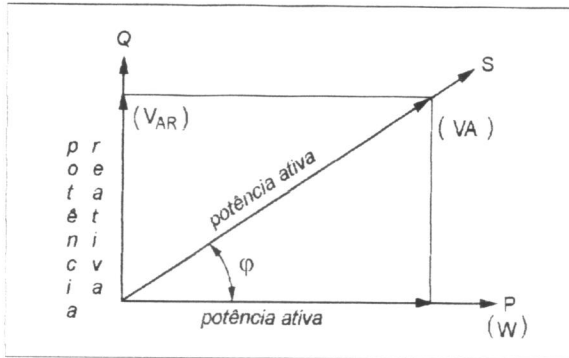
$$\text{sen } \varphi = \sqrt{1 - (\text{cos } \varphi)^2} = \sqrt{1 - 0,8^2} = \sqrt{1 - 0,64} = \sqrt{0,36} = 0,6$$

$$Q = S \cdot \text{sen } \varphi = 500 \cdot 0,6 = 300$$

$$Q = 300 \text{ VAR}$$

### Triângulo das potências

As equações que expressam as potências ativa, aparente e reativa podem ser desenvolvidas geometricamente em um triângulo retângulo chamado de triângulo das potências.



Assim, se duas das três potências são conhecidas, a terceira pode ser determinada pelo teorema de Pitágoras.

#### Exemplo

Determinar as potências aparente, ativa e reativa de um motor monofásico alimentado por uma tensão de 220 V, com uma corrente de 3,41 A circulando, e tendo um  $\cos \varphi = 0,8$ .

#### Potência aparente

$$S = V \cdot I = 220 \text{ V} \cdot 3,41$$

$$S \cong 750 \text{ VA}$$

#### Potência ativa

$$P = V \cdot I \cdot \cos \varphi = 220 \times 3,41 \times 0,8$$

$$P = 600 \text{ W}$$

#### Potência reativa

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{750^2 - 600^2} = \sqrt{202500}$$

$$Q = 450 \text{ VAR}$$



---

# Transformadores

Os aparelhos eletroeletrônicos são construídos para funcionar alimentados pela rede elétrica. Todavia, a grande maioria deles usam tensões muito baixas para alimentar seus circuitos: 6 V, 12 V, 15 V. Um dos dispositivos utilizados para fornecer baixas tensões a partir das redes de 110 V ou 220 V é o transformador.

Por isso, é extremamente importante que os técnicos de eletroeletrônica conheçam e compreendam as características desse componente.

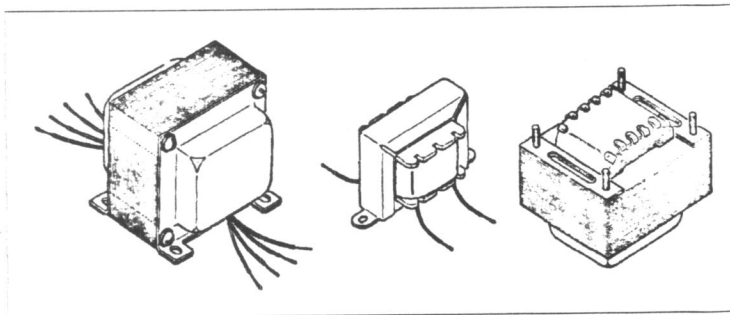
Este capítulo apresenta as especificações técnicas e modo de funcionamento dos transformadores, de modo a capacitá-lo a conectar, testar e especificar corretamente esses dispositivos.

Para ter sucesso no desenvolvimento dos conteúdos e atividades deste capítulo, você deverá ter bons conhecimentos prévios sobre corrente alternada, indutores em CA, relação de fase entre tensões e eletromagnetismo.

## **Transformador**

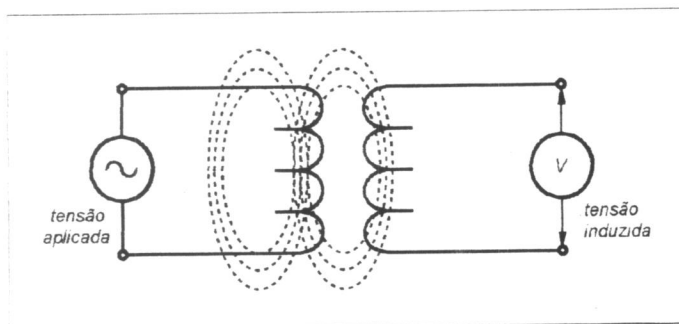
O transformador é um dispositivo que permite elevar ou rebaixar os valores de tensão em um circuito de CA. A grande maioria dos equipamentos eletrônicos emprega transformadores para elevar ou rebaixar tensões.

A figura a seguir mostra alguns tipos de transformadores.



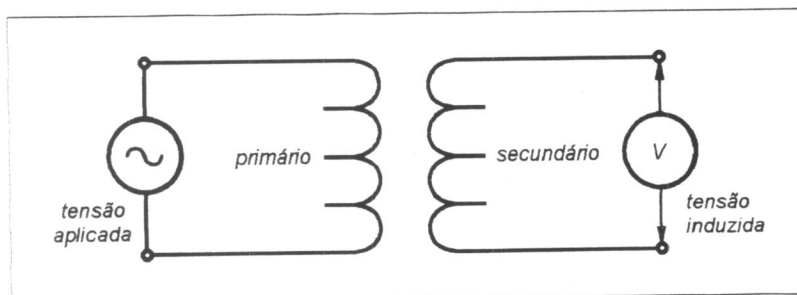
### Funcionamento

Quando uma bobina é conectada a uma fonte de CA, um campo magnético variável surge ao seu redor. Se outra bobina se aproximar da primeira, o campo magnético variável gerado na primeira bobina corta as espiras da segunda bobina.



Em consequência da variação do campo magnético sobre as espiras, surge uma tensão induzida na segunda bobina.

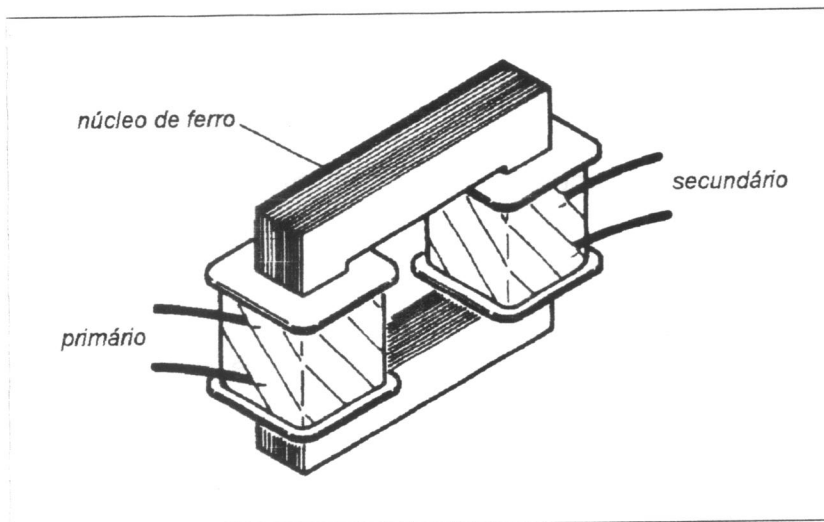
A bobina na qual se aplica a tensão CA é denominada primário do transformador. A bobina onde surge a tensão induzida é denominada secundário do transformador.



### Observação

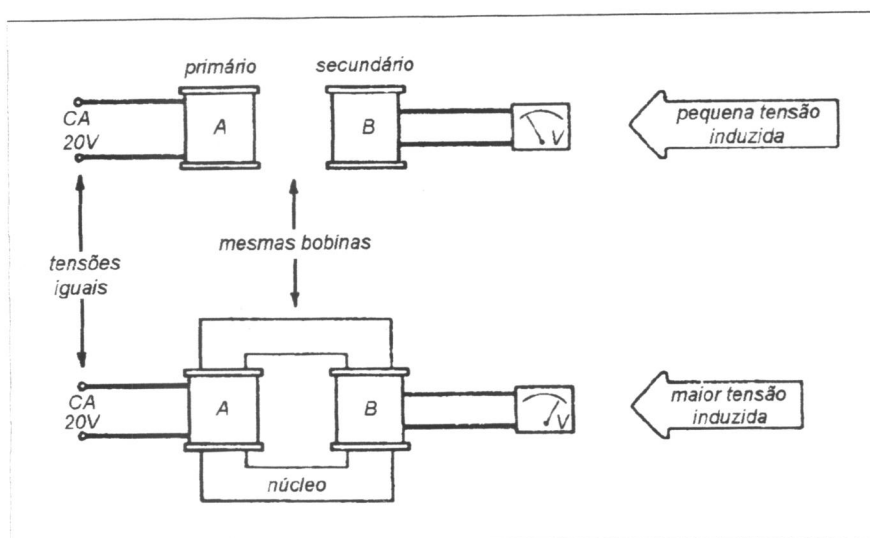
As bobinas primária e secundária são eletricamente isoladas entre si. Isso se chama *isolação galvânica*. A transferência de energia de uma para a outra se dá exclusivamente através das linhas de forças magnéticas.

A tensão induzida no secundário é proporcional ao número de linhas magnéticas que cortam a bobina secundária e ao número de suas espiras. Por isso, o primário e o secundário são montados sobre um núcleo de material ferromagnético.



Esse núcleo tem a função de diminuir a dispersão do campo magnético fazendo com que o secundário seja cortado pelo maior número possível de linhas magnéticas.

Como consequência, obtém-se uma transferência melhor de energia entre primário e secundário.



Veja a seguir o efeito causado pela colocação do núcleo no transformador.

Com a inclusão do núcleo, embora o aproveitamento do fluxo magnético gerado seja melhor, o ferro maciço sofre perdas por aquecimento causadas por dois fatores: a **histerese magnética** e as **correntes parasitas**.

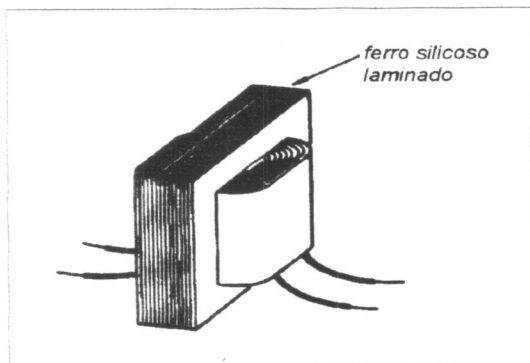
As perdas por histerese magnética são causadas pela oposição que o ferro oferece à passagem do fluxo magnético.

Essas perdas são diminuídas com o emprego de ferro doce na fabricação do núcleo.

As perdas por corrente parasita (ou correntes de Foucault) aquecem o ferro porque a massa metálica sob variação de fluxo gera dentro de si mesma uma força eletromotriz (f.e.m.) que provoca a circulação de corrente parasita.

Para diminuir o aquecimento, os núcleos são construídos com chapas ou lâminas de ferro isoladas entre si.

O uso de lâminas não elimina o aquecimento, mas torna-o bastante reduzido em relação ao núcleo de ferro maciço.


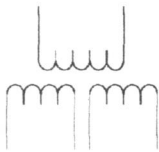




### **Observação**

As chapas de ferro contêm uma porcentagem de silício em sua composição. Isso favorece a condutibilidade do fluxo magnético.

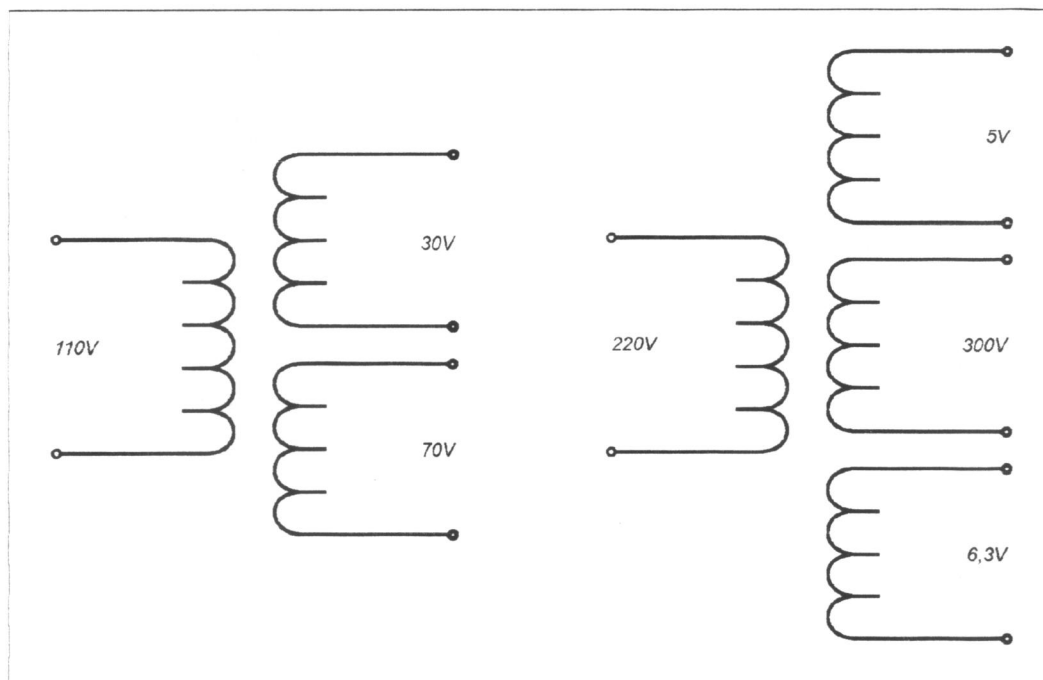


A figura a seguir mostra os símbolos usados para representar o transformador, segundo a norma NBR 12522/92

Transformador com dois enrolamentos	Transformador com três enrolamentos	Autotransformador	Transformador com derivação central em um enrolamento
			

### Transformadores com mais de um secundário

Para se obter várias tensões diferentes, os transformadores podem ser construídos com mais de um secundário, como mostram as ilustrações a seguir.

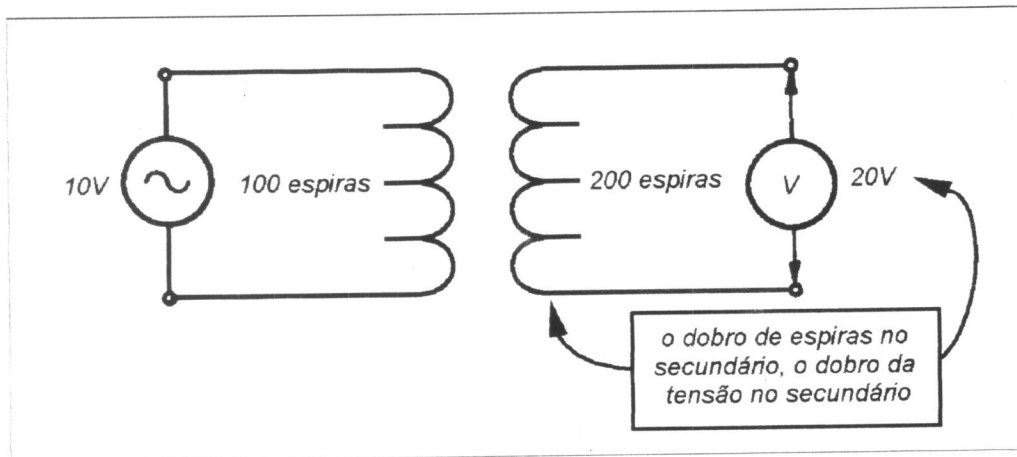


### Relação de transformação

Como já vimos, a aplicação de uma tensão CA ao primário de um transformador causa o aparecimento de uma tensão induzida em seu secundário.

Aumentando-se a tensão aplicada ao primário, a tensão induzida no secundário aumenta na mesma proporção. Essa relação entre as tensões depende fundamentalmente da relação entre o número de espiras no primário e secundário.

Por exemplo, num transformador com primário de 100 espiras e secundário de 200 espiras, a tensão do secundário será o dobro da tensão do primário.



Se chamarmos o número de espiras do primário de  $N_P$  e do secundário de  $N_S$  podemos escrever:  $V_S/V_P = 2$      $N_S/N_P = 2$ .

Lê-se: saem 2 para cada 1 que entra.

O resultado da relação  $V_S/V_P$  e  $N_S/N_P$  é chamado de **relação de transformação** e expressa a relação entre a tensão aplicada ao primário e a tensão induzida no secundário.

Um transformador pode ser construído de forma a ter qualquer relação de transformação que seja necessária. Veja exemplo na tabela a seguir.

Relação de Transformação	Transformação
3	$V_S = 3 \cdot V_P$
5,2	$V_S = 5,2 \cdot V_P$
0,3	$V_S = 0,3 \cdot V_P$

### Observação

A tensão no secundário do transformador aumenta na mesma proporção da tensão do primário até que o ferro atinja seu ponto de saturação.

Quando esse ponto é atingido, mesmo que haja grande variação na tensão de entrada, haverá pequena variação na tensão de saída.

### Tipos de transformadores

Os transformadores podem ser classificados quanto à relação de transformação.

Nesse caso, eles são de três tipos:

- Transformador elevador;
- Transformador rebaixador;
- Transformador isolador.

O transformador elevador é aquele cuja relação de transformação é maior que 1, ou seja,  $N_s > N_p$ . Por causa disso, a tensão do secundário é **maior** que a tensão do primário, isto é,  $V_s > V_p$ .

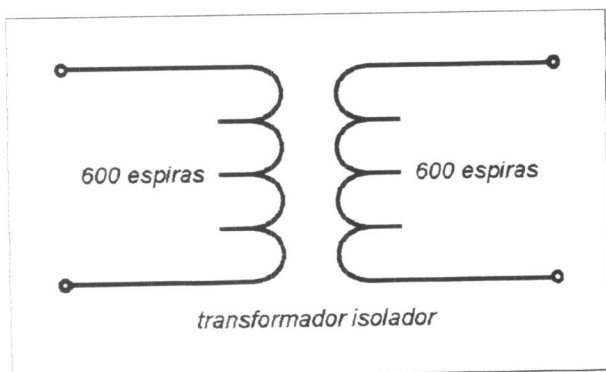
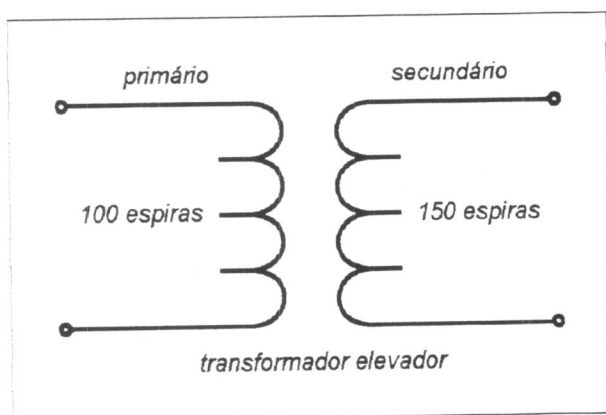
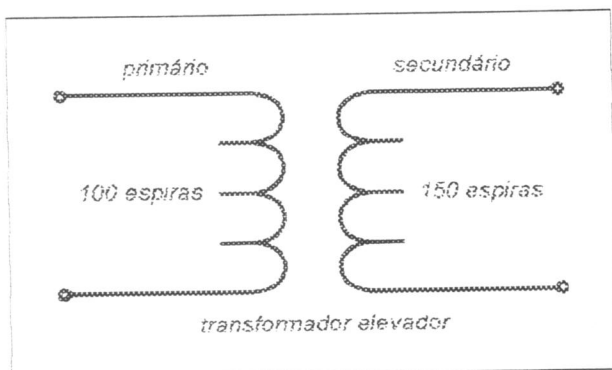
O transformador rebaixador é aquele cuja relação de transformação é menor que 1, ou seja,  $N_s < N_p$ . Portanto,  $V_s < V_p$ .

Os transformadores rebaixadores são os mais utilizados em eletrônica. Sua função é **rebaixar** a tensão das redes elétricas domiciliares (110 V/220 V) para tensões de 6 V, 12 V e 15 V ou outra, necessárias ao funcionamento dos equipamentos.

O transformador isolador é aquele cuja relação de transformação é de 1 para 1, ou seja,  $N_s = N_p$ . Como consequência,  $V_s = V_p$ .

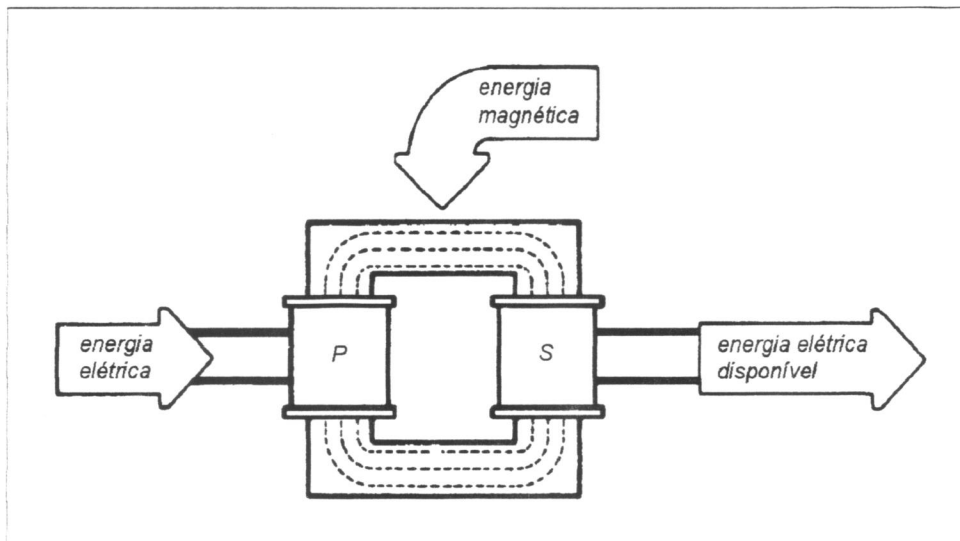
Os transformadores isoladores são usados em laboratórios de eletrônica para isolar eletricamente da rede a tensão presente nas bancadas. Esse tipo de isolamento é chamado de isolamento galvânica.

Veja a seguir a representação esquemática desses três tipos de transformadores.



## Relação de potência

Como já foi visto, o transformador recebe uma quantidade de energia elétrica no primário, transforma-a em campo magnético e converte-a novamente em energia elétrica disponível no secundário.



A quantidade de energia absorvida da rede elétrica pelo primário é denominada de potência do primário, representada pela notação  $P_P$ .

Admitindo-se que não existam perdas por aquecimento do núcleo, pode-se concluir que toda a energia absorvida no primário está disponível no secundário.

A energia disponível no secundário chama-se potência do secundário ( $P_S$ ). Se não existirem perdas, é possível afirmar que  $P_S = P_P$ .

A potência do primário depende da tensão aplicada e da corrente absorvida da rede, ou seja:  $P_P = V_P \cdot I_P$

A potência do secundário, por sua vez, é o produto da tensão e corrente no secundário, ou seja:  $P_P = V_S \cdot I_S$ .

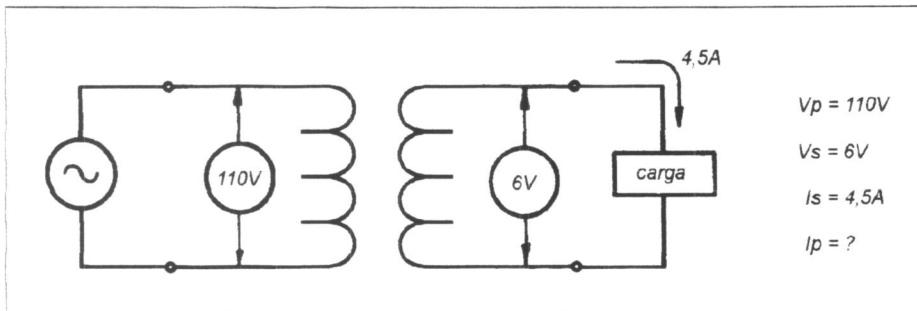
A relação de potência do transformador ideal é, portanto:

$$V_S \cdot I_S = V_P \cdot I_P$$

Esta expressão permite que se determine um dos valores do transformador se os outros três forem conhecidos. Veja exemplo a seguir.

**Exemplo**

Um transformador abaixador de 110 V para 6 V deverá alimentar no seu secundário uma carga que absorve uma corrente de 4,5 A. Qual será a corrente no primário?



$V_p = 110 V$

$V_s = 6 V$

$I_s = 4,5 A$

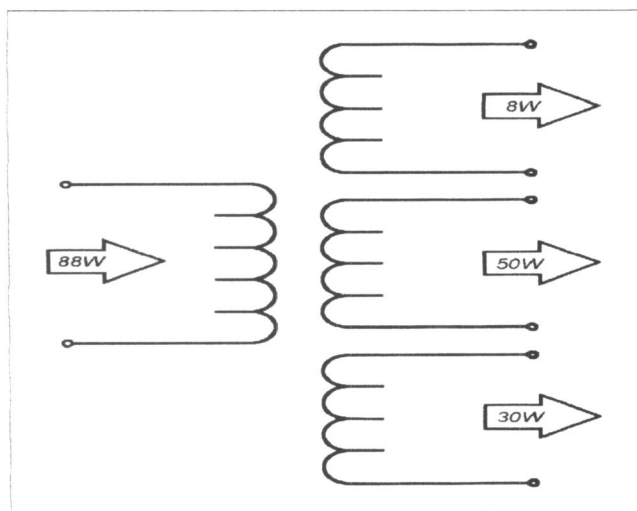
$I_p = ?$

Como  $V_p \cdot I_p = V_s \cdot I_s$ , então:

$$I_p = \frac{V_s \cdot I_s}{V_p} = \frac{6 \cdot 4,5}{110} = \frac{27}{110} = 0,245 A \text{ ou } 245 \text{ mA}$$

**Potência em transformadores com mais de um secundário**

Quando um transformador tem mais de um secundário, a potência absorvida da rede pelo primário é a soma das potências fornecidas em todos os secundários.



Matematicamente, isso pode ser representado pela seguinte equação:

$$P_P = P_{S1} + P_{S2} + \dots + P_{Sn}$$

Onde  $P_P$  é a potência absorvida pelo primário;

$P_{S1}$  é a potência fornecida pelo secundário 1;

$P_{S2}$  é a potência fornecida pelo secundário 2;

$P_{Sn}$  é a potência fornecida pelo secundário n.

Essa expressão pode ser reescrita usando os valores de tensão e corrente do transformador:

$$V_P \cdot I_P = (V_{S1} \cdot I_{S1}) + (V_{S2} \cdot I_{S2}) + \dots + (V_{Sn} \cdot I_{Sn})$$

Onde  $V_P$  e  $I_P$  são respectivamente tensão e corrente do primário;

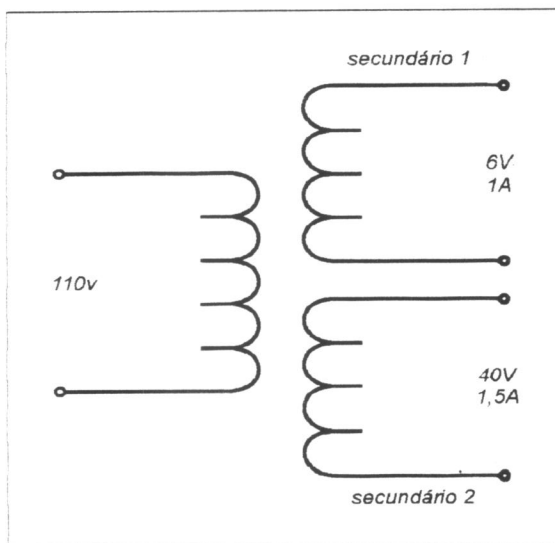
$V_{S1}$  e  $I_{S1}$  são respectivamente tensão e corrente do secundário 1;

$V_{S2}$  e  $I_{S2}$  são respectivamente tensão e corrente do secundário 2;

$V_{Sn}$  e  $I_{Sn}$  são respectivamente tensão e corrente do secundário n.

### Exemplo

Determinar a corrente do primário do transformador mostrado a seguir:



$$P_P = V_P \cdot I_P$$

$$V_P \cdot I_P = (V_{S1} \cdot I_{S1}) + (V_{S2} \cdot I_{S2}) = (6 \cdot 1) + (40 \cdot 1,5) = 6 + 60 = 66 \text{ VA}$$

$$P_P = 66 \text{ VA}$$

$$I_P = \frac{P_P}{V_P} = \frac{66}{110} = 0,6 \text{ A}$$

$$I_P = 0,6 \text{ A ou } 600 \text{ mA}$$

### Ligação de transformadores em 110 V e 220 V

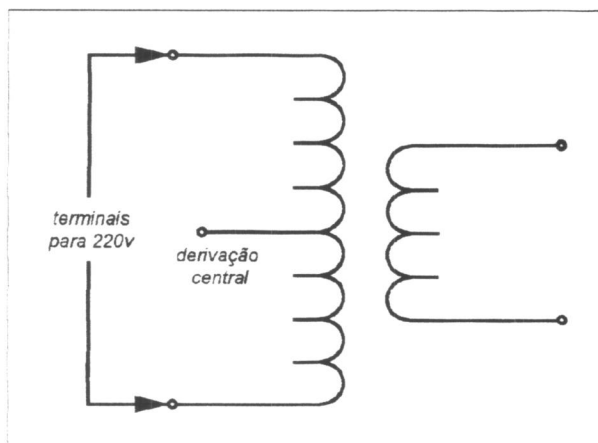
Alguns aparelhos eletrônicos são fabricados de tal forma que podem ser usados tanto em redes de 110 V quanto de 220 V. Isso é possível através da seleção feita por meio de uma chave situada na parte posterior do aparelho. Na maioria dos casos, essa chave está ligada ao primário do transformador. De acordo com a posição da chave, o primário é preparado para receber 110 V ou 220 V da rede elétrica e fornece o mesmo valor de tensão ao secundário.

Existem dois tipos de transformadores cujo primário pode ser ligado para 110 V e 220V:

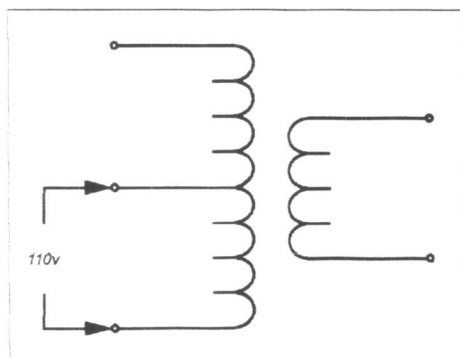
- Transformador 110 V/220 V com primário a três fios;
- Transformador 110 V/220 V com primário a quatro fios.

#### Transformador com primário a três fios

O primário do transformador a três fios é constituído por uma bobina para 220 V com uma derivação central.

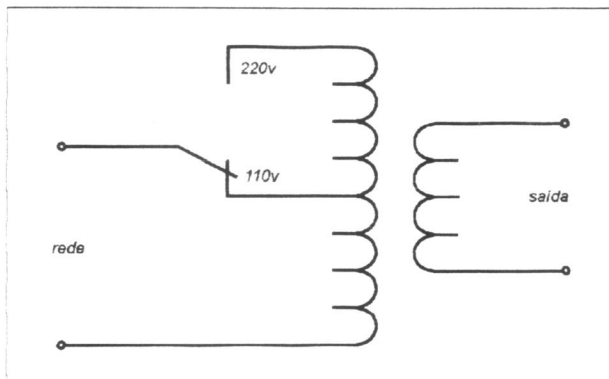


Essa derivação permite que se utilize apenas uma das metades do primário de modo que 110 V sejam aplicados entre uma das extremidades da bobina e a derivação central.





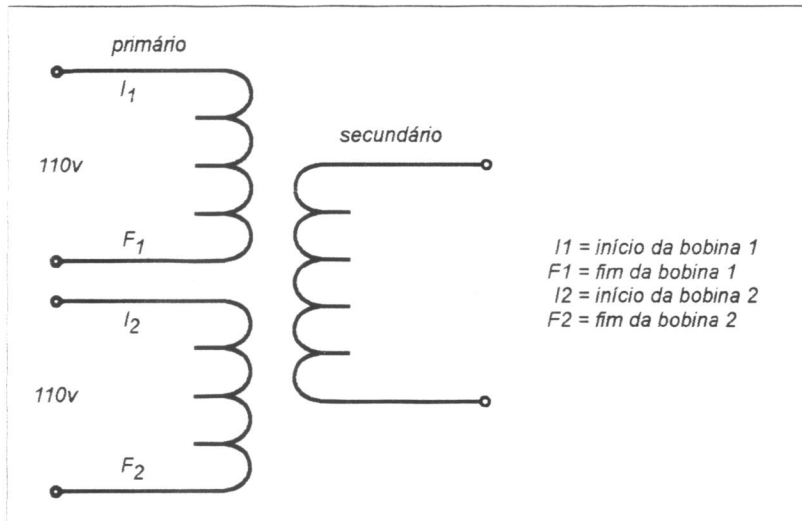
Veja a seguir a representação esquemática dessa ligação.



A chave usada para a seleção 110 V/220 V é normalmente deslizante, de duas posições e dois pólos. É também conhecida como HH.

### Transformador com primário a quatro fios

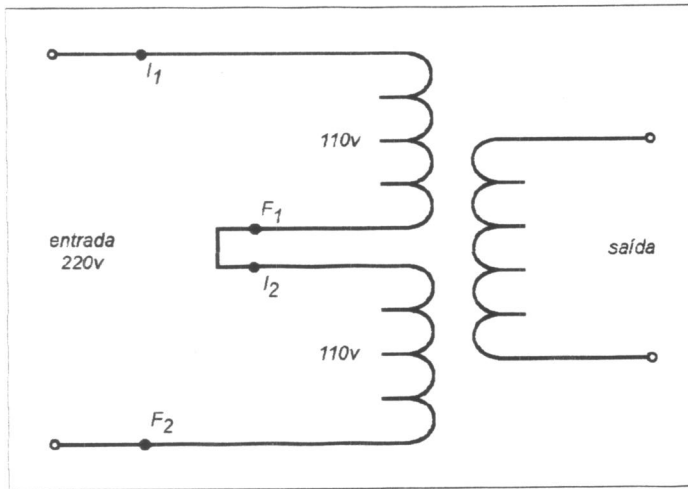
O primário desse tipo de transformador constitui-se de duas bobinas para 110 V, eletricamente isoladas entre si.



### Ligação para 220V

Em um transformador para entrada 110 V/220 V com o primário a quatro fios, a ligação para 220 V é feita colocando as bobinas do primário em série.

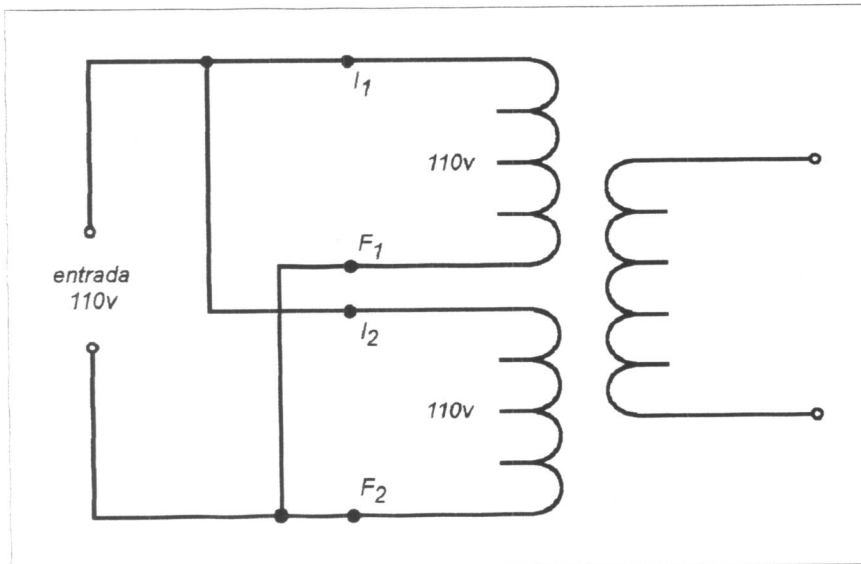
Deve-se observar a identificação dos fios, ou seja,  $I_1$  para a rede,  $I_2$  e  $F_1$  interligados e  $F_2$  para a rede.

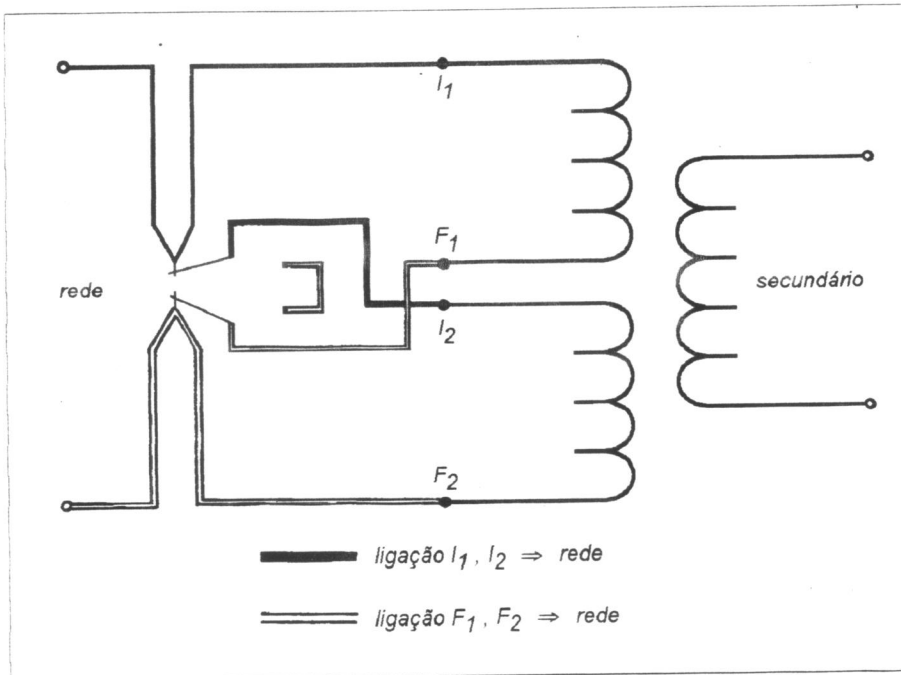


### Ligação para 110 V

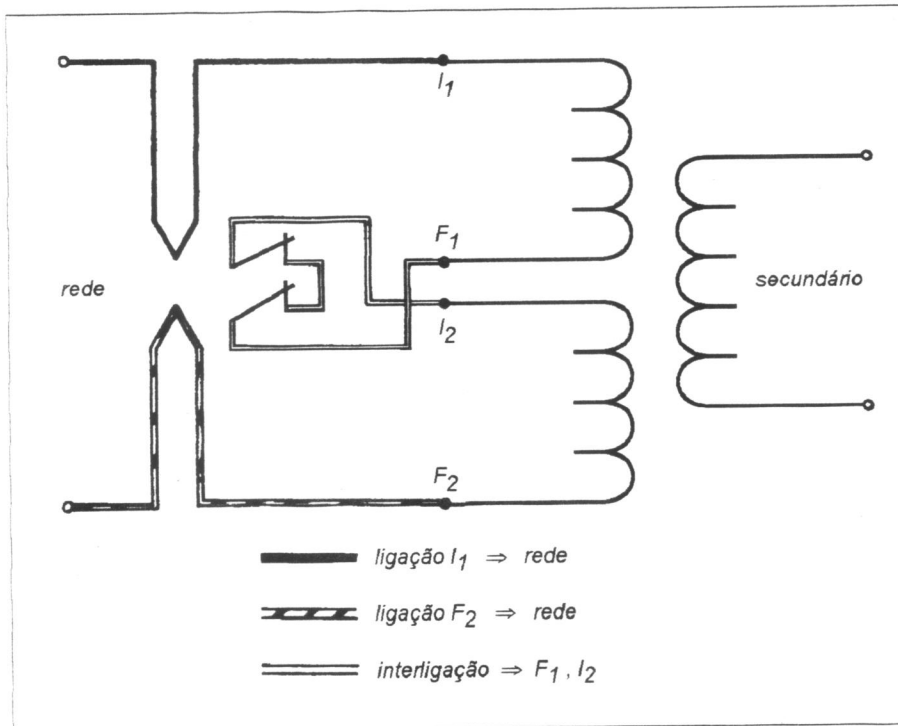
Em um transformador para entrada 110 V/220 V com primário a quatro fios, a ligação para 110 V é feita colocando as duas bobinas primárias em paralelo respeitando a identificação dos fios, ou seja,  $I_1$  em ponte com  $I_2$  na rede,  $F_1$  em ponte com  $F_2$  na rede.

Quando a chave HH está na posição 110 V, os terminais  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $F_1$  e  $F_2$  são conectados em paralelo à rede.





Quando a chave HH está na posição 220 V, os terminais  $I_1$  e  $F_2$  ficam ligados à rede por meio da chave.



### Instalação de dispositivos de controle e proteção

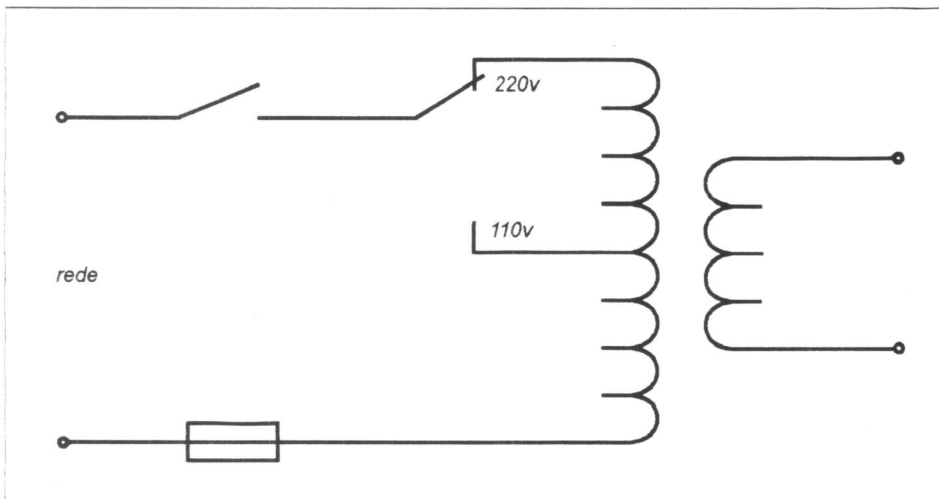
Em todo o equipamento elétrico ou eletrônico, é necessário dispor de dispositivos de comando do tipo liga/desliga e de dispositivos de proteção que evitam danos maiores em caso de situações anormais.

Normalmente, tanto os dispositivos de controle quanto os de proteção são instalados na entrada de energia do circuito, antes do transformador.

Para a proteção do equipamento, geralmente um fusível é usado. Sua função é romper-se caso a corrente absorvida da rede se eleve. Isso corta a entrada de energia do transformador.

O fusível é dimensionado para um valor de corrente um pouco superior à corrente necessária para o primário do transformador.

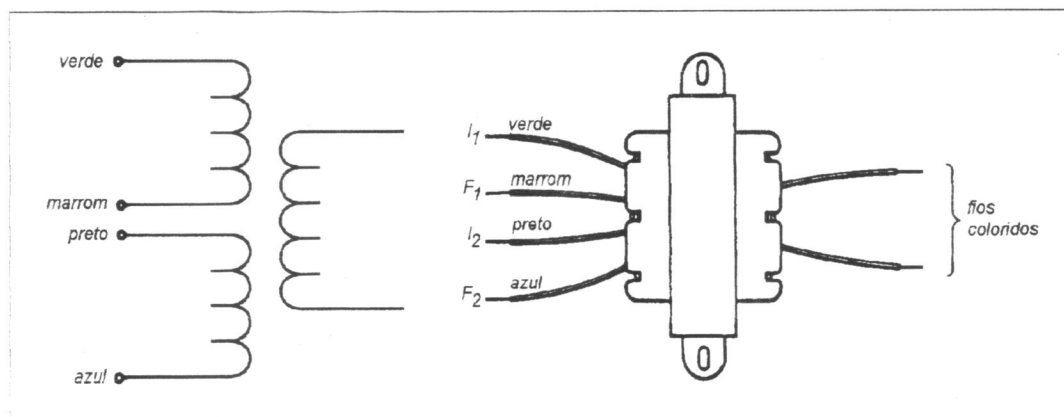
Alguns equipamentos têm mais de um fusível: um "geral", colocado antes do transformador e outros colocados dentro do circuito de acordo com as necessidades do projeto.



Veja a seguir a representação esquemática da ligação do fusível e chave liga/desliga no circuito.

### Observação

Tanto na ligação para 110 V quanto para 220 V, a ordem de início e fim das bobinas é importante. Normalmente, os quatro fios do primário são coloridos e o esquema indica os fios.



I<sub>1</sub> - início da bobina 1;

F<sub>1</sub> - fim da bobina 1;

I<sub>2</sub> - início da bobina 2;

F<sub>2</sub> - fim da bobina 2.

### Identificação dos terminais

Quando não se dispõe, no esquema do transformador, da identificação do início ou fim dos terminais da bobina, é necessário realizar um procedimento para identificá-los. Isso é necessário porque se a ligação for realizada incorretamente, o primário pode ser danificado irreversivelmente.

O procedimento é o seguinte:

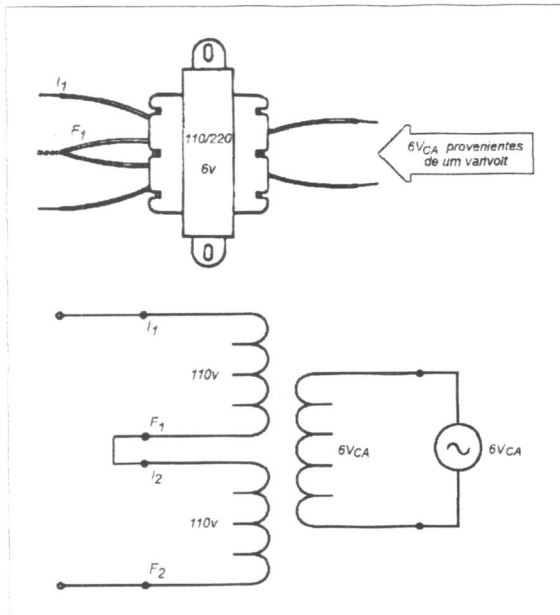
identificar, com o ohmímetro, o par de fios que corresponde a cada bobina. Sempre que o instrumento indicar continuidade, os dois fios medidos são da mesma bobina.

Além de determinar os fios de cada bobina, esse procedimento permite testar se as bobinas estão em boas condições;

- Separar os pares de fios de cada bobina;
- Identificar os fios de cada uma das bobinas com início e fim  $i_1$ ,  $f_1$  e  $i_2$ ,  $f_2$ .

A identificação de início e fim pode ser feita aleatoriamente em cada bobina da seguinte forma:

- Interligar as bobinas do primário em série;
- Aplicar, no secundário, uma tensão CA de valor igual à tensão nominal do secundário. Por exemplo: em um transformador 110 V/220 V x 6 V, deve-se aplicar uma tensão de 6 V no secundário.



No transformador usado como exemplo, se 220 V forem aplicados ao primário, serão obtidos 6 V no secundário.

Da mesma forma, se forem aplicados 6 V no secundário, deve-se obter 220 V no primário (em série). Assim, é possível verificar se a identificação está correta, medindo a tensão nas extremidades do primário.

Medir a tensão das extremidades do primário. Se o resultado da medição for 220 V, a identificação está correta.

Se o resultado for 0 V, a identificação está errada. Nesse caso, para corrigir a identificação, deve-se trocar apenas a identificação de uma das bobinas ( $I_1$  por  $F_1$  ou  $I_2$  por  $F_2$ ).

### Observação

É conveniente repetir o teste para verificar se os 220 V são obtidos no primário.

## Especificação de transformadores

A especificação técnica de um transformador deve fornecer:  
a potência em VA (pequenos transformadores);

- As tensões do primário;
- As tensões do secundário.

A especificação 110 V/220 V 6 V - 1 A 30 V-0,5 A indica um transformador com as seguintes características:

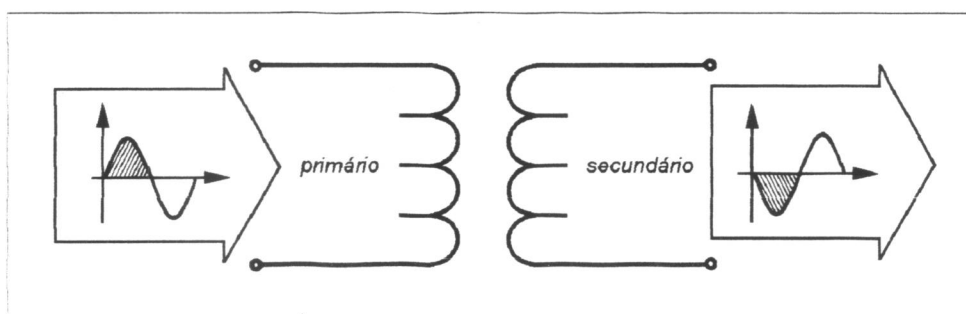
- Primário - entrada para 110 V ou 220 V;
- 2 secundários - um para 6 V-1 A e um para 30 V-0,5 A.

A especificação técnica de um transformador em que o secundário tenha derivação central é feita da seguinte maneira: 12 VA, de potência; 110 V/220 V, características do primário; 6 + 6 V, secundário com 6 + 6 V, ou seja, 6 V entre as extremidades e a derivação central; 1 A, corrente no secundário.

## Relação de fase entre as tensões do primário e do secundário

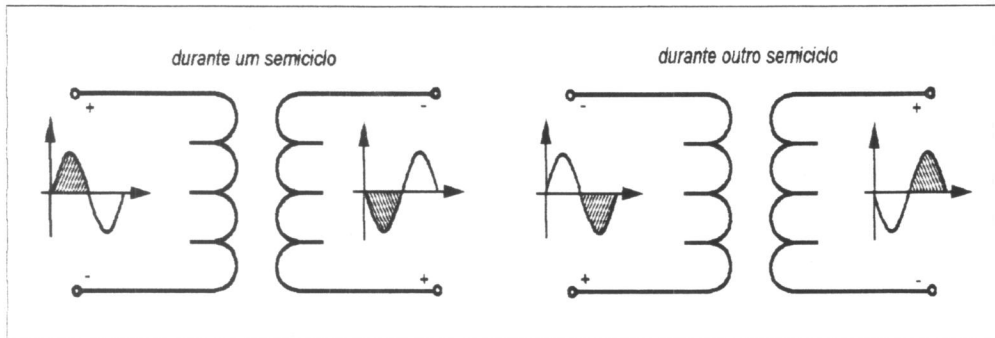
A tensão no secundário é gerada quando o fluxo magnético variável corta as espiras do secundário. Como a tensão induzida é sempre oposta à tensão indutora, a tensão no secundário tem sentido contrário à do primário.

Isso significa que a tensão no secundário está defasada  $180^\circ$  da tensão no primário, ou seja, quando a tensão no primário aumenta num sentido, a tensão do secundário aumenta no sentido oposto.



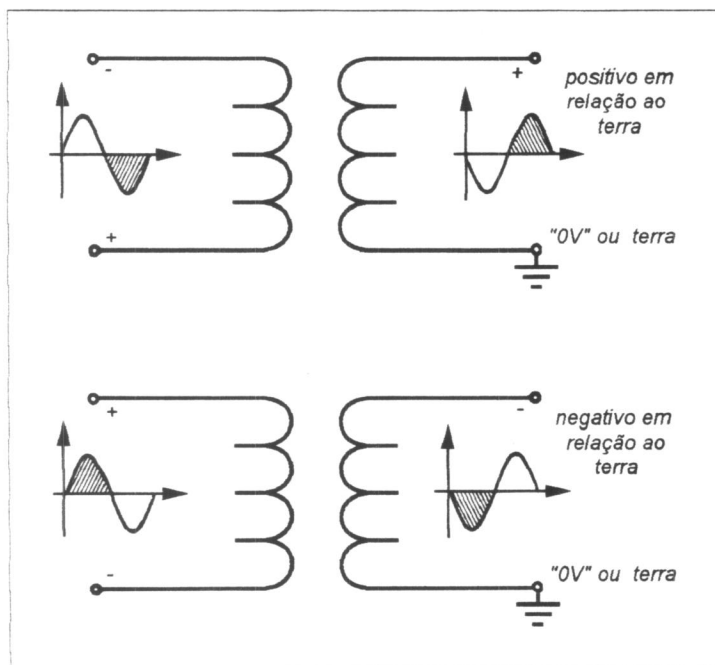
### Ponto de referência

Considerando-se a bobina do secundário de um transformador ligado em CA, observa-se que a cada momento um terminal é positivo e o outro é negativo. Após algum tempo, existe uma troca de polaridade. O terminal que era positivo torna-se negativo e vice-versa.



Nos equipamentos eletrônicos é comum um dos terminais do transformador ser usado como referência, ligado ao terra do circuito. Nesse caso, o potencial do terminal aterrado é considerado como sendo 0 V, não apresentando polaridade.

Isto porém não significa que não ocorra a troca de polaridade no secundário. Em um semiciclo da rede, o terminal livre é positivo em relação ao terminal aterrado (referência). No outro semiciclo, o terminal livre é negativo em relação ao potencial de referência.





## Rendimento ( $\eta$ )

Entre todas as máquinas elétricas, o transformador é uma das que apresentam maior rendimento. Mesmo assim, ocorrem perdas na transformação de tensão.

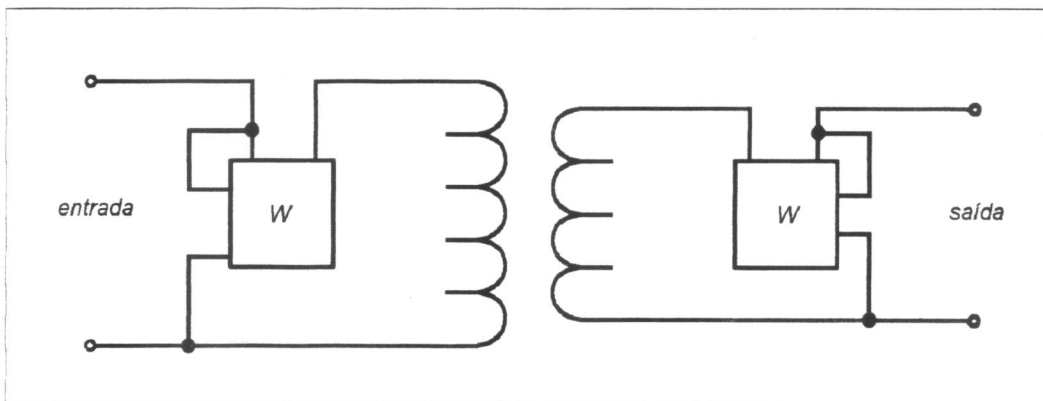
O rendimento expressa a potência que realmente está sendo utilizada, pois, parte da potência é dissipada em perdas no ferro e no cobre.

A relação entre a potência medida no primário e a potência consumida no secundário é que define o rendimento de um transformador:

$$\eta = \frac{P_s}{P_p} \cdot 100 \%$$

Nessa igualdade  $\eta$  é o rendimento do transformador em porcentagem;  $P_s$  é a potência dissipada no primário em volt ampère;  $P_p$  é a potência dissipada no primário em volt ampère, e **100%** é o fator que transforma a relação em porcentagem.

Por exemplo, ao medir as potência do primário e secundário de um transformador chegou-se ao seguinte resultado:



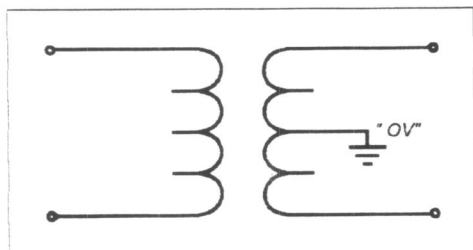
O rendimento desse transformador pode ser determinado utilizando a equação:

$$\eta = \frac{P_s}{P_p} = \frac{150}{162} \cdot 100 \% = 92,6 \%$$

O rendimento desse transformador é de **92,6 %**.

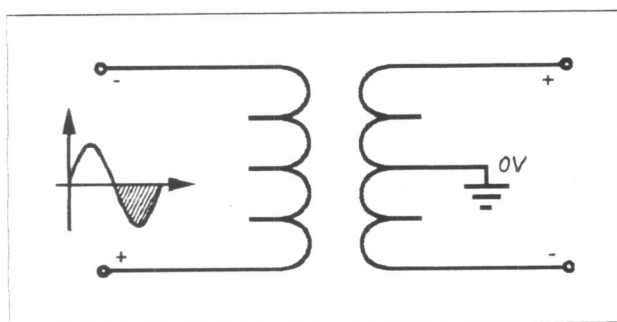
### Transformador com derivação central no secundário

O transformador com derivação central no secundário ("center tap") tem ampla aplicação em eletrônica. Na maioria dos casos, o terminal central é utilizado como referência e é ligado ao terra do circuito eletrônico.



Durante seu funcionamento, ocorre uma formação de polaridade bastante singular. Num dos semiciclos da rede, um dos terminais livres do secundário tem potencial positivo em relação à referência.

O outro terminal tem potencial negativo e a inversão de fase ( $180^\circ$ ) entre primário e secundário ocorre normalmente.

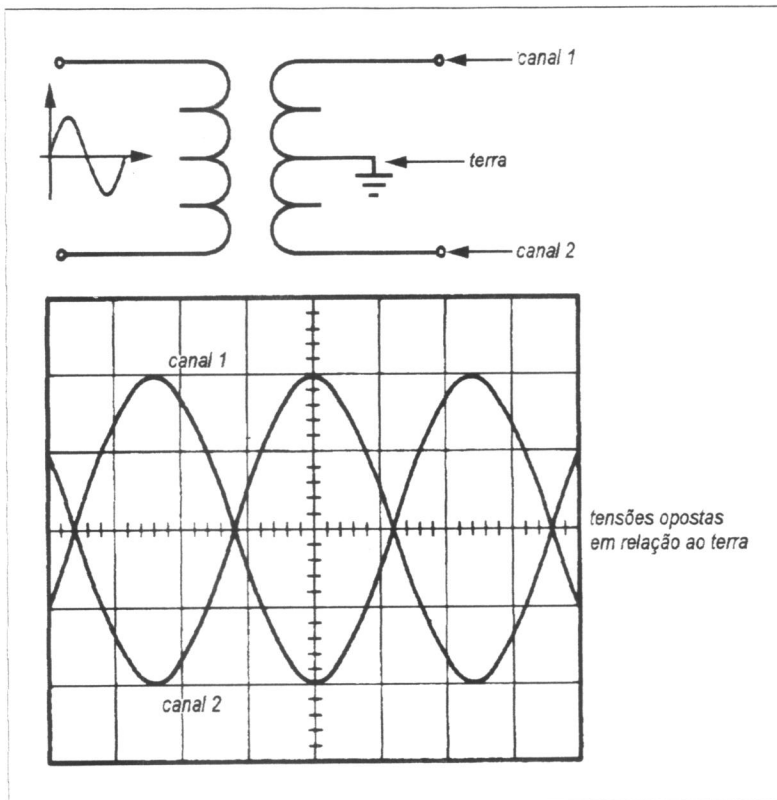


No outro semiciclo há uma troca entre as polaridades das extremidades livres do transformador, enquanto o terminal central permanece em 0 V e acontece novamente a defasagem de  $180^\circ$  entre primário e secundário.

Assim, verificamos que, com esse tipo de transformador, é possível conseguir tensões negativas e positivas instantaneamente, usando o terminal central como referência.

Isso pode ser observado com o auxílio de um osciloscópio.

Veja ilustração a seguir.





# Diodo semi-condutor

A eletrônica se desenvolveu espantosamente nas últimas décadas. A cada dia, novos componentes são colocados no mercado, simplificando o projeto e a construção de novos aparelhos, cada vez mais sofisticados. Um dos fatos que contribuiu de forma marcante para esta evolução foi a descoberta e a aplicação dos materiais semicondutores.

O primeiro componente fabricado com materiais semicondutores foi o diodo semicondutor que é utilizado até hoje para o entendimento dos circuitos retificadores, ou seja, aqueles que transformam CA em CC.

Este capítulo tratará do diodo semicondutor, visando fornecer os conhecimentos indispensáveis para o entendimento dos circuitos que transformam CA em CC, ou seja, circuitos retificadores.

Para ter sucesso no desenvolvimento desses conteúdos, você já deverá ter conhecimentos relativos a corrente elétrica, materiais condutores e isolantes.

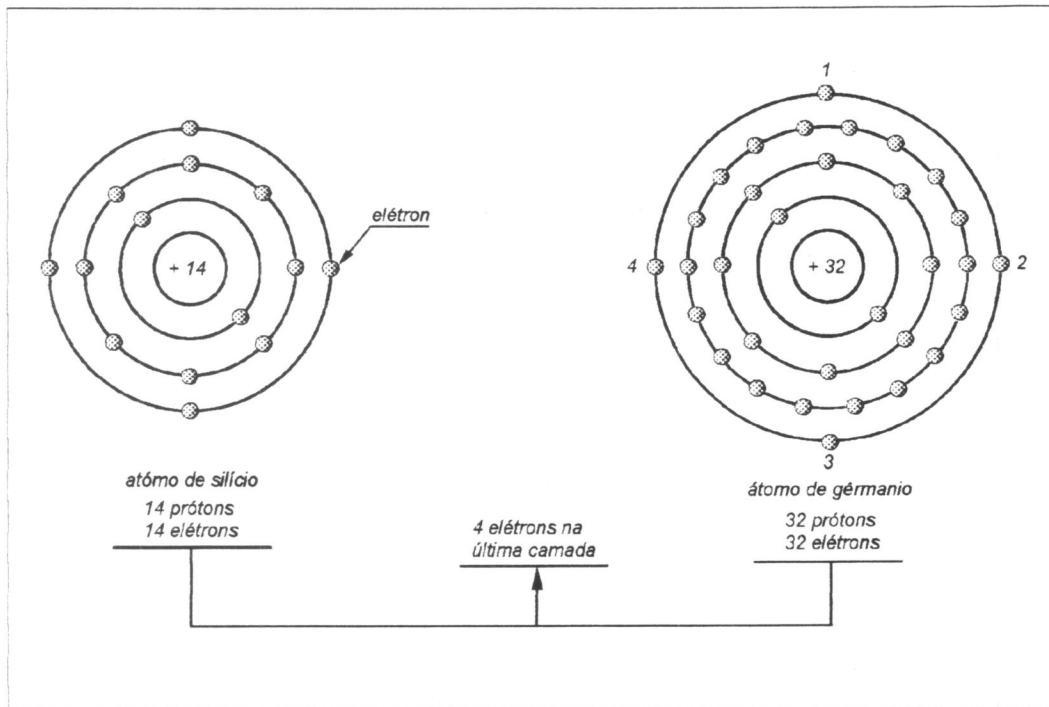
## **Materiais semicondutores**

Materiais semicondutores são aqueles que apresentam características de isolante ou de condutor, dependendo da forma como se apresenta sua estrutura química. O exemplo típico do material semicondutor é o carbono (C). Dependendo da forma como os átomos se interligam, o material formado pode se tornar **condutor** ou **isolante**.

Dois exemplos bastante conhecidos de materiais formados por átomos de carbono são o diamante e o grafite.

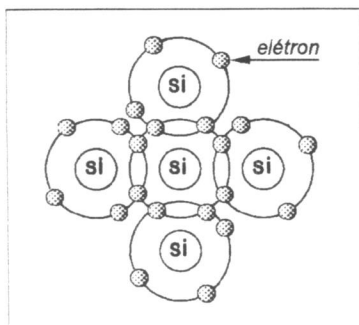
O diamante é um material de grande dureza que se forma pelo arranjo de átomos de carbono em forma de estrutura cristalina. É eletricamente isolante. O grafite é um material que se forma pelo arranjo de átomos de carbono em forma triangular. É condutor de eletricidade.

### Estrutura química dos materiais semicondutores



Os materiais considerados semicondutores se caracterizam por serem constituídos de átomos que têm quatro elétrons (tetravalentes) na camada de valência. Veja na figura a seguir a representação esquemática de dois átomos (silício e germânio) que dão origem a materiais semicondutores.

Os átomos que têm quatro elétrons na última camada têm tendência a se agruparem segundo uma formação cristalina. Nesse tipo de ligação, cada átomo se combina com quatro outros. Isso faz com que cada elétron pertença simultaneamente a dois átomos.



Esse tipo de ligação química é denominado de **ligação covalente**.

As ligações covalentes se caracterizam por manter os elétrons fortemente ligados em dois núcleos associados.

Por isso, as estruturas cristalinas puras, compostas unicamente por ligações covalentes, adquirem características de isolamento elétrica.

O silício e o germânio puros são materiais semicondutores com características isolantes quando agrupados em forma de cristal.

### **Dopagem**

A dopagem é o processo químico que tem por finalidade **introduzir átomos estranhos** (impureza) na estrutura cristalina de uma substância pura como o germânio e o silício, por exemplo. Esses átomos estranhos a estrutura cristalina são denominados **impurezas**.

A dopagem, que é realizada em laboratórios, introduz no interior da estrutura de um cristal uma quantidade controlada de uma determinada impureza para transformar essa estrutura num condutor.

A forma como o cristal conduzirá a corrente elétrica e a sua condutibilidade dependem do tipo de impureza utilizado e da quantidade de impureza aplicada.

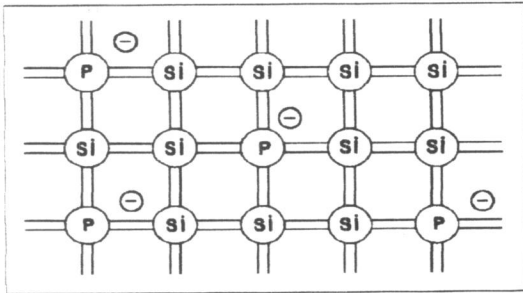
### **Cristal N**

Quando o processo de dopagem introduz na estrutura cristalina uma quantidade de átomos com mais de quatro elétrons na última camada, como o fósforo (P), que é pentavalente, forma-se uma nova estrutura cristalina denominada **cristal N**.

Dos cinco elétrons externos do fósforo, apenas quatro encontram um par no cristal. Isso possibilita a formação covalente.

O quinto elétron do fósforo não forma ligação covalente porque não encontra, na estrutura, um elétron que possibilite essa formação.

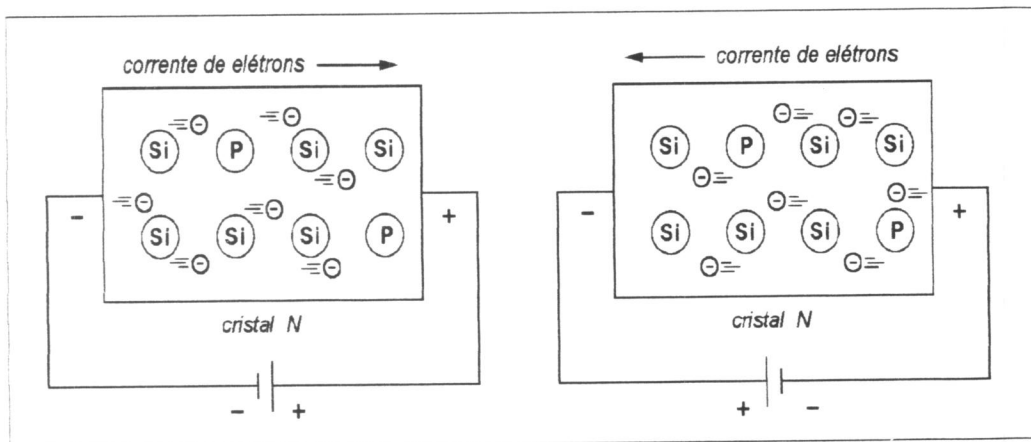
No cristal semicondutor, cada átomo de impureza fornece um elétron livre dentro da estrutura.



Esse elétron isolado tem a característica de se libertar facilmente do átomo e de vagar livremente dentro da estrutura do cristal, constituindo-se **um portador livre de carga elétrica**.

É importante notar que, embora o material tenha sido dopado, seu número total de elétrons e prótons **é igual**, de forma que o material continua **eletricamente neutro**.

Nesse cristal, a corrente elétrica é conduzida no seu interior por cargas negativas. Veja representação esquemática a seguir.

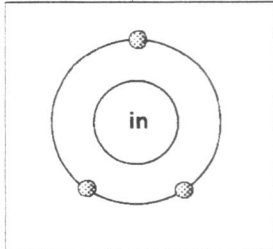


Observe que o cristal N conduz a corrente elétrica independentemente da polaridade da bateria.



## Cristal P

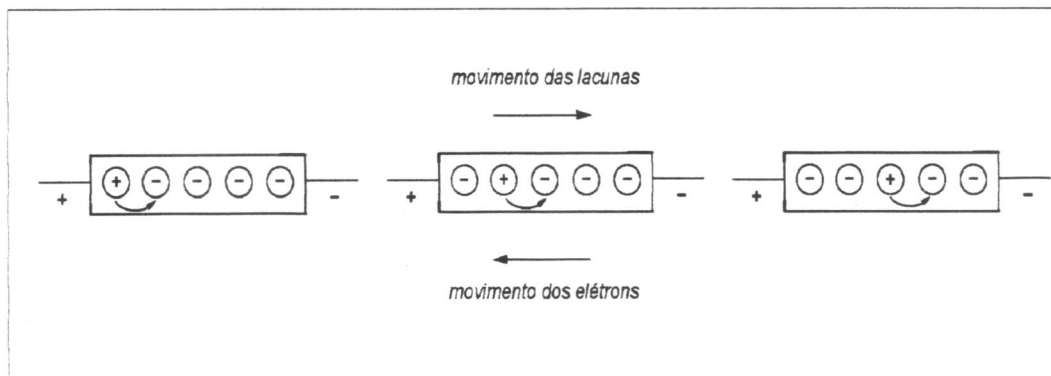
A utilização de átomos com três elétrons na última camada, ou seja, **trivalentes**, no processo de dopagem, dá origem à estrutura chamada de cristal P. O átomo de índio (In) é um exemplo desse tipo de material.



Quando os átomos de índio são colocados na estrutura do cristal puro, verifica-se a falta de um elétron para que os elementos tetravalentes se combinem de forma covalente. Essa **ausência de elétron** é chamada de **lacuna**, que, na verdade, é a ausência de uma carga negativa.

Os cristais dopados com átomos trivalentes são chamados **cristais P** porque a condução da corrente elétrica no seu interior acontece **pela movimentação das lacunas**. Esse movimento pode ser facilmente observado quando se analisa a condução de corrente elétrica passo a passo.

Quando se aplica uma diferença de potencial aos extremos de um cristal P, uma lacuna é ocupada por um elétron que se movimenta, e força a criação de outra lacuna atrás de si. Veja figura a seguir na qual a lacuna está representada por uma carga positiva.



A lacuna é preenchida por outro elétron gerando nova lacuna até que esta seja preenchida por um elétron proveniente da fonte.

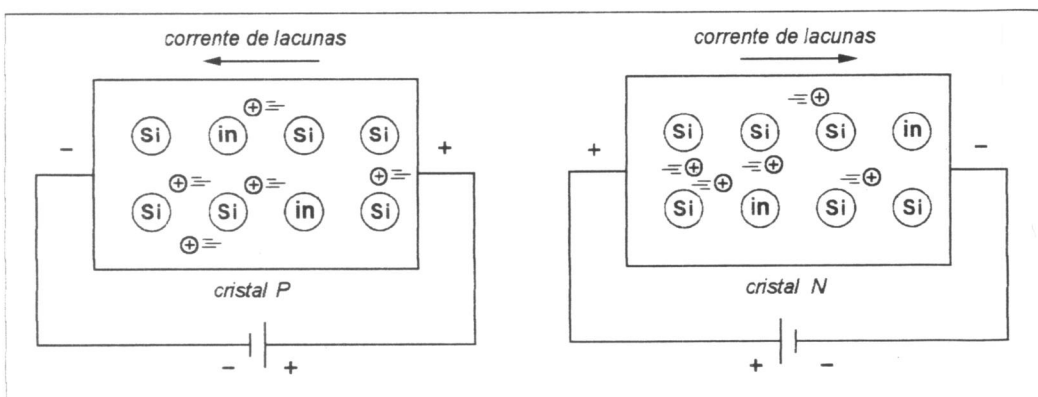
As lacunas se movimentam na **banda de valência** dos átomos e os elétrons livres que as preenchem movimentam-se na **banda de condução**.

### Observações

A banda de valência é a camada externa da eletrosfera na qual os elétrons estão fracamente ligados ao núcleo do átomo.

Banda de condução é a região da eletrosfera na qual se movimentam os elétrons livres que deixaram a banda de valência quando receberam uma certa quantidade de energia.

A condução de corrente por lacunas no cristal P depende da polaridade da fonte de tensão. Assim, os cristais P e N, **isoladamente**, conduzem a corrente elétrica qualquer que seja a polaridade de tensão aplicada às suas extremidades.



Os cristais P e N são a **matéria prima** para a fabricação dos componentes eletrônicos modernos tais como diodos, transistores e circuitos integrados.

### Condutibilidade dos materiais semicondutores

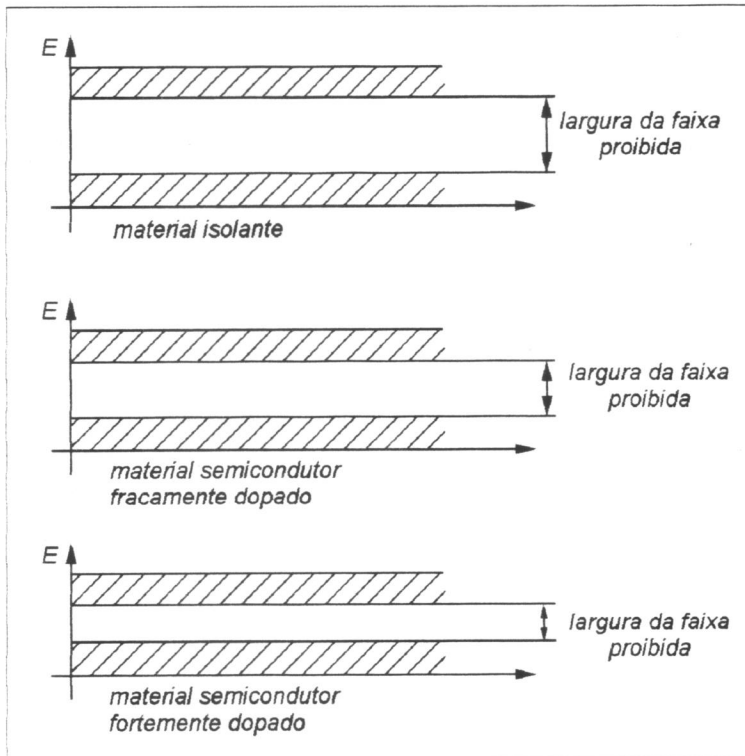
Há dois fatores que influenciam a condutibilidade dos materiais semicondutores. Eles são:

- A intensidade da dopagem e
- A temperatura.

### Intensidade da dopagem

Os cristais dopados mais intensamente se caracterizam por apresentar maior condutibilidade porque sua estrutura apresenta um número maior de portadores livres.

Quando a quantidade de impurezas introduzidas na estrutura cristalina é controlada, a **banda proibida** pode ser reduzida a uma largura desejada. Essa faixa está localizada entre as bandas de valência e condução.



### Temperatura

Quando a temperatura de um material semiconductor aumenta, a energia térmica adicional faz com que algumas ligações covalentes da estrutura se desfaçam. Cada ligação covalente que se desfaz pelo aumento da temperatura permite o aparecimento de dois portadores livres de energia a mais na estrutura do cristal.

A presença de um **maior número de portadores aumenta a condutibilidade do material**, permitindo a circulação de correntes maiores no cristal.

Assim, o comportamento de qualquer componente eletrônico fabricado com materiais semicondutores depende diretamente de sua temperatura de trabalho.

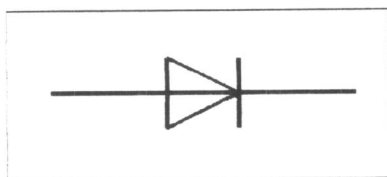
Essa dependência é denominada de **dependência térmica** e constitui-se de fator importante que deve ser considerado quando se projeta ou monta circuitos com esse tipo de componente.

### Diodo semicondutor

O diodo semicondutor é um componente que se comporta como **condutor ou isolante** elétrico, dependendo da forma como a tensão é aplicada aos seus terminais.

Uma das aplicações mais comuns do diodo é na **transformação de corrente alternada em corrente contínua** como, por exemplo, nos eliminadores de pilhas ou fonte CC.

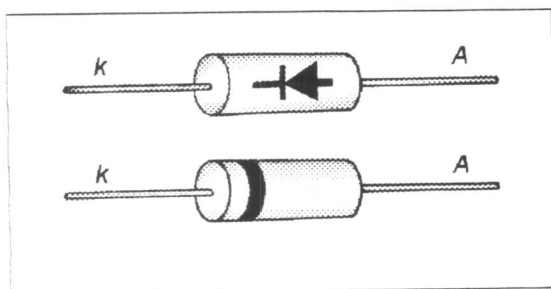
A ilustração a seguir mostra o símbolo do diodo, de acordo com a norma NBR 12526.



O terminal da seta representa um **material P** e é chamado de **anodo** e o terminal da barra representa um **material N** e é chamado de **catodo**.

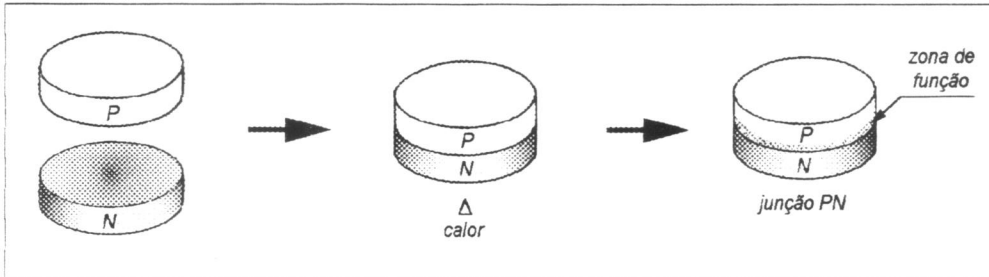
A identificação dos terminais (anodo e catodo) no componente pode aparecer de diversas formas. A seguir estão representadas duas delas:

- Símbolo do diodo impresso sobre o corpo do componente;
- Barra impressa em torno do corpo do componente, indicando o catodo.



## Junção PN

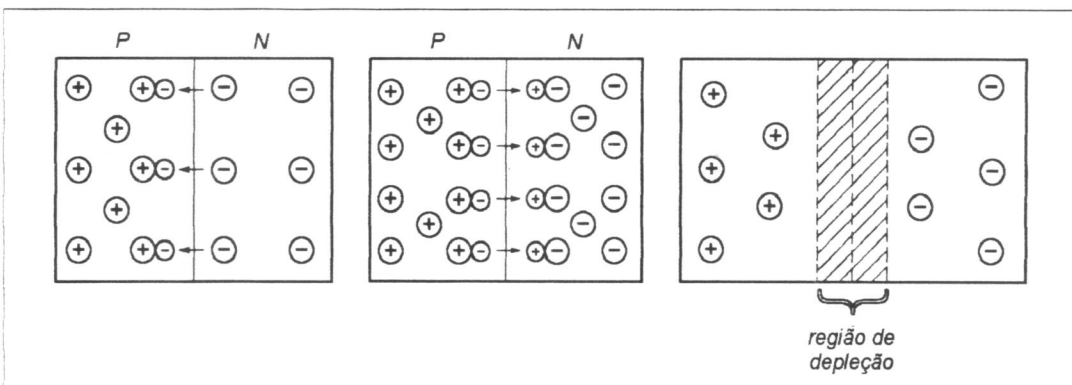
O diodo se constitui da junção de duas pastilhas de material semiconductor: uma de material N e outra de material P. Essas pastilhas são unidas através de aquecimento, formando uma junção entre elas. Por essa razão o diodo semiconductor também é denominado de diodo de junção PN.



Após a junção das pastilhas que formam o diodo, ocorre um processo de acomodação química entre os cristais. Na região da junção, alguns elétrons livres saem do material N e passam para o material P onde se recombinam com as lacunas das proximidades.

O mesmo ocorre com algumas lacunas que passam do material P para a material N e se recombinam com os elétrons livres.

Assim, forma-se na junção, uma região na qual não existem portadores de carga porque estão todos recombinados, neutralizando-se. Esta região é denominada de **região de depleção**.

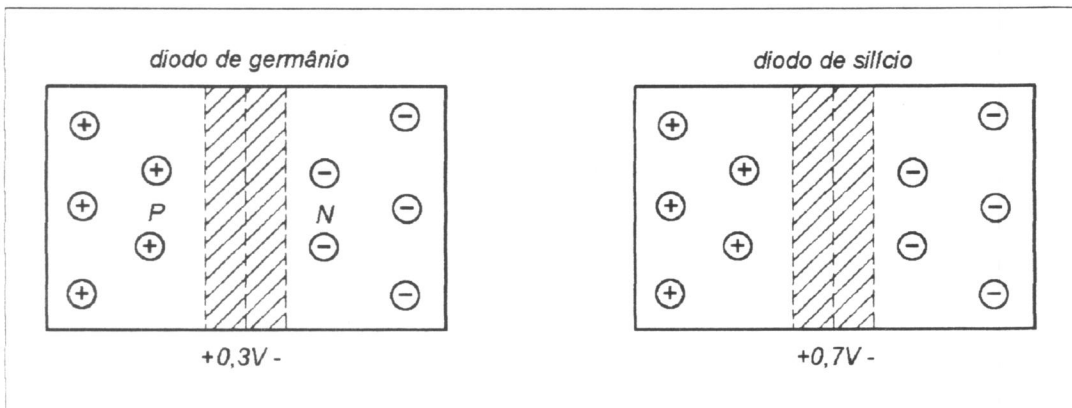


Como consequência da passagem de cargas de um cristal para o outro, cria-se um desequilíbrio elétrico na região da junção. Os elétrons que se movimentam do material N para o material P geram um **pequeno potencial elétrico negativo**.

As lacunas que se movimentam para o material N geram um **pequeno potencial elétrico positivo**.

Esse desequilíbrio elétrico é denominado de **barreira de potencial**. No funcionamento do diodo, esta barreira se comporta como uma pequena bateria dentro do componente.

A tensão proporcionada pela barreira de potencial no interior do diodo depende do material utilizado na sua fabricação. Nos diodos de germânio (Ge), a barreira tem aproximadamente 0,3V e nos de silício (Si), aproximadamente 0,7 V.



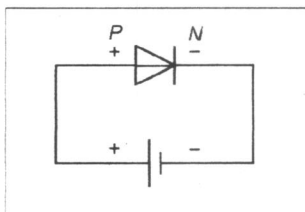
### Observação

Não é possível medir a tensão da barreira de potencial utilizando um voltímetro nos terminais de um diodo porque essa tensão existe apenas dentro do componente. O diodo continua neutro, uma vez que não foram acrescentados nem retirados portadores dos cristais.

### Polarização do diodo

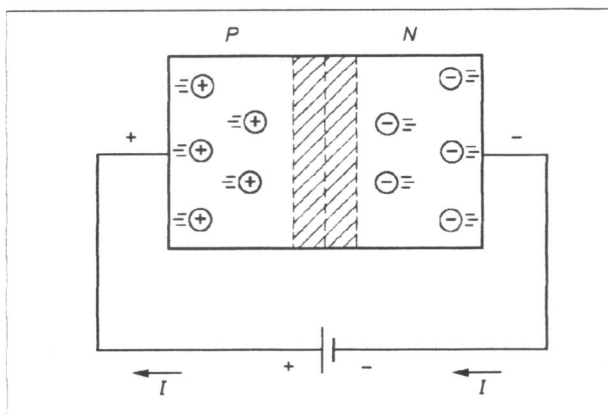
A aplicação de tensão sobre o diodo estabelece a forma como o componente se comporta eletricamente. A tensão pode ser aplicada ao diodo de duas formas diferentes, denominadas tecnicamente de **polarização direta e polarização inversa**.

A **polarização é direta** quando a tensão positiva é aplicada ao material P (anodo) e a tensão negativa ao material N (catodo).

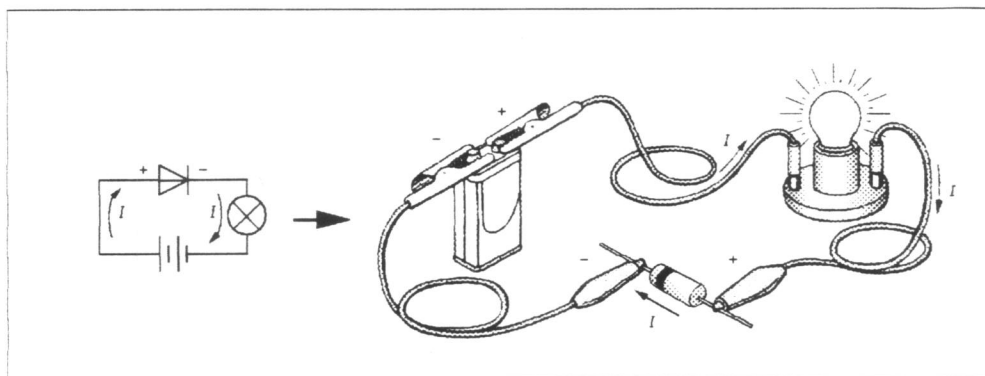


Na polarização direta, o pólo positivo da fonte repele as lacunas do material P em direção ao pólo negativo, enquanto os elétrons livres são repelidos pelo pólo negativo em direção ao pólo positivo.

Se a tensão da bateria externa é maior que a tensão da barreira de potencial, as forças de atração e repulsão provocadas pela bateria externa permitem aos portadores adquirir velocidade suficiente para atravessar a região com ausência de portadores, ou seja, a barreira de potencial. Nesta condição, **existe na junção um fluxo de portadores livres** dentro do diodo.

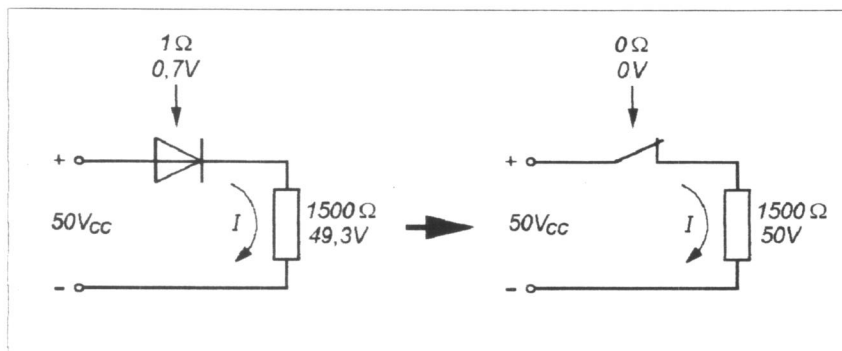


A polarização direta faz com que o diodo permita a circulação de corrente elétrica no circuito através do movimento dos portadores livres.



Assim, é possível considerar o diodo real igual ao diodo ideal no que diz respeito à condução, sem provocar erros significativos.

No circuito a seguir, por exemplo, a tensão e a resistência externa ao diodo são tão grandes se comparadas com os valores do diodo, que a diferença entre eles se torna desprezível.



$$I = \frac{V}{R} = \frac{49,3}{1501} = 0,0328 \text{ A}$$

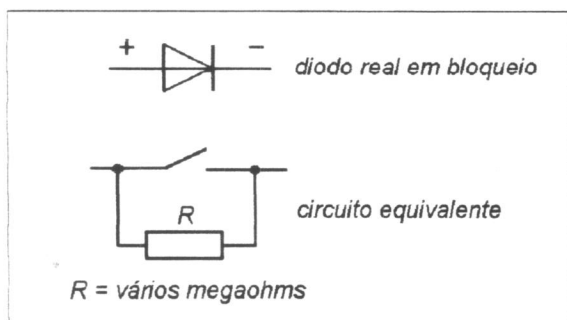
$$I = \frac{V}{R} = \frac{50}{1500} = 0,0333 \text{ A}$$

Erro = 0,0333 - 0,0328 = **0,0005 A**, correspondente a 1,53 % (desprezível face à tolerância do resistor).

Na condição de bloqueio, devido à presença de **portadores minoritários** (impurezas) resultantes da purificação imperfeita, o diodo real não é capaz de impedir totalmente a existência de corrente no sentido inverso. Essa corrente inversa é chamada de corrente de fuga e é da ordem de alguns microampères.

Como essa corrente é muito pequena se comparada com a corrente de condução, a resistência inversa do diodo pode ser desprezada na análise da grande maioria dos circuitos.

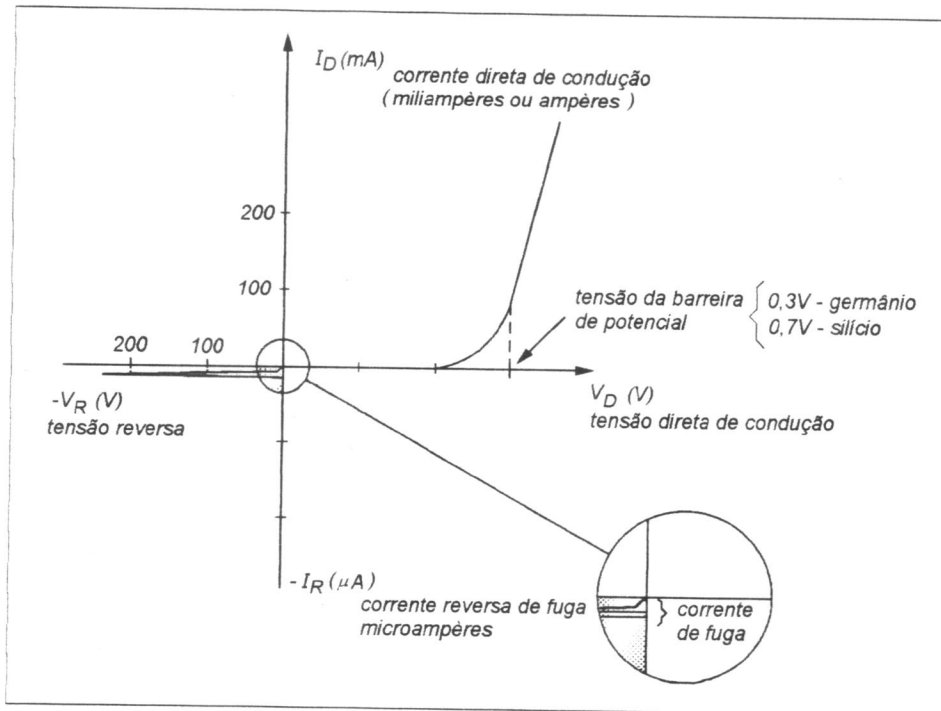
O circuito equivalente do diodo real em bloqueio apresenta esta característica.





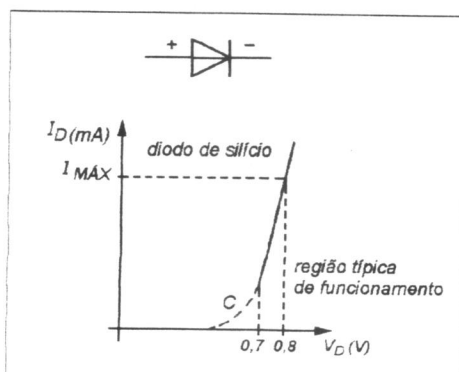
### Curva característica

O comportamento dos componentes eletrônicos é expresso através de uma curva característica que permite determinar a condição de funcionamento do componente em um grande número de situações. A curva característica do diodo mostra seu comportamento na condução e no bloqueio.



### Região de condução

Durante a condução, a corrente do circuito circula no cristal. Devido à existência da barreira de potencial e da resistência interna, aparece um pequeno valor de tensão sobre o diodo. A curva característica do diodo em condução mostra o comportamento da queda de tensão em função da corrente que flui no circuito.



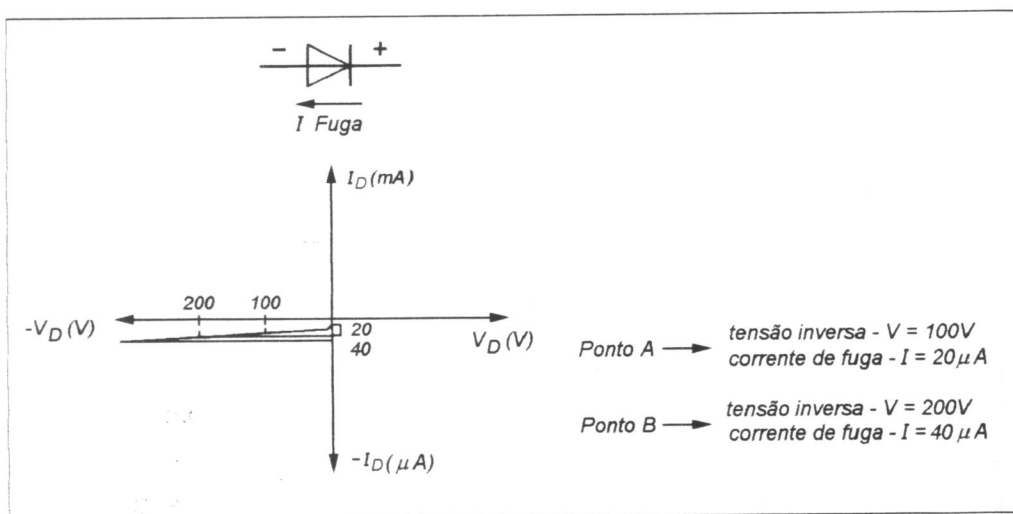
A curva característica de condução mostra que a tensão no diodo sofre um pequeno aumento quando a corrente aumenta.

Ela mostra também que enquanto o diodo está abaixo de 0,7 V (no caso do silício), a corrente circulante é muito pequena (região C da curva). Isso é consequência da oposição ao fluxo de cargas feita pela barreira de potencial.

Por isso, a região típica de funcionamento dos diodos fica acima da tensão característica de condução.

### Região de bloqueio

No bloqueio, o diodo semiconductor não atua como isolante perfeito e permite a circulação de uma corrente de fuga da ordem de microampères. Essa corrente aumenta à medida que a tensão inversa sobre o diodo aumenta.



### Regimes máximos do diodo em CC

Os regimes máximos do diodo em CC estabelecem os limites da tensão e corrente que podem ser aplicados ao componente em circuitos de corrente contínua, sem provocar danos em sua estrutura.

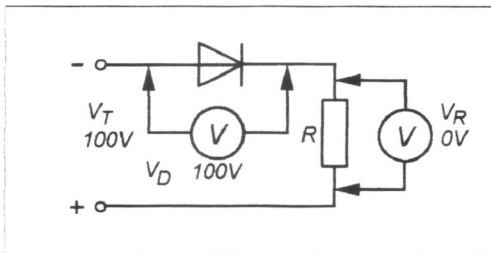
Analisando o comportamento do diodo em condução e bloqueio, verifica-se que os fatores que dependem diretamente do circuito ao qual o diodo está conectado são: corrente direta nominal ( $I_F$ , do inglês "intensity forward"); tensão inversa máxima ( $V_R$ , do inglês "voltage reverse").

A corrente **direta nominal** ( $I_F$ ) de cada tipo de diodo é dada pelo fabricante em folhetos técnicos e representa o valor máximo de corrente que o diodo pode suportar, quando

polarizado diretamente. Veja a seguir, as características de corrente máxima ( $I_F$ ) de dois diodos comerciais.

Tipo	$I_F$ (A)
1N4001	1,0
MR504	3,0

Quando polarizado inversamente, toda tensão aplicada ao circuito fica sobre o diodo.



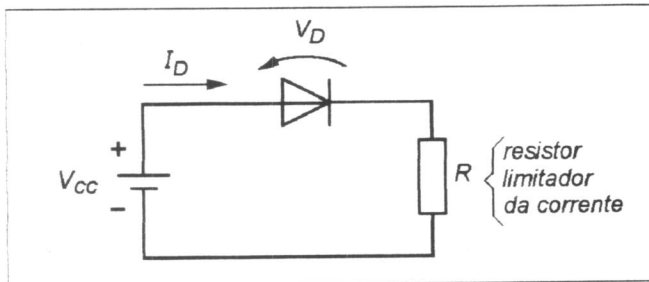
Cada diodo tem a estrutura preparada para suportar um determinado valor de tensão inversa. Quando se aplica a um diodo um valor de tensão inversa máxima ( $V_R$ ) **maior** que o especificado, a **corrente de fuga aumenta excessivamente** e danifica o componente.

O valor característico de  $V_R$  que cada tipo de diodo suporta sem sofrer ruptura é fornecido pelos fabricantes. Veja a seguir exemplos de valores característicos de tensão máxima inversa de alguns diodos comerciais.

Tipo	$V_R$ (V)
1N4001	50
1N4002	100
MR504	400
BY127	800

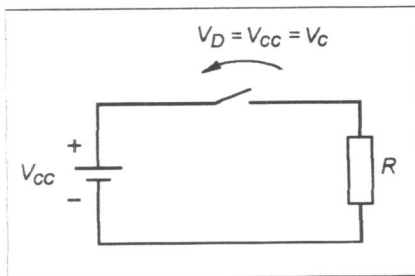
### Reta de carga

A reta de carga é uma traçagem sobre a curva característica do diodo com o objetivo de determinar previamente qual será a corrente e tensão no diodo em determinadas condições de trabalho.



Para traçar a reta de carga de um diodo, deve-se determinar a **tensão de corte**, ou seja, a que está sobre o diodo quando este estiver na região de bloqueio, e a **corrente de saturação**, isto é, a corrente que circula pelo diodo quando ele está na região de condução em um determinado circuito.

Quando o diodo está em corte ou bloqueio, a tensão da fonte está totalmente sobre o componente. Desta forma pode-se afirmar que a tensão de corte é igual a tensão da fonte de alimentação do circuito.

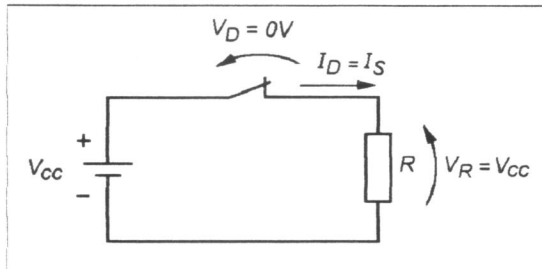


Logo:

$$V_c = V_{cc}$$

Onde  $V_c$  é tensão de corte e  $V_{cc}$  a tensão de alimentação.

A corrente de saturação é a corrente do circuito quando o diodo está na região de condução ou saturado.



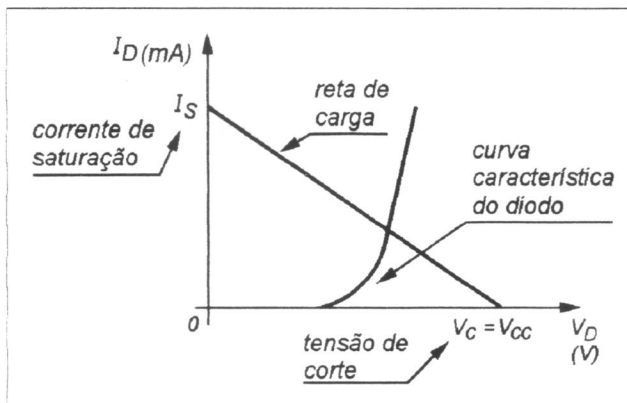
Pode-se determinar a corrente de saturação a partir da lei de Ohm. A corrente que circula no resistor é a corrente de saturação  $I_S$  e a tensão sobre o resistor é a tensão de alimentação  $V_{CC}$ .

Desta forma:

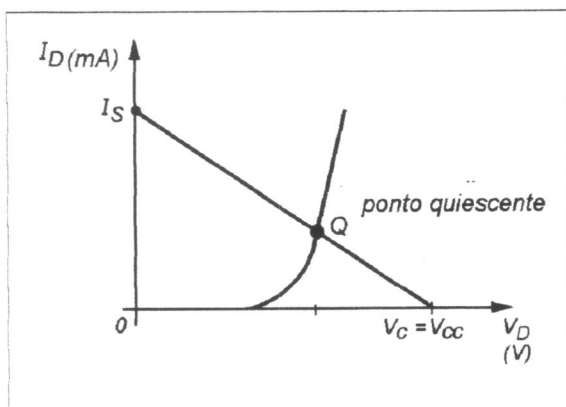
$$I_S = \frac{V_{CC}}{R_L}$$

Onde  $I_S$  é a corrente de saturação,  $V_{CC}$  a tensão de alimentação e  $R_L$  o resistor de carga ou limitador.

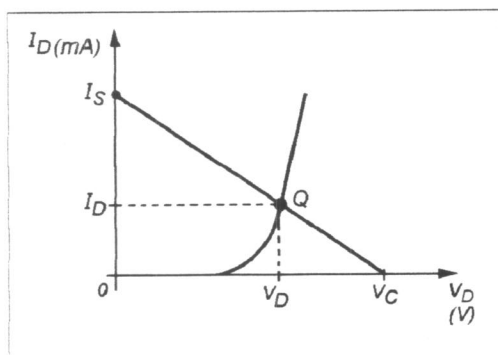
A partir dos valores de tensão de corte e corrente de saturação, traça-se uma reta na curva característica do diodo da seguinte forma: a tensão de corte  $V_C$  é identificada no eixo de tensão  $V_D$  do gráfico e a corrente de saturação no eixo de corrente  $I_D$ . Essa reta é denominada **reta de carga**.



O ponto de encontro entre a reta de carga e a curva do diodo é denominada de ponto de trabalho ou quiescente (Q).



Projetando este ponto quiescente nos eixos de tensão e corrente do gráfico tem-se os valores de corrente e tensão do diodo no circuito.



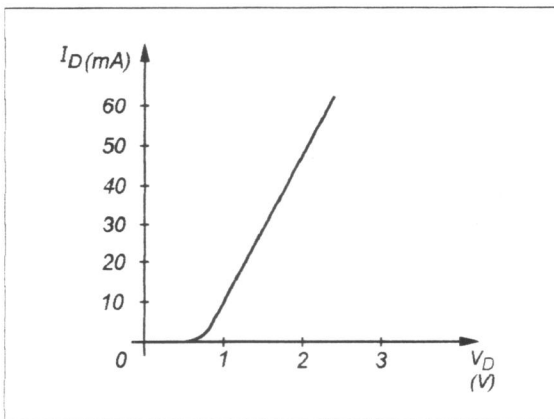
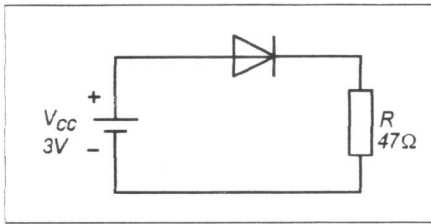
### Potência de dissipação

A potência de dissipação de um diodo é o valor de potência que ele dissipa em um circuito.

A partir dos valores de tensão e corrente no diodo é possível determinar a potência de dissipação.

$$P_D = V_D \cdot I_D$$

No exemplo a seguir, serão determinados os valores de tensão corrente e potência no diodo.



De acordo com os dados do esquema elétrico os valores da tensão, de corte e corrente de saturação podem ser calculados.

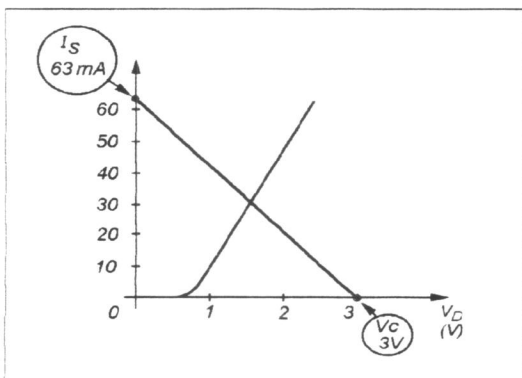
$$V_C = V_{CC}$$

$$V_C = 3 \text{ V}$$

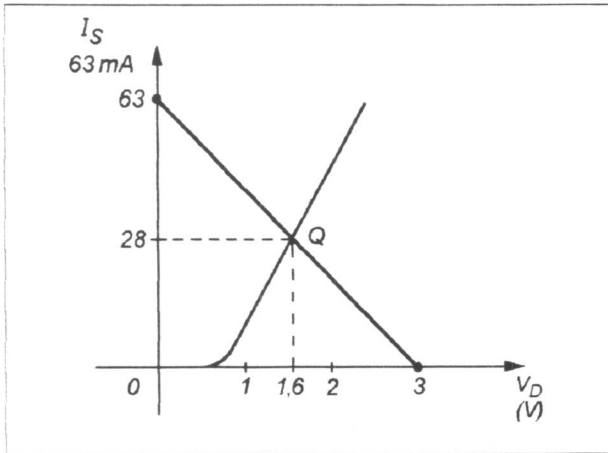
$$I_S = \frac{V_{CC}}{R_L} = \frac{3}{47} = 0,063 \text{ A}$$

$$I_S = 63 \text{ mA}$$

A partir dos valores da tensão de corte e corrente de saturação, deve-se traçar a reta de carga.



O cruzamento da reta de carga com a curva característica do diodo determina o ponto quiescente. Ao projetar o ponto quiescente nos eixos de tensão e corrente do gráfico é possível determinar a tensão e a corrente no diodo.



$$I_D = 63 \text{ mA}$$

$$V_D = 1,6 \text{ V}$$

A partir desses valores é possível determinar a potência dissipada no diodo.

$$P_D = I_D \cdot V_D$$

$$P_D = 0,063 \cdot 1,6$$

$$P_D = 0,100 \text{ W ou } 100 \text{ mW}$$



---

# Circuitos retificadores monofásicos

Todos os aparelhos eletrônicos necessitam de corrente contínua para funcionar. Todavia, a rede elétrica que chega às nossas casas, nos fornece energia elétrica em forma de corrente alternada.

Assim, para que seja possível alimentar os aparelhos eletrônicos, é necessário um circuito que transforme corrente alternada em corrente contínua. Esse circuito é chamado de retificador.

Por seu largo emprego e importância, os circuitos retificadores serão o assunto deste capítulo. Para compreendê-lo com mais facilidade, é necessário conhecer corrente contínua, corrente alternada, diodo semicondutor e transformadores.

## Retificação

Retificação é o processo de transformação de corrente alternada em corrente contínua, de modo a permitir que equipamentos de corrente contínua sejam alimentados por corrente alternada.

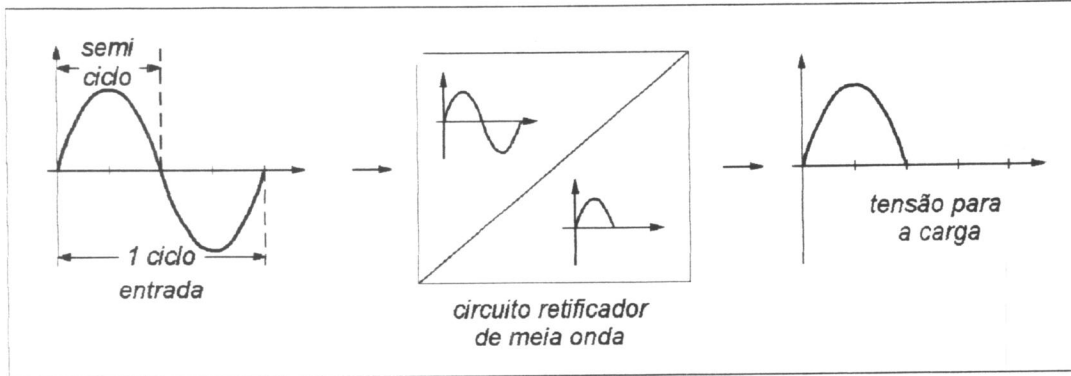
A retificação ocorre de duas formas:

- Retificação de meia onda;
- Retificação de onda completa.

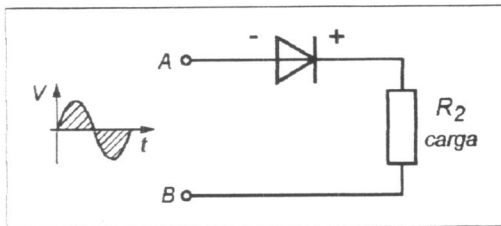
### Retificação de meia-onda

De todos os circuitos retificadores que existem, o mais simples é o circuito retificador de meia-onda.

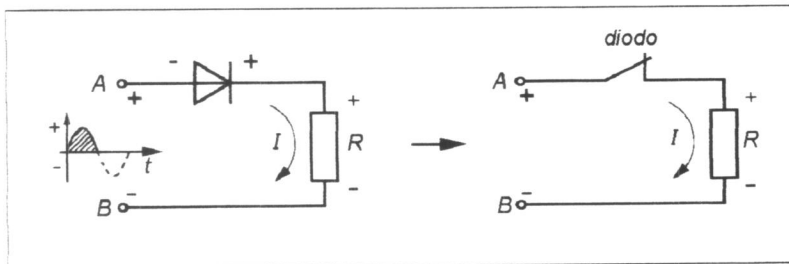
Ele permite o aproveitamento de apenas um semiciclo da tensão de entrada de carga e é usado em equipamentos que não exigem tensão contínua pura, como os carregadores de bateria.



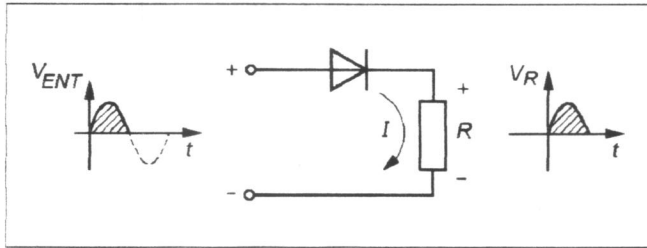
Esse circuito utiliza um diodo semicondutor pois suas características de condução e bloqueio são aproveitadas para a obtenção da retificação. Tomemos como exemplo o circuito retificador da figura a seguir.



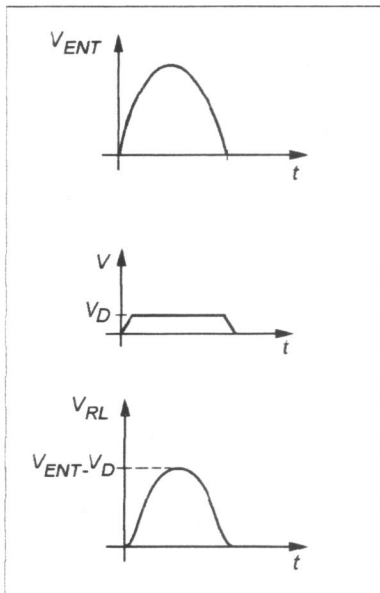
Durante o primeiro semiciclo, a tensão é positiva no ponto A e negativa em B. Essa polaridade da tensão de entrada coloca o diodo em condução e permite a circulação da corrente.



A tensão sobre a carga assume a mesma forma da tensão de entrada.



O valor do pico de tensão sobre a carga é menor que o valor do pico da tensão de entrada. Isso acontece porque o diodo durante a condução apresenta uma pequena queda de tensão.



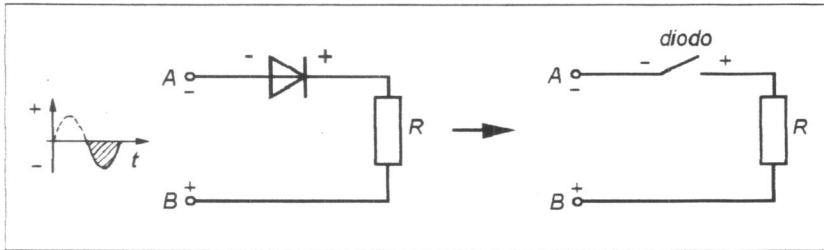
### Observação

A queda de tensão ( $V_D$ ) é de 0,7 V em circuitos com diodos de silício e 0,2 V em circuitos com diodos de germânio.

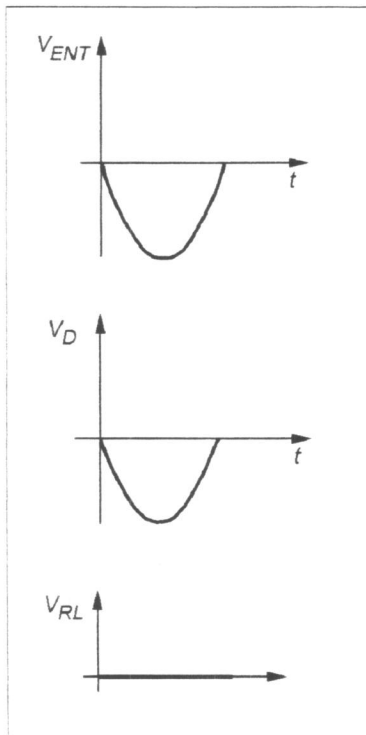
Na maioria dos casos, essa queda de tensão pode ser desprezada porque seu valor é muito pequeno em relação ao valor total do pico de tensão sobre a carga.

Ela só deve ser considerada quando é aplicado no circuito retificador tensões de baixos valores, menores que 10 V.

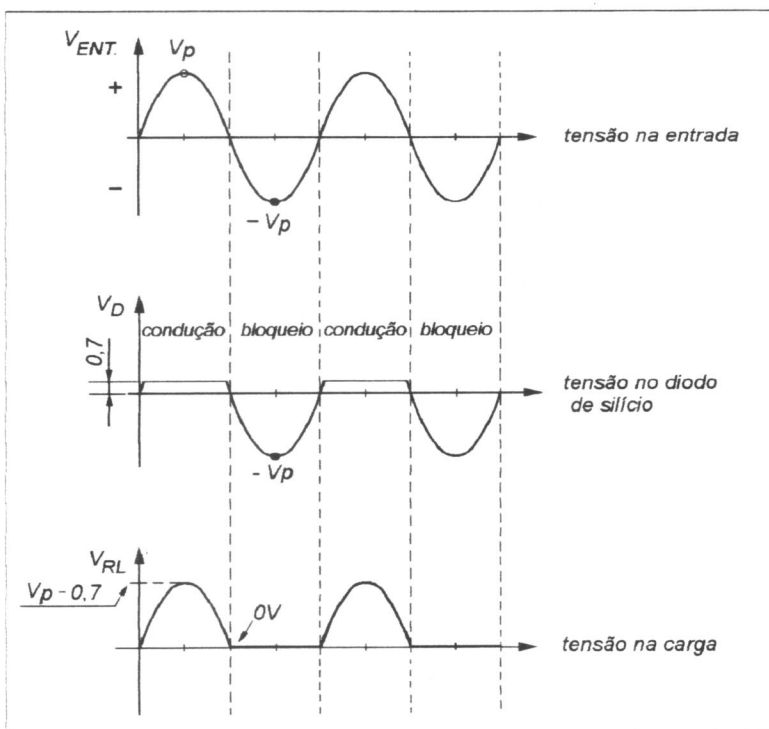
Durante o segundo semiciclo, a tensão de entrada é negativa no ponto A e positiva no ponto B. Nessa condição, o diodo está polarizado inversamente, em bloqueio, impedindo a circulação da corrente.



Com o bloqueio do diodo que está funcionando como um interruptor aberto, a tensão na carga é nula porque não há circulação de corrente



Os gráficos a seguir ilustram a evolução de um ciclo completo.

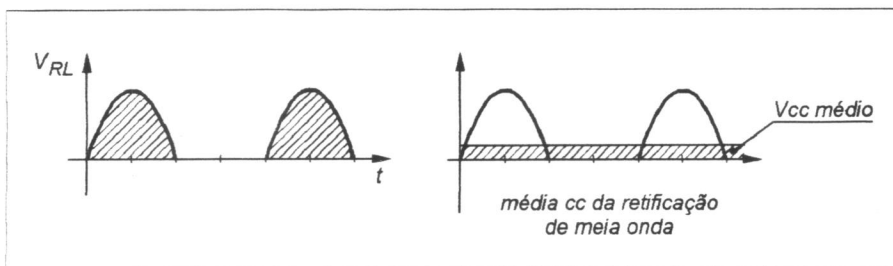


Pelos gráficos, é possível observar que a cada ciclo completo da tensão de entrada, apenas um semiciclo passa para a carga, enquanto o outro semiciclo fica sobre o diodo.

### Tensão de saída

A tensão de saída de uma retificação de meia-onda é contínua, porém pulsante porque nela alternam-se períodos de existência e inexistência de tensão sobre a carga.

Assim, ao se conectar um voltímetro de CC na saída de um circuito retificador de meia-onda, a tensão indicada pelo instrumento será a média entre os períodos de existência e inexistência de tensão.



Por isso, o valor da tensão CC aplicada sobre a carga fica muito abaixo do valor efetivo da CA aplicada à entrada do circuito. A tensão média na saída é dada pela equação:

$$V_{CC} = \frac{V_P - V_D}{\pi}$$

Onde  $V_{CC}$  é a tensão contínua média sobre a carga; \*

- $V_P$  é a tensão de pico da CA aplicada ao circuito ( $V_P = V_{CA} \cdot \sqrt{2}$ );
- $V_D$  é a queda de tensão típica do diodo (0,2 V ou 0,7 V).

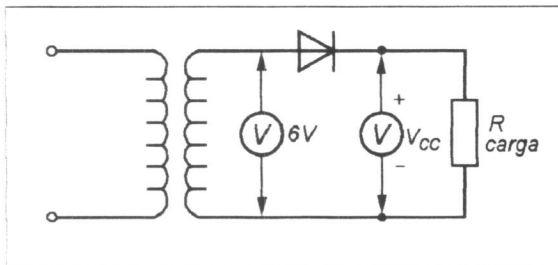
Quando as tensões de entrada ( $V_{CAef}$ ) forem superiores a 10 V, pode-se eliminar a queda de tensão do diodo que se torna desprezível, rescrevendo a equação da seguinte maneira:

$$V_{CC} = \frac{V_P}{\pi} \Rightarrow V_{CC} = \frac{V_{CA} \cdot \sqrt{2}}{\pi}$$

Simplificando os termos  $\frac{\sqrt{2}}{\pi}$ , obtém-se 0,45. Logo,

$$V_{CC} = V_{CA} \cdot 0,45$$

### Exemplo



Dados:

$V_{CA} = 6 \text{ V}$  (menor que 10 V)

Di = diodo retificador de silício

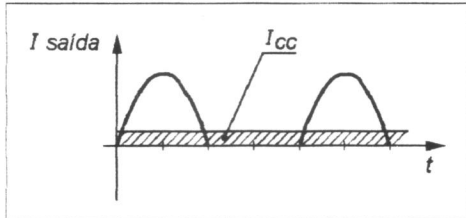
$$V_{CC} = \frac{V_P - V_D}{\pi} = \frac{(V_{CA} \cdot \sqrt{2}) - V_D}{\pi} = \frac{(6 \cdot 1,41) - 0,7}{3,14} = 2,47 \text{ V}$$

$$V_{CC} = 2,47 \text{ V}$$

### Corrente de saída

Como na retificação de meia-onda a tensão sobre a carga é pulsante, a corrente de saída também é pulsante.

Assim, a corrente de saída é a média entre os períodos de existência e inexistência de corrente.



Esse valor é determinado a partir dos valores de tensão média e da resistência de carga, ou seja,

$$I_{CC} = \frac{V_{CC}}{R_L}$$

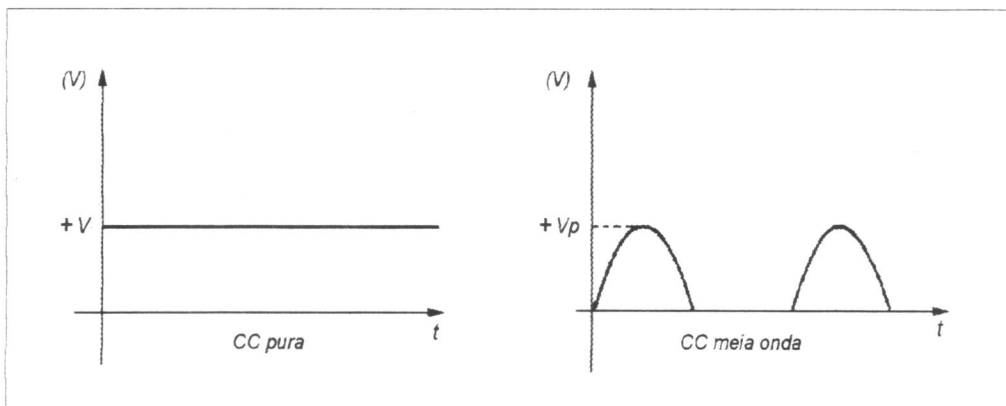
### Observação

O cálculo da corrente média de saída determina os parâmetros para a escolha do diodo que será utilizado no circuito.

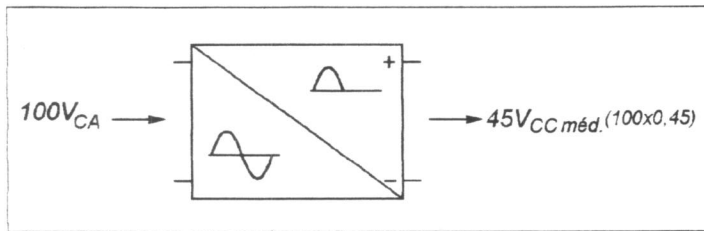
### Inconvenientes

A retificação de meia-onda apresenta os seguintes inconvenientes:

- Tensão de saída pulsante
- Baixo rendimento em relação à tensão eficaz de entrada;



- Mau aproveitamento da capacidade de transformação nas retificações com transformador porque a corrente circula em apenas um semiciclo;

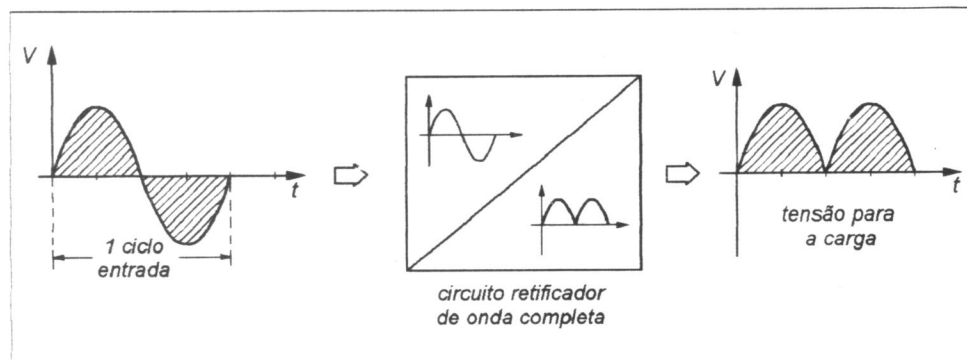


### Retificação de onda completa

A retificação de onda completa é o processo de conversão de corrente alternada em corrente contínua que aproveita os dois semiciclos da tensão de entrada.

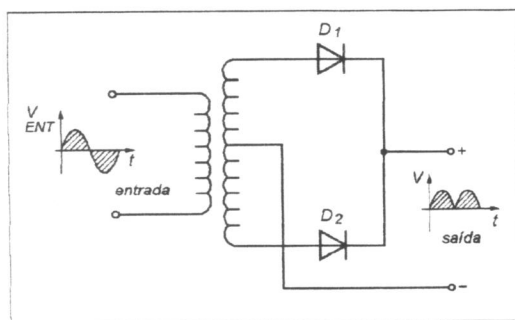
Esse tipo de retificação pode ser realizado de dois modos:

- Por meio de um transformador com derivação central (C.T.) e dois diodos;
- Por meio de quatro diodos ligados em ponte.



### Retificação de onda completa com transformador

A retificação de onda completa com transformador é o processo de retificação realizado por meio de um circuito com dois diodos e um transformador **com derivação central** (ou "center tap").

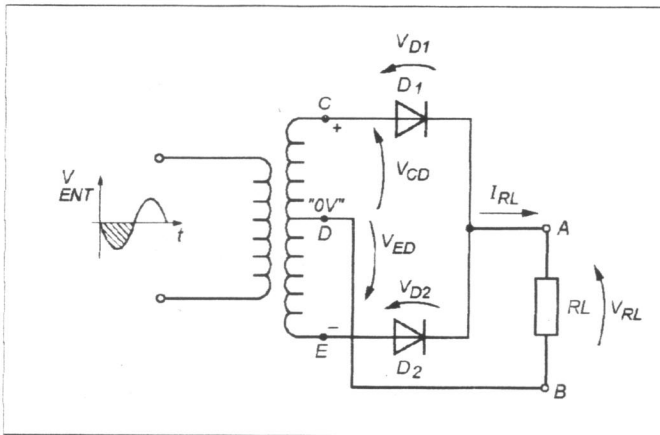




## Funcionamento

Para explicar o funcionamento desse circuito, vamos considerar separadamente cada semiciclo da tensão de entrada.

Inicialmente, considerando-se o terminal central do secundário do transformador como referência, observa-se a formação de duas polaridades opostas nas extremidades das bobinas.

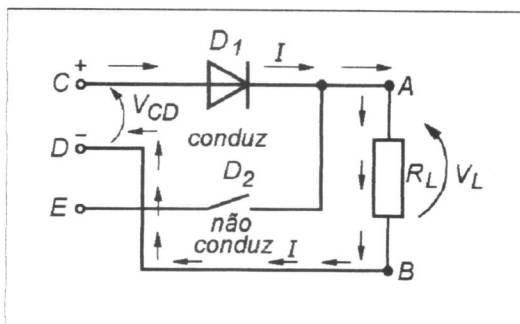


Em relação ao ponto neutro, as tensões  $V_{CD}$  e  $V_{ED}$  estão defasadas  $180^\circ$

Durante o semiciclo positivo de  $V_{ENT}$ , entre os pontos C e E, o ponto C está positivo em relação ao ponto D. Nessa condição, o diodo  $D_1$  está polarizado diretamente e, portanto, em condução.

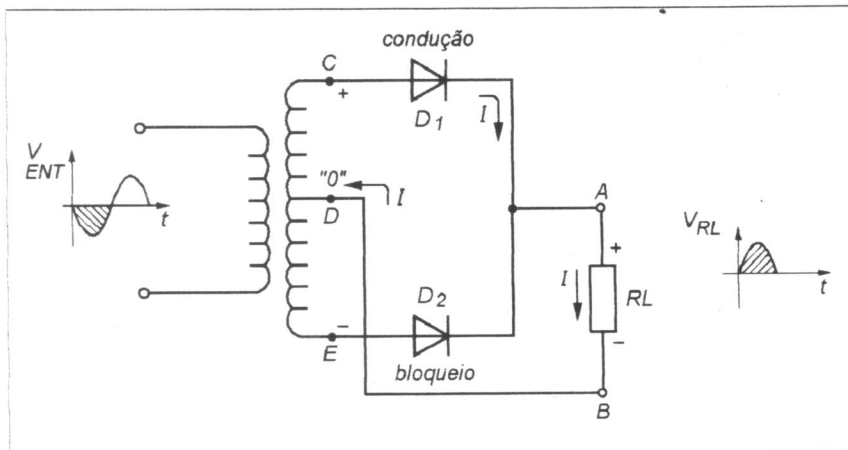
Por outro lado, o ponto D está positivo em relação a E. Nessa condição, o diodo  $D_2$  está polarizado inversamente e, portanto, em corte.

No ponto A aparece uma tensão positiva de valor máximo igual a  $V_{MAX}$ .

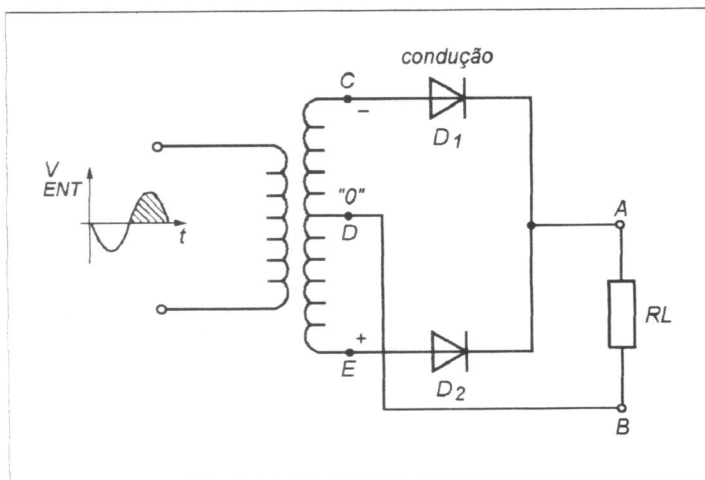


Observe que no circuito apresentado, a condição de condução de  $D_1$  permite a circulação de corrente através da carga, do terminal positivo para o terminal negativo.

A tensão aplicada à carga é a tensão existente entre o terminal central do secundário e a extremidade superior do transformador ( $V_{S1}$ ).

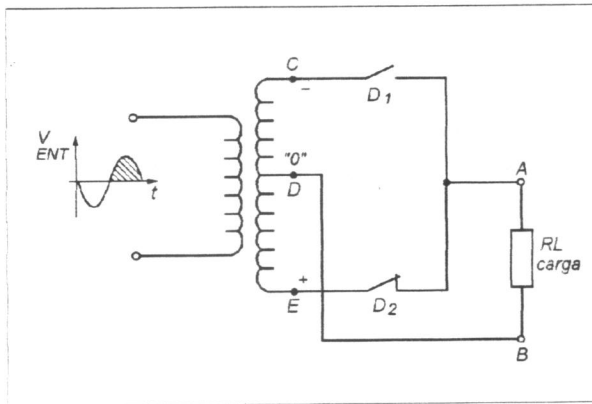


No segundo semiciclo, há uma inversão da polaridade no secundário do transformador.

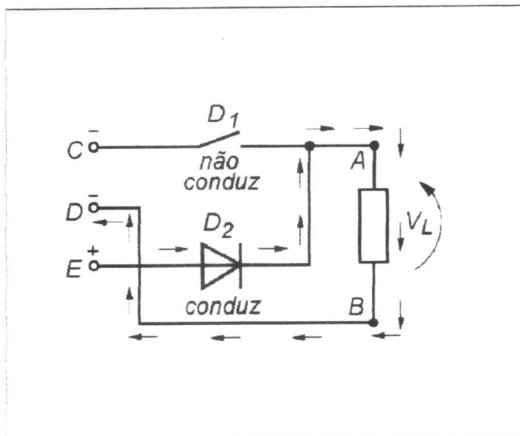


Assim, o ponto D está negativo em relação ao ponto E. Nessa condição, o diodo  $D_2$  está polarizado diretamente e, portanto, em condução.

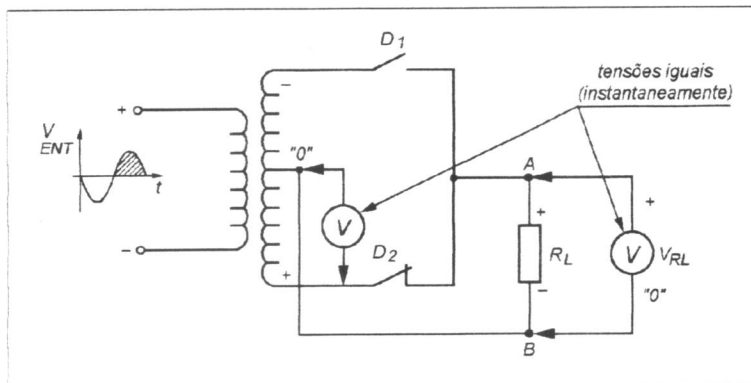
Por outro lado, o ponto D está positivo em relação a C. Nessa condição, o diodo  $D_1$  está polarizado inversamente, e, portanto, em corte.



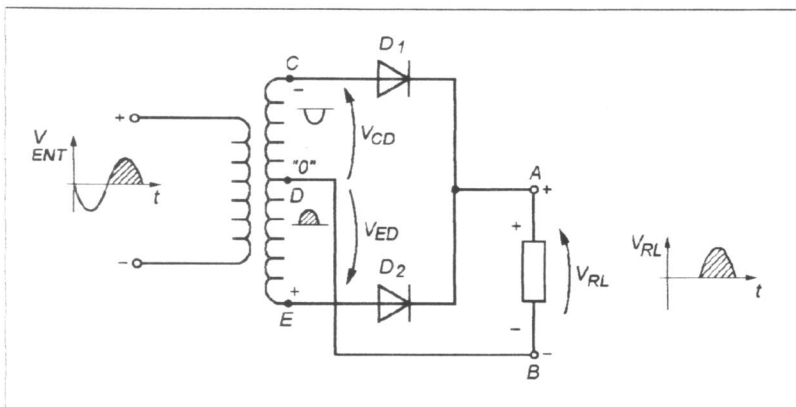
A corrente que passa por  $D_2$  circula pela carga do mesmo sentido que circulou no primeiro semiciclo.



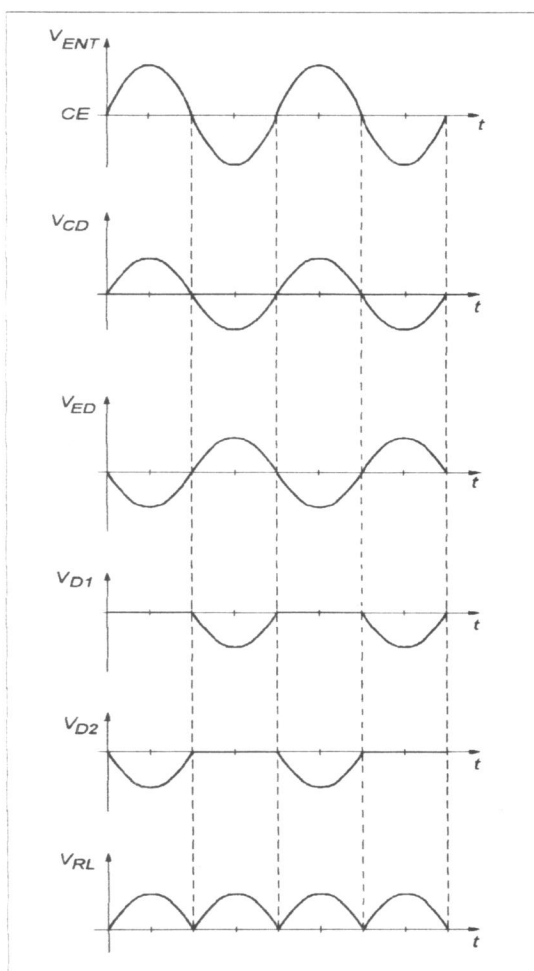
A tensão aplicada à carga é a tensão da bobina inferior do secundário do transformador ( $V_{S2}$ ).



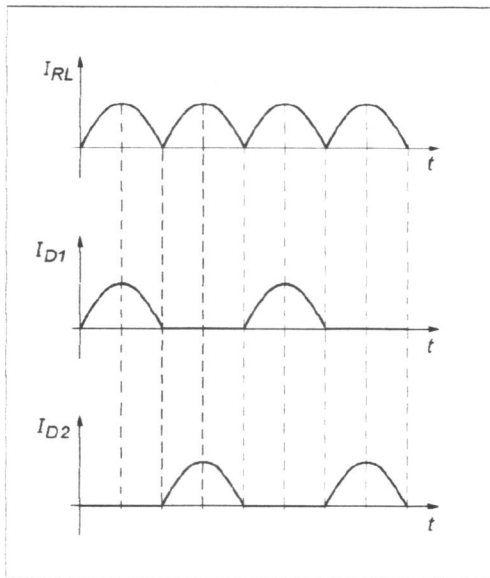
Durante todo semiciclo analisado, o diodo  $D_2$  permanece em condução e a tensão na carga acompanha a tensão da parte inferior do secundário.



As formas de onda das tensões no circuito são mostradas nos gráficos a seguir.

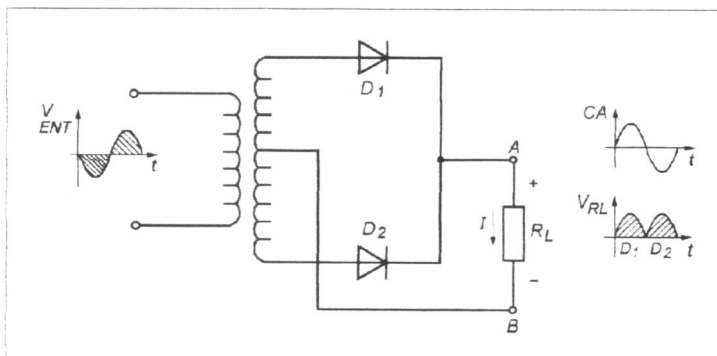


As formas de onda das correntes são:



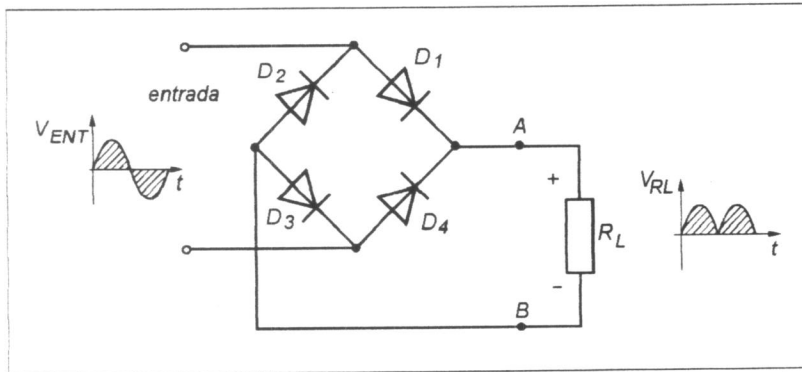
Analisando um ciclo completo da tensão de entrada, verifica-se que o circuito retificador entrega dois semiciclos de tensão sobre a carga:

- Um semiciclo da extremidade superior do secundário através da condução de  $D_1$ ;
- Um semiciclo da extremidade inferior do secundário através da condução de  $D_2$ .



### Retificação de onda completa em ponte

A retificação de onda completa em ponte utiliza quatro diodos e entrega à carga uma onda completa sem que seja necessário utilizar um transformador de derivação central.

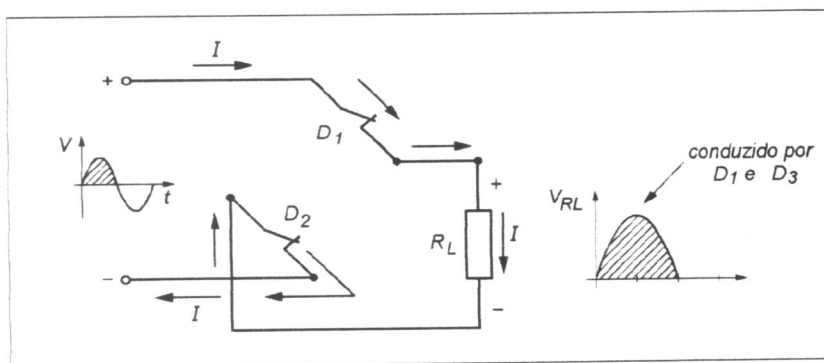


### Funcionamento

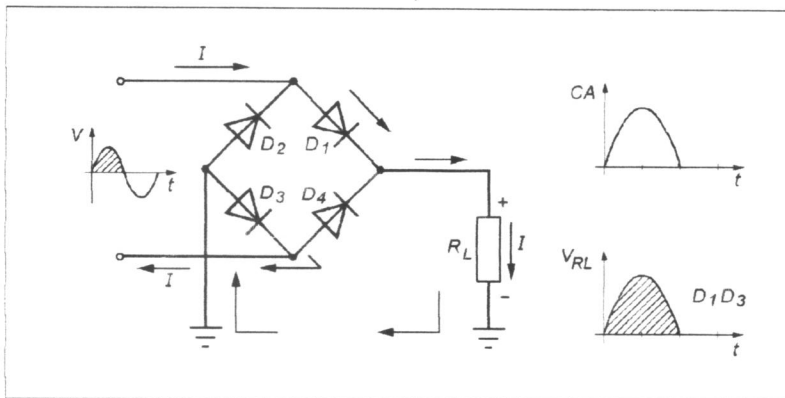
Considerando a tensão positiva (primeiro semiciclo) no terminal de entrada superior, teremos as seguintes condições de polarização dos diodos:

- $D_1 \Rightarrow$  anodo positivo em relação ao catodo (polarização direta) - **em condução**;
- $D_2 \Rightarrow$  catodo positivo em relação ao anodo (polarização inversa) - **em bloqueio**;
- $D_3 \Rightarrow$  catodo negativo em relação ao anodo (polarização direta) - **em condução**;
- $D_4 \Rightarrow$  anodo negativo em relação ao catodo (polarização inversa) - **em bloqueio**.

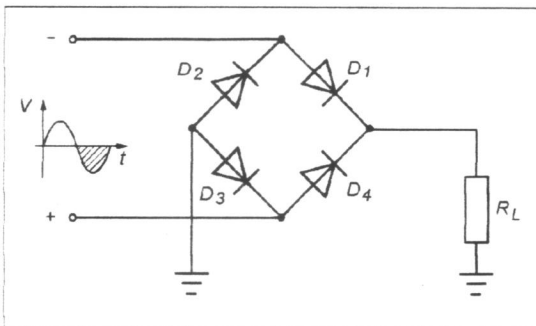
Eliminando-se os diodos em bloqueio, que não interferem no funcionamento, verifica-se que  $D_1$  e  $D_3$  (em condução) fecham o circuito elétrico, aplicando a tensão do primeiro semiciclo sobre a carga.



Observe no circuito a seguir, como a corrente flui no circuito no primeiro ciclo.



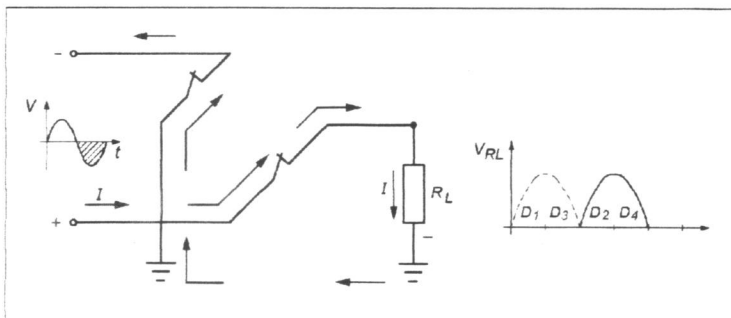
No segundo semiciclo, ocorre uma inversão da polaridade nos terminais de



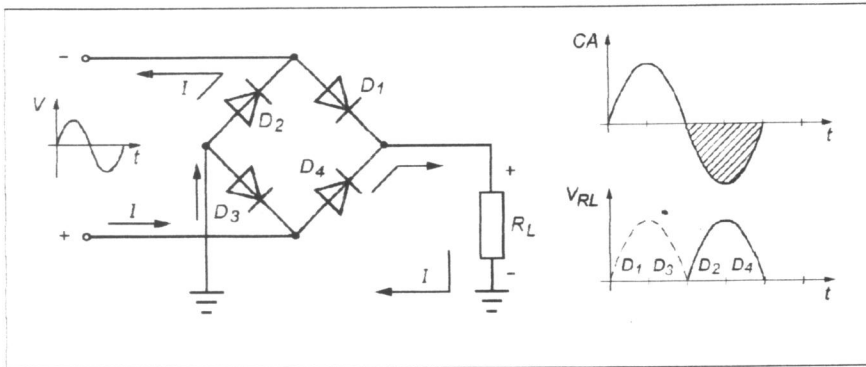
Nessa condição, a polaridade dos diodos apresenta a seguinte configuração:

- $D_1$  - anodo negativo em relação ao catodo (polarização inversa) - **em bloqueio**;
- $D_2$  - catodo negativo em relação ao anodo (polarização direta) - **em condução**;
- $D_3$  - catodo positivo em relação ao anodo (polarização inversa) - **em bloqueio**;
- $D_4$  - anodo positivo em relação ao catodo (polarização direta) - **em condução**.

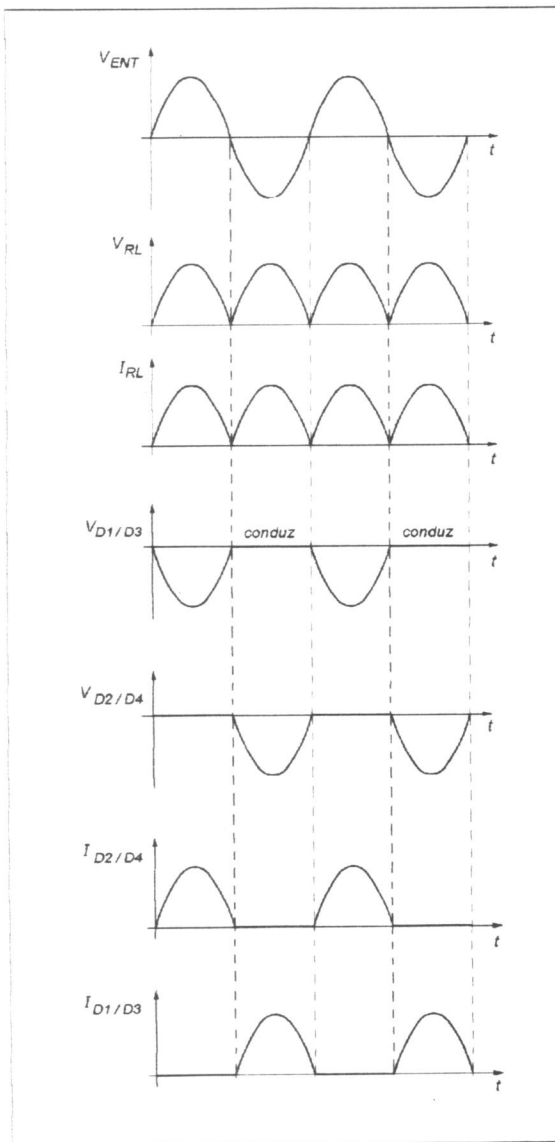
Eliminando-se os diodos em bloqueio e substituindo-se os diodos em condução por circuitos equivalentes ideais, obtêm-se o circuito elétrico fechado por  $D_2$  e  $D_4$  que aplica a tensão de entrada sobre a carga. Isso faz a corrente circular na carga no mesmo sentido que no primeiro semiciclo.



Recolocando-se os diodos no circuito, observa-se a forma como a corrente circula.



Os gráficos a seguir mostram as formas de onda do circuito.





## Fator de ripple

Como já vimos, a tensão contínua fornecida por um circuito retificador é pulsante, ou seja, não possui um nível constante no tempo. Isso acontece porque a tensão de saída é resultante da soma de uma componente contínua ( $V_{CC}$ ) e uma componente alternada ( $V_{CA}$ ) responsável pela ondulação do sinal.

Essa ondulação é denominada de fator de *ripple* (que significa “ondulação” em inglês). Ela corresponde a quantas vezes o valor eficaz da componente alternada é maior que a componente contínua sobre a carga.

Esse valor é dado por:

Onde:

$r$  é o fator de ripple;

$$r = \frac{V_{CAef}}{V_{CC}}$$

$V_{CAef}$  é o valor da tensão alternada eficaz; e

$V_{CC}$  é o valor da tensão contínua.

Para a retificação de meia-onda, o fator de *ripple* é:

$$r\% = 120\%$$

Para a retificação de onda completa, o fator de *ripple* é:

$$r\% = 48\%$$

Esses dados mostram que a porcentagem de ondulação é muito alta e esse é um dos grandes inconvenientes desse tipo de circuito.



# Diodos especiais

Desde o descobrimento da junção semicondutora PN, muitos estudos têm sido realizados com os materiais semicondutores, em busca de novos componentes.

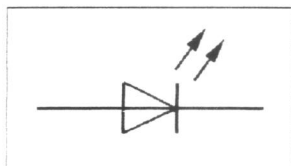
O diodo emissor de luz (LED) é um dos componentes descobertos através dessas pesquisas. Atualmente, na grande maioria dos aparelhos eletrônicos, as lâmpadas de sinalização estão sendo substituídas por esse componente semicondutor capaz de emitir luz.

O outro componente foi o diodo zener que veio atender à necessidade de utilização de dispositivos reguladores de tensão surgida com a crescente sofisticação dos equipamentos eletrônicos.

O presente capítulo tratará do LED e do diodo zener. Para ter sucesso no desenvolvimento dos conteúdos e atividades aqui apresentados, é necessário ter conhecimentos relativos a diodo semicondutor, curvas características e à polarização dos diodos semicondutores.

## Diodo emissor de luz

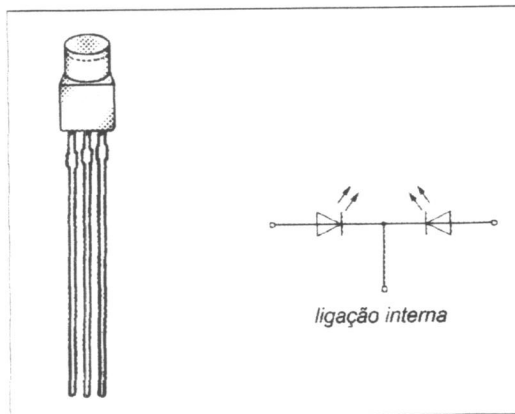
O diodo emissor de luz ou LED, do inglês light emitting diode, é um tipo especial de diodo semicondutor que **emite luz** quando é polarizado diretamente. O símbolo gráfico do LED é definido pela NBR 12526/92, e está apresentado a seguir.



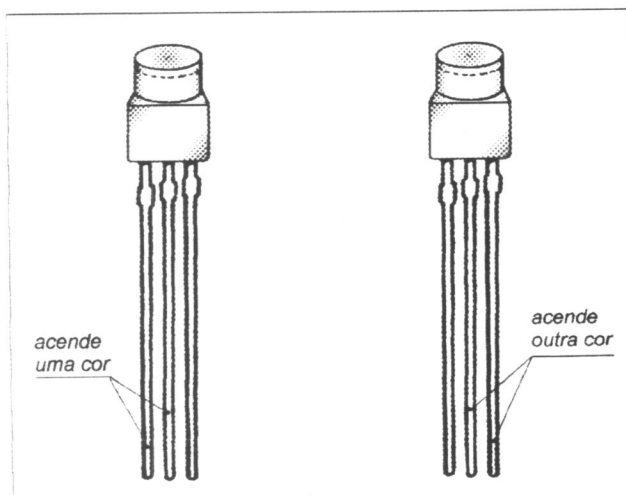
O LED é fabricado com uma combinação de elementos como o arsênio (AS), o gálio (Ga), que formam o arseneto de gálio e o fósforo (P). Dependendo da quantidade de fósforo depositada, eles poderão irradiar luz visível vermelha, amarela ou verde, que são as mais comuns, embora também possam ser encontrados os LEDs que irradiam luz laranja ou azul.

Há LEDs que emitem luz invisível ao olho humano, ou seja, a luz infravermelha e a luz ultravioleta.

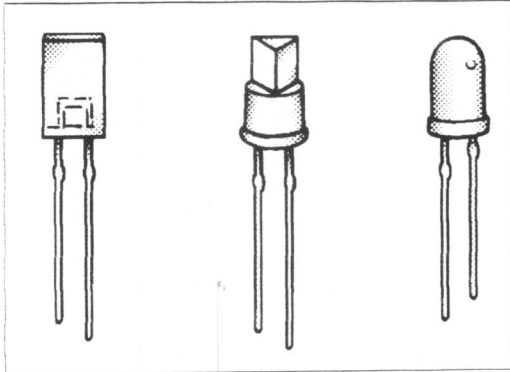
Outros emitem duas cores diferentes. São os LEDs **bicolores** que consistem de dois LEDs de cores diferentes encapsulados dentro de uma mesma cápsula de três terminais.



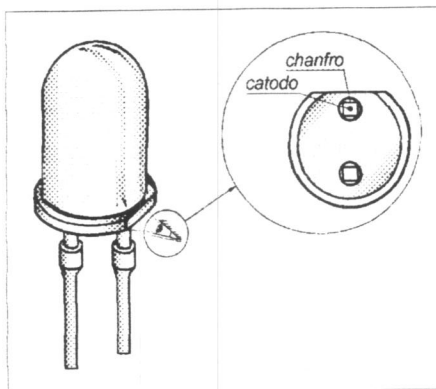
Um dos terminais é comum aos dois LEDs. Para que o componente irradie a cor desejada, basta polarizar diretamente o LED dessa cor.



Os LEDs são encontrados nas mais diversas formas e dimensões. Veja alguns exemplos na ilustração a seguir.



O catodo do LED é identificado por um "corte" (ou chanfro) na base do encapsulamento, ou pelo terminal menor.



O LED apresenta as seguintes vantagens:

pequena tensão de alimentação (2 V) e baixo consumo (20 mA);

- Tamanho reduzido;
- Nenhum aquecimento;
- Alta resistência a vibrações;
- Grande durabilidade.

### Funcionamento

Quando o LED é **polarizado diretamente**, entra em condução. Isso permite a circulação da corrente que se processa pela liberação dos portadores livres na estrutura dos cristais.



---

# Fontes de alimentação reguladas

A partir de sua descoberta, o transistor popularizou-se muito rapidamente como substituto da válvula e passou a ser empregado na grande maioria dos circuitos eletrônicos.

Paralelamente à substituição das válvulas, novas aplicações foram descobertas para o transistor.

Uma destas aplicações é a construção de fontes de alimentação reguladas à base de transistores que hoje são utilizadas na maioria dos circuitos eletrônicos.

Para ter sucesso no desenvolvimento dos conteúdos e atividades deste capítulo, você deverá ter conhecimentos relativos a fontes de alimentação com filtro, regulação de tensão com diodo zener e relações entre parâmetros do transistor bipolar.

Este capítulo tratará do princípio de funcionamento das fontes reguladas a transistores e o uso de transistores em configuração darlington.

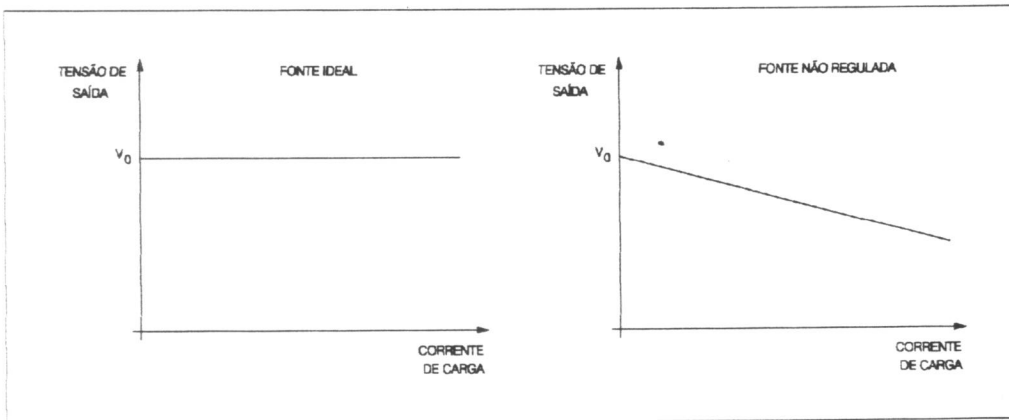
## **Regulação de tensão em fontes de alimentação**

A necessidade de projetar e montar fontes reguladas de boa qualidade provém do fato que as fontes não-reguladas nem sempre atendem aos requisitos necessários para todos os usos.

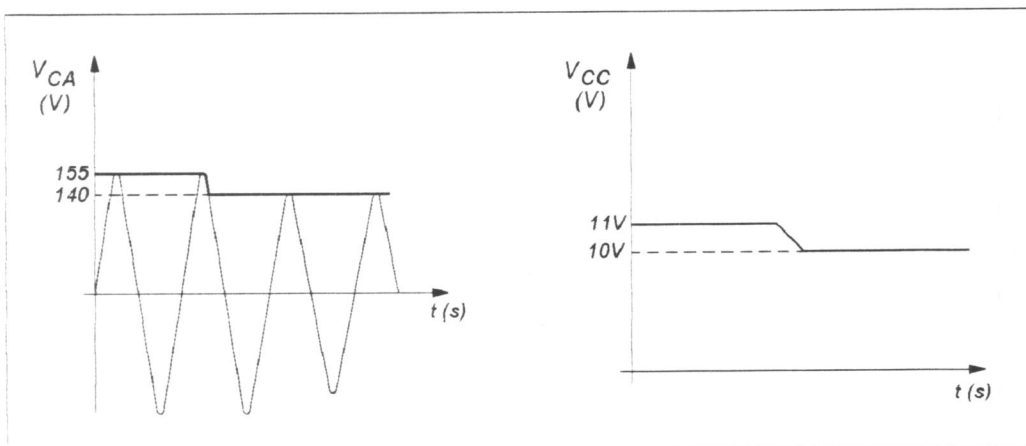
Existem duas razões para isso:

- Regulação pobre e
- Estabilização pobre.

Como resultado de uma **regulação pobre**, tem-se uma variação na tensão de saída quando a carga varia. Veja gráficos comparativos a seguir.



Nas fontes não-reguladas, as variações de tensão de entrada (na rede CA) provocam variações proporcionais na tensão de saída e o resultado é uma **estabilização pobre**.

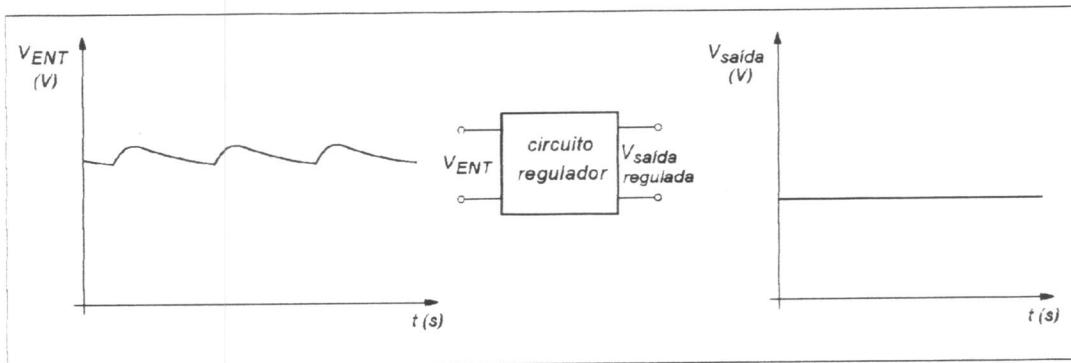


### Circuitos reguladores de tensão

Existem circuitos eletrônicos cuja finalidade é melhorar o desempenho das fontes de alimentação, fornecendo um valor preestabelecido de tensão de saída, independentemente das variações que ocorrem na corrente de carga na tensão da linha de alimentação CA.



Normalmente, estes circuitos são denominados de **reguladores de tensão**, embora sejam, na realidade, reguladores e estabilizadores de tensão.



### Observação

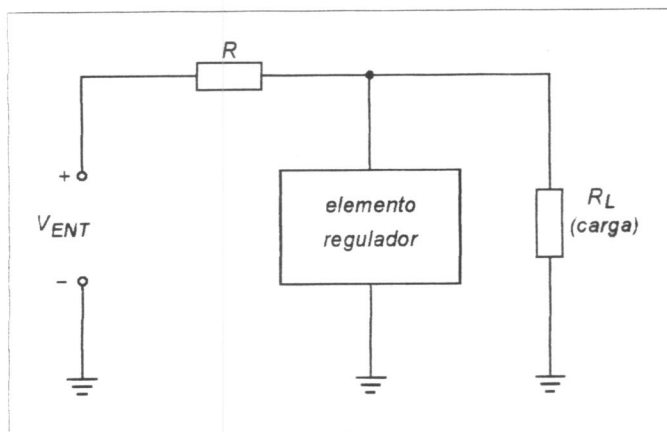
Deve-se sempre considerar que não existe um sistema regulador de tensão perfeito. As variações na tensão de entrada sempre provocam pequenas alterações na tensão de saída. Os sistemas reguladores devem funcionar de tal forma que as variações na tensão de saída sejam as menores possíveis.

### Classificação dos circuitos reguladores

Os circuitos reguladores são classificados em dois grupos, segundo a posição do elemento regulador em relação à carga:

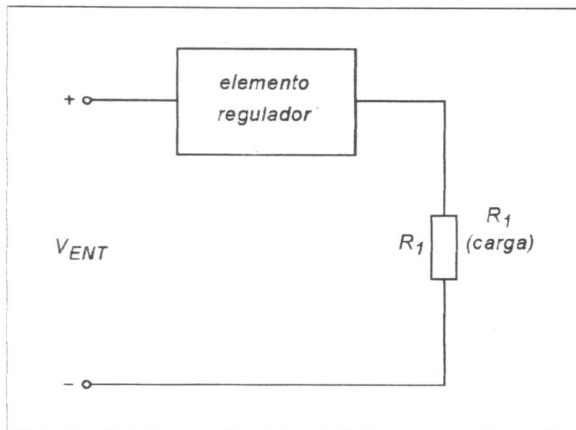
- Regulador paralelo;
- Regulador série.

Um circuito regulador é considerado **paralelo** quando o elemento regulador é colocado em paralelo com a carga.



Um exemplo típico de regulação paralela é aquela que utiliza o diodo zener como elemento regulador. Na prática, esse tipo de circuito só é utilizado quando a corrente de carga é bastante reduzida.

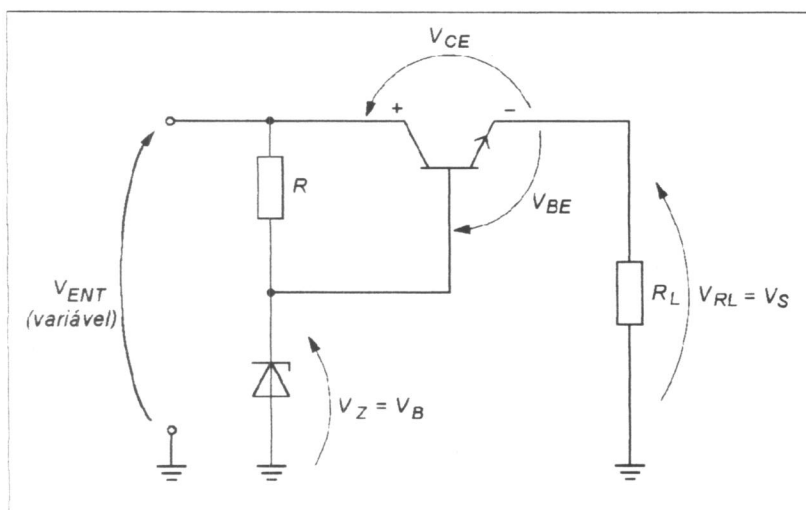
Um circuito regulador é classificado como sendo **série** quando o elemento regulador é colocado em série com a carga.



Na regulação série, as variações de tensão da entrada são absorvidas pelo elemento regulador, e uma tensão de saída praticamente constante é entregue à carga. Nesse tipo de circuito, apenas o elemento regulador dissipa potência.

### Regulação série com transistor

Os reguladores de tensão do tipo série com transistor são largamente empregados na alimentação de circuitos eletrônicos devido a sua boa capacidade de regulação.



A associação diodo zener-resistor, ligada à tensão de entrada, permite a obtenção de uma tensão constante ( $V_Z$ ), independentemente das variações da tensão de entrada. A tensão constante do diodo zener é aplicada à base do transistor, ou seja, a tensão de base do transistor é estabilizada no valor  $V_Z$ , sendo  $V_Z = V_B$

Como a carga está ligada ao emissor do transistor, a tensão sobre ela ( $V_{RL}$ ) será a tensão aplicada à base ( $V_Z$ ) menos a queda na junção base-emissor ( $V_{BE}$ ):

$$V_{RL} = V_B - V_{BE} \text{ ou } V_S = V_Z - V_{BE}$$

A diferença entre a tensão de entrada ( $V_{ENT}$ ) e a tensão de carga ( $V_{RL}$ ) fica entre coletor e emissor do transistor ( $V_{CE}$ ) que atua como elemento regulador.

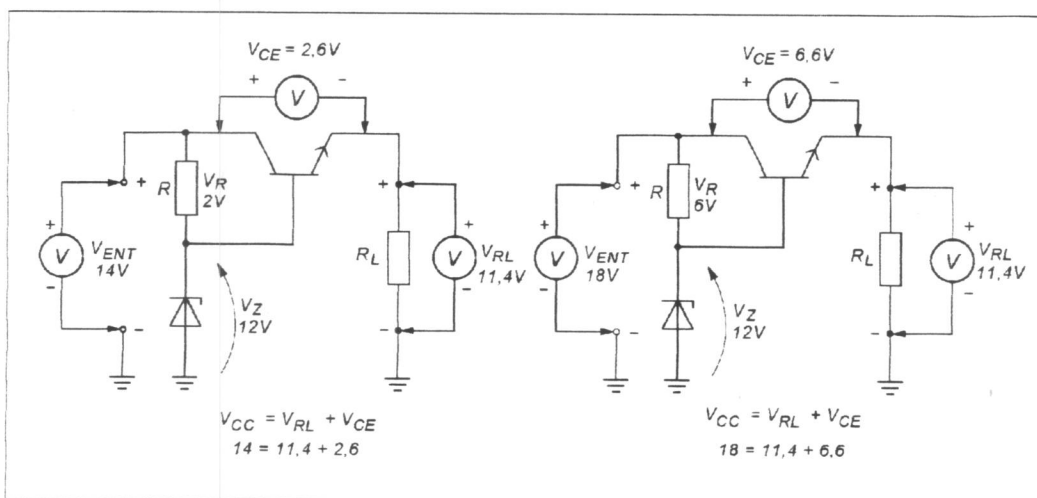
$$V_S = V_{ENT} - V_{CE}$$

Observe que qualquer variação da tensão de entrada não é transferida para a saída, pois a tensão de base do transistor está estabilizada pelo zener.

### Análise do circuito

No circuito regulador série com transistor pode ser analisado sob dois pontos de vista: o das **tensões** e o das **correntes**. A tensão aplicada à base pode ser considerada constante (mantida pelo diodo zener) de forma que a tensão sobre a carga também se mantém constante (0,7 V ou 0,3 V menor que  $V_Z$ ).

As variações nas tensões de entrada são assimiladas pelo transistor através de uma modificação na tensão entre o coletor e o emissor ( $V_{CE}$ ). No exemplo a seguir, é apresentada a análise do comportamento **das tensões** no regulador com transistor.

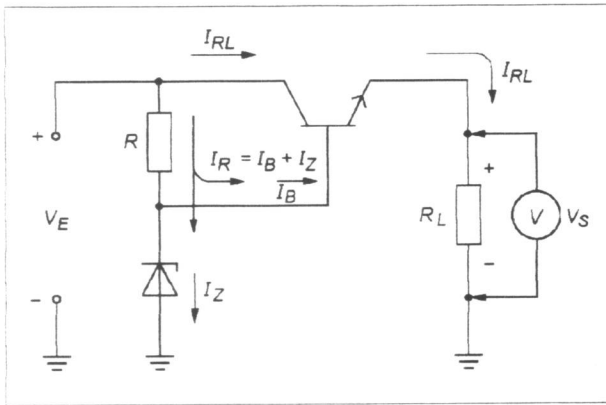


Nesses circuitos, a tensão de entrada sempre é maior que a tensão de saída. Isto é necessário para que a tensão coletor-emissor ( $V_{CE}$ ) varie sem provocar alteração na saída do circuito.

Em geral, a tensão de entrada deve ser aproximadamente 50% maior do que a tensão regulada necessária na saída, desde que  $V_{CE}$  seja maior do que 3 V.

Outra análise que se pode fazer nesse circuito é a análise do comportamento das correntes que mostra a forma como o circuito regulador reage às modificações da corrente de carga.

Tomando como base uma condição inicial, com uma carga estabelecida, as correntes do circuito são as mostradas na figura a seguir.



Como  $I_B$  é desprezível, pode-se considerar  $I_{RL} \cong I_E \cong I_C$ , ou seja, a corrente de coletor é praticamente igual à corrente de carga.

A corrente de base, necessária para que o transistor forneça a corrente de carga, é proveniente do circuito resistor-zener ( $R - D_Z$ ).

Quando a carga varia (exigindo maior ou menor corrente), a corrente de coletor se modifica. Com a modificação na corrente de coletor, a base passa a absorver outro valor de corrente.

$$\begin{array}{l}
 I_{RL} \uparrow \rightarrow \uparrow I_C \text{ Como } I_C = \beta \cdot I_B \rightarrow \uparrow I_B \\
 I_{RL} \downarrow \rightarrow \downarrow I_C \text{ Como } I_C = \beta \cdot I_B \rightarrow \downarrow I_B
 \end{array}$$

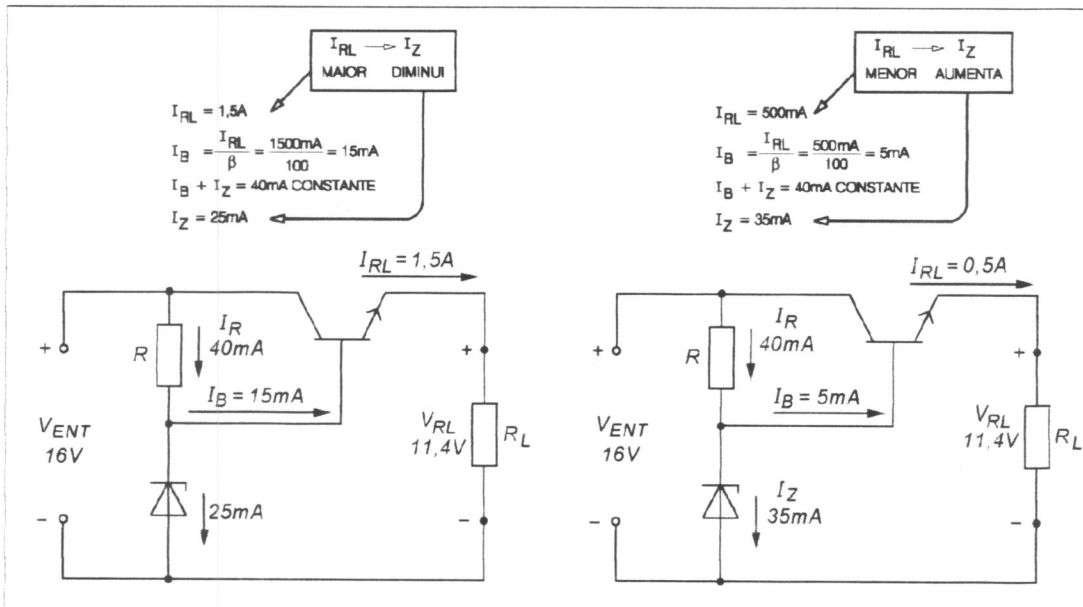
Considerando a corrente do resistor R ( $I_R = I_B + I_Z$ ) com valor constante, verifica-se que:

- Se  $I_B$  aumenta,  $I_Z$  diminui;
- Se  $I_B$  diminui,  $I_Z$  aumenta;

De forma que  $I_B + I_Z$  tenha um valor constante.

Cabe ao diodo zener absorver o excesso de corrente ou fornecer uma corrente extra à base do transistor, conforme a situação de carga do circuito.

Na figura a seguir é apresentada a análise das correntes do regulador série com transistor com  $\beta = 100$ , nos casos em que a corrente de carga aumenta e diminui 0,5 A em relação ao valor de referência de 1 A e no qual  $I_Z = 30$  mA. Observe que a tensão de entrada do regulador é constante (16 V)



Nos circuitos reguladores série, a condição fundamental para que a tensão de saída permaneça constante é a regulação de tensão no diodo zener. A tensão zener não deve variar com as modificações da carga ou da tensão de entrada.

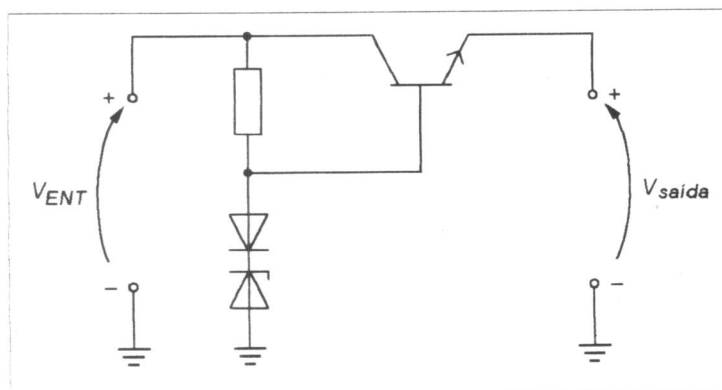
Compensação da tensão  $V_{BE}$

A tensão de saída dos circuitos reguladores tipo série é dada pela expressão

$$V_S = V_Z - V_{BE}$$

Isto significa que a tensão de saída sempre é um pouco menor que a tensão do diodo zener.

Para compensar esta perda de tensão na junção base-emissor, pode-se acrescentar um diodo (no sentido da condução) em série com o diodo zener. Essa configuração com o diodo de compensação é apresentada na figura que segue.



Com a colocação do diodo, a tensão aplicada à base do transistor passa a ser

$$V_B = V_Z + V_{D1}$$

Utilizando um diodo de mesmo tipo do transistor (germânio ou silício), o acréscimo de tensão na base compensará a queda de tensão na junção base-emissor:

$$V_S = (V_Z + V_{D1}) - V_{BE}$$

Como  $V_{D1}$  tem o mesmo valor de  $V_{BE}$ , obtém-se:

$$V_S = V_Z + V_{D1} - V_{BE} \qquad V_S - V_Z$$

### Dissipação de potência no circuito regulador série

Os circuitos reguladores de tensão sempre apresentam componentes que dissipam potências elevadas em forma de calor.

Nos circuitos reguladores série, o componente sujeito à dissipação elevada é o transistor. A potência dissipada no transistor é o produto da corrente de coletor pela diferença de tensão entre a entrada e a saída:

$$P_T = I_C \cdot (V_{ENT} - V_S)$$

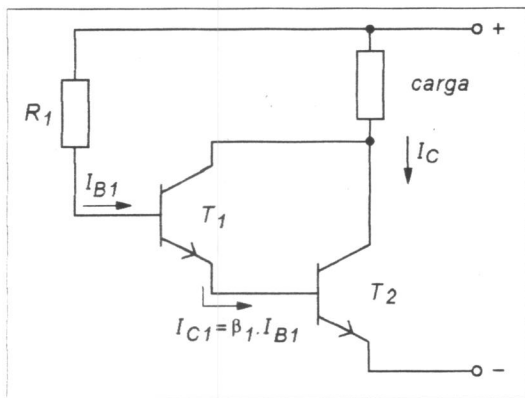
Como  $V_{ENT} - V_S = V_{CE}$ ,

$$P_T = I_C \cdot V_{CE}$$

Em geral, os transistores usados nos circuitos reguladores são de potência, dimensionados de forma que a dissipação real não provoque o disparo térmico e a inutilização do componente.

### Configuração Darlington

A configuração darlington corresponde a uma forma de ligação entre dois transistores que adquire características singulares. Veja circuito a seguir.



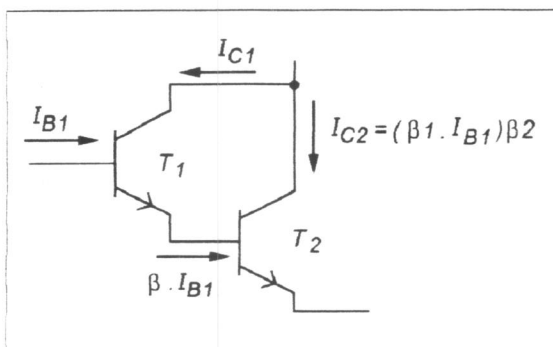
Nele, o resistor  $R_1$  fornece uma corrente de base  $I_{B1}$  ao transistor  $T_1$ . Essa corrente é amplificada por  $T_1$  e gera uma corrente de coletor ( $I_{C1}$ ) com valor igual a  $I_{B1} \cdot \beta_1$ . Admitindo-se que  $I_{E1} \cong I_{C1}$ , conclui-se que  $I_{E1} \cong I_{B1} \cdot \beta_1$ .

A corrente  $I_{E1}$  é aplicada à base de ( $I_{E1} = I_{B2}$ ). O transistor  $T_2$  amplifica esta corrente de base gerando uma corrente na carga que corresponde a  $I_{C2} = I_{B2} \cdot \beta_2$ , ou seja:

$$I_{C2} = I_{B2} \cdot \beta_2$$

$$I_{C2} = I_{E1} \cdot \beta_2$$

$$I_{C2} = (I_{B1} \cdot \beta_1) \cdot \beta_2$$



Como a corrente de carga ( $I_{RL}$ ) é a soma das correntes dos coletores:

$$I_{RL} = I_{C1} + I_{C2}$$

$$I_{RL} = I_{B1} \cdot \beta_1 + (I_{B1} \cdot \beta_1) \cdot \beta_2$$

$$I_{RL} = I_{B1} \beta_1 (1 + \beta_2)$$

Considerando  $1 + \beta_2 \cong \beta_2$ , tem-se:

$$I_{RL} = I_{B1} \beta_1 \cdot \beta_2$$

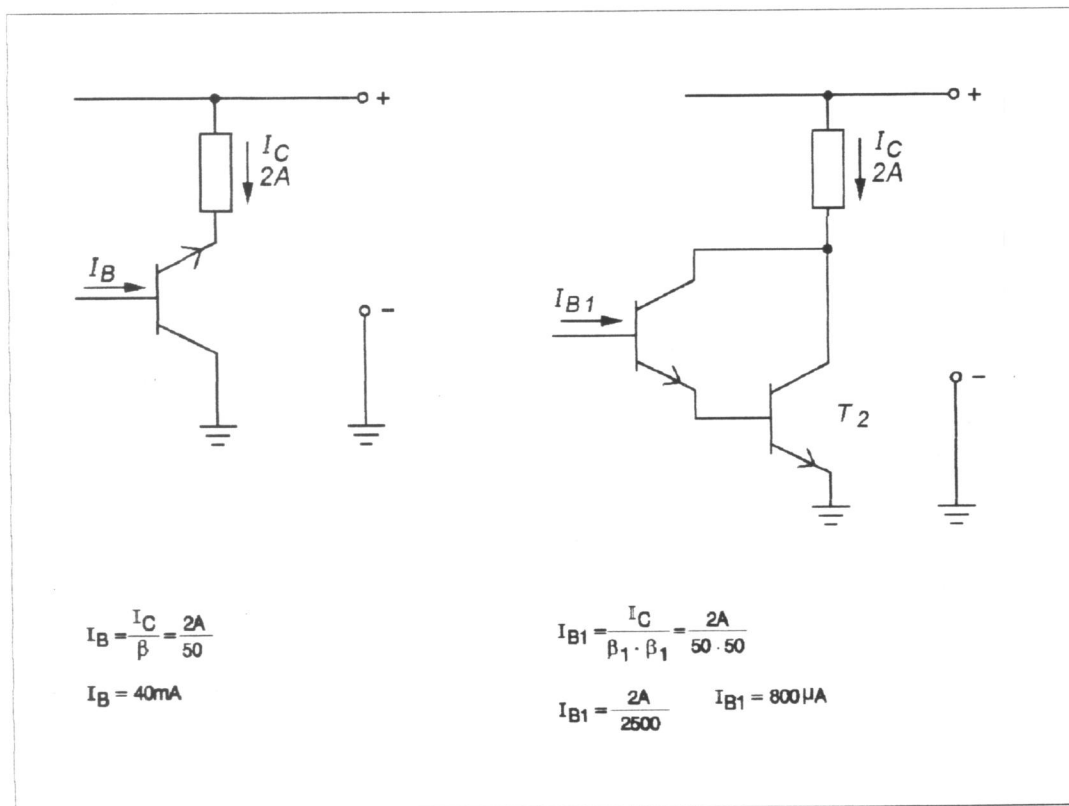
Operando a equação de tal forma a obter  $I_{B1}$ , tem-se:

$$I_{B1} = \frac{I_{RL}}{\beta_1 \cdot \beta_2}$$

Isso significa que uma carga de grande corrente pode ser controlada através de uma corrente centenas ou milhares de vezes menor.

A seguir são apresentados dois exemplos de acionamento de uma carga de 2 A através de:

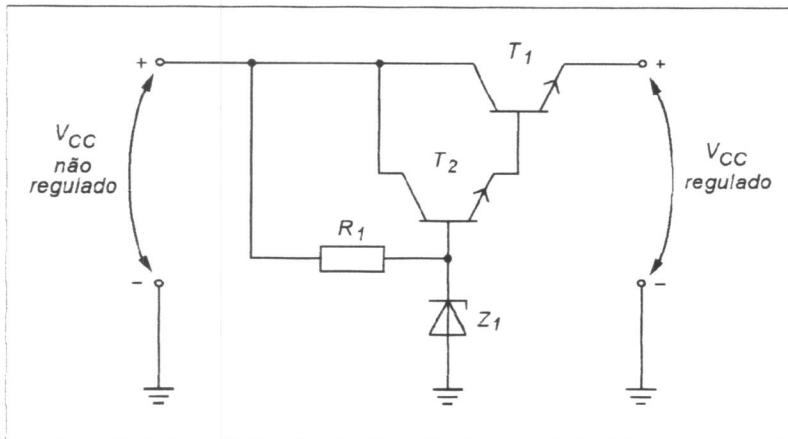
- Um transistor com  $\beta = 50$ ;
- Dois transistores de  $\beta = 50$  em configuração darlington.





Pelos resultados, verifica-se que a corrente de base na entrada do regulador é muito menor com a configuração darlington.

A figura a seguir mostra o diagrama de uma fonte regulada simples que usa transistores ligados na configuração darlington com os diodos de compensação  $V_{BE}$ .



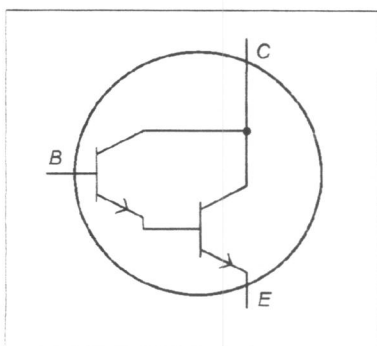
Como vantagens fundamentais dessa configuração, temos:

- As variações de corrente no zener em função da carga são menores, o que aumenta a estabilidade da tensão de saída;
- Menor dissipação no zener.

Deve-se levar em conta que se não houver os diodos de compensação ( $D_1$  e  $D_2$ ), a tensão de saída será:

$$V_S = V_Z - (V_{BE1} + V_{BE2}).$$

A configuração darlington também está disponível no mercado em um único encapsulamento de transistor.



### Observação

Alguns desses transistores possuem um diodo entre emissor e coletor, e a única forma de identificar transistores com essa configuração é através da consulta ao manual do fabricante.

### Reguladores em circuitos integrados

Existem circuitos integrados que fazem toda a regulação da tensão de saída de uma fonte de CC de forma simples e muito eficiente. Esses circuitos integrados reguladores ou estabilizadores de tensão podem fornecer uma tensão de saída **fixa** ou **variável**.

O regulador de tensão com **saída fixa** mais utilizado é o de três terminais com encapsulamento TO-220 da família 78XX e 79XX. O prefixo 78 indica regulador de tensão **positiva** e o 79 identifica o regulador de tensão **negativa**.

Ele possui limitação interna de corrente, área de segurança de compensação de temperatura e proteção contra curto-circuito na saída. Se for usado com dissipador de calor adequado, pode fornecer à carga corrente superior a 1 A.

O regulador de tensão de saída **variável** mais popular é o LM 317.

Os dados sobre esses componentes são encontrados nos data books e manuais dos respectivos fabricantes.

---

# Transistor bipolar

A descoberta do transistor revolucionou o campo da eletrônica. A partir dessa descoberta, o desenvolvimento da eletrônica se tornou cada vez mais rápido. Mesmo com o aparecimento dos circuitos integrados e dos microprocessadores, o transistor ainda tem um lugar de destaque. Suas aplicações se estendem a milhares de circuitos com as mais diversas finalidades e utilizações.

Neste capítulo, serão estudadas as características do transistor bipolar e seu funcionamento. Para adquirir esses conhecimentos com mais facilidade, é necessário ter conhecimentos anteriores sobre materiais semicondutores, junções semicondutoras, movimento de portadores dentro de cristais semicondutores, lei de Ohm e leis de Kirchhoff.

## Transistor



O termo transistor vem da expressão em inglês "transfer resistor" que **significa resistor de transferência**. É um componente que apresenta resistência (impedância) variável entre dois terminais. Essa resistência é controlada por um terceiro terminal.

Por sua característica controladora de corrente, o transistor pode ser usado como amplificador de sinais ou como "interruptor eletrônico" em aplicações como equipamentos de som, imagem, controles industriais, máquinas, calculadoras, computadores.

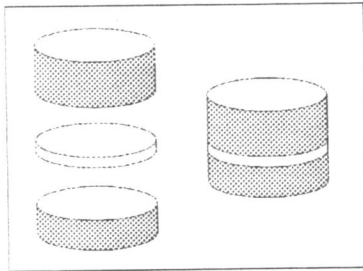
Para realizar esse trabalho, existem alguns tipos de transistores:

- Transistor bipolar (NPN ou PNP);
- Transistor de unijunção (UJT);
- Transistor de efeito de campo (FET e MOS-FET);

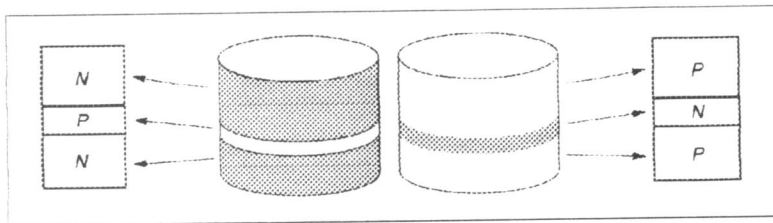
### Transistor bipolar

O transistor bipolar é o mais comum e também o mais usado. Sua estrutura básica se compõe de duas pastilhas de material semiconductor do mesmo tipo.

Entre essas pastilhas é colocada uma terceira, bastante fina, de material diferente, formando uma configuração semelhante a um sanduíche.



A configuração da estrutura do transistor bipolar permite que se obtenham dois tipos distintos de transistores bipolares: NPN e PNP.



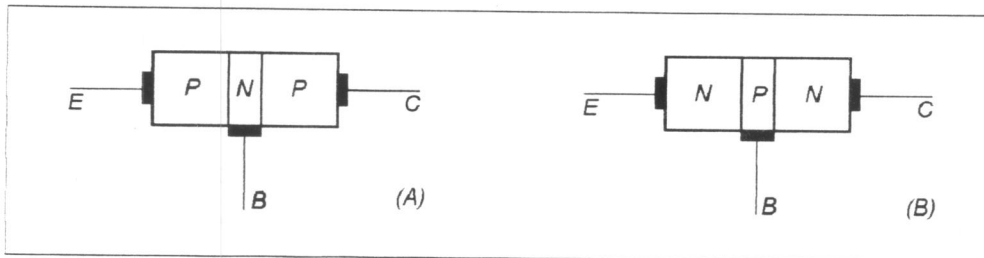
Os dois tipos de transistores podem cumprir as mesmas funções diferindo apenas na forma como as fontes de alimentação são ligadas ao circuito eletrônico.

### Terminais do transistor bipolar

Cada uma das pastilhas que formam o conjunto, recebe terminal para que o componente possa ser conectado ao circuito eletrônico. Cada terminal recebe uma designação para que se possa distinguir cada uma das pastilhas.

Assim, a pastilha central é denominada **base** e representada pela letra **B**. Uma das pastilhas externas é denominada de **coletor** e é representada pela letra **C**. A outra pastilha externa é denominada **emissor** e é representada pela letra **E**.

A figura a seguir apresenta os dois tipos de transistores com a identificação dos terminais.



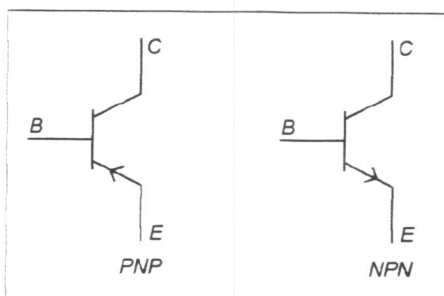
Embora as pastilhas do coletor e do emissor sejam do mesmo tipo de material semicondutor, existe diferença de volume de material semicondutor e de intensidade de dopagem entre as pastilhas.

O **emissor é densamente dopado**, enquanto que a **base é levemente dopada**. O **coletor possui maior volume** e, por isso, dissipa mais potência; a intensidade de sua dopagem é intermediária em relação à dopagem das outras duas pastilhas.

Por esse motivo, as ligações do coletor e do emissor no circuito eletrônico não são intercambiáveis.

### Símbolos

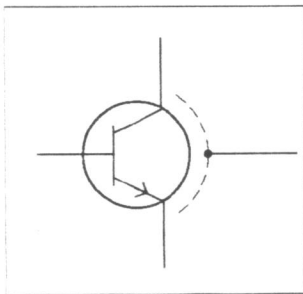
A norma NBR 12526/92 define o **símbolo gráfico** do transistor. A figura a seguir apresenta os símbolos dos transistores **NPN e PNP**, indicando a designação dos terminais. A diferença entre os símbolos dos dois transistores está apenas no sentido da seta do terminal emissor.



Alguns transistores, fabricados para aplicações específicas, são dotados de blindagem.

Essa blindagem consiste em um invólucro metálico ao redor das pastilhas semicondutoras, cuja função é evitar que o funcionamento do transistor seja afetado por campos elétricos ou magnéticos do ambiente.

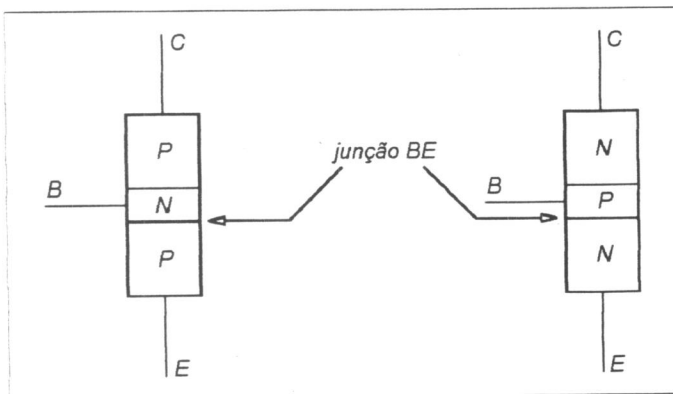
Esses transistores apresentam um quarto terminal ligado à blindagem para que possa ser conectada ao terra do circuito eletrônico. O símbolo gráfico desse tipo de transistor é apresentado a seguir.



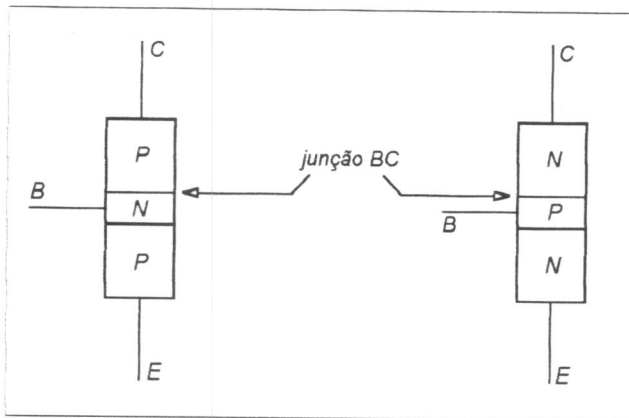
### Tensões nos terminais do transistor

O funcionamento do transistor baseia-se no movimento dos elétrons livres e das lacunas em seu interior e que são provocados pela aplicação de tensões externas ao coletor, à base e ao emissor. Esse movimento está ligado a polaridade da tensão aplicada a cada um desses terminais e é diferente para transistores NPN e PNP.

A estrutura física do transistor propicia a formação de duas junções entre cristais P e N: uma junção PN entre o cristal da base e o cristal do emissor, é chamada de junção base-emissor (BE).

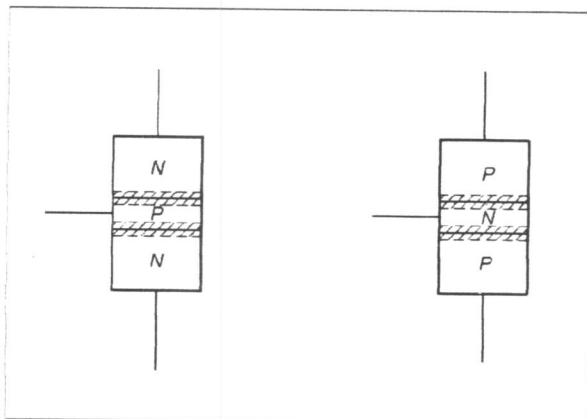


Uma junção PN entre o cristal da base e o cristal do coletor, é chamada de junção base-coletor.



Quando as três pastilhas semicondutoras são unidas, ocorre um processo de difusão dos portadores. Como no diodo, esse processo de difusão dá origem a uma barreira de potencial em cada junção.

Portanto, no transistor, existem duas barreiras de potencial que se formam com a junção do cristal: a barreira de potencial na junção base-emissor e a barreira de potencial na junção base-coletor.



### Observação

As três regiões do transistor possuem diferentes níveis de dopagem. Por isso, as camadas de depleção não possuem a mesma largura.

Quanto mais densamente dopada for a região, maior será a concentração de íons próximo da junção.

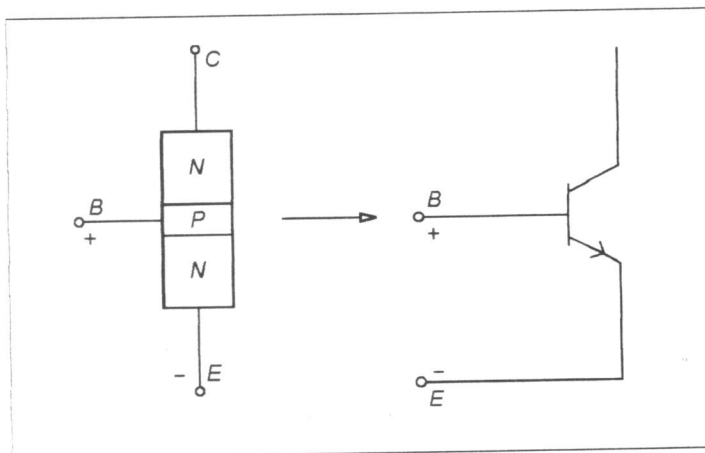
Isso significa que a camada de depleção penetra levemente na região do emissor (dopagem densa), porém profundamente na base (dopagem leve).

O mesmo acontece entre base e coletor. A camada de depleção do emissor é pequena e a do coletor, grande.

### Polarização na junção base-emissor

Na condição normal de funcionamento, denominada de funcionamento na **região ativa**, a junção **base-emissor** é polarizada **diretamente**.

A condução da junção base-emissor é provocada pela aplicação de tensão entre base e emissor com polaridade correta, ou seja, polaridade positiva no material P e negativa no material N, para um transistor do tipo NPN.

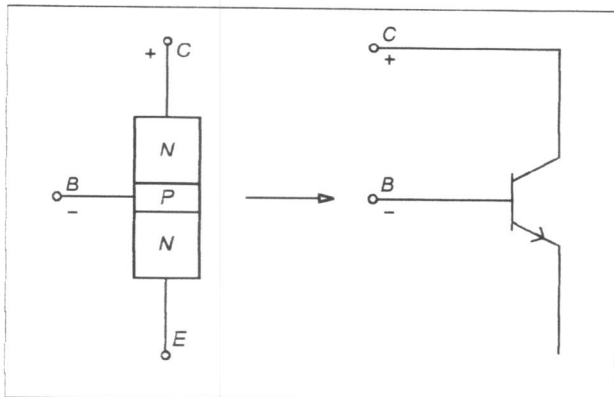


### Polarização na junção base-coletor

Na **região ativa** de funcionamento, a junção **base-coletor** é polarizada **inversamente**.



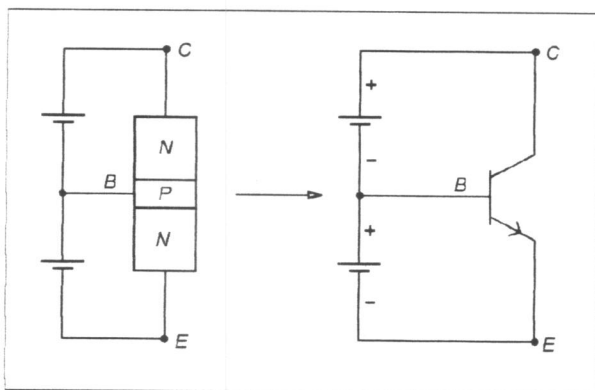
O bloqueio da junção base-coletor é provocado pela aplicação de tensão externa entre base e coletor, com polaridade adequada, ou seja, polaridade positiva no material N e negativa no material P, para um transistor NPN.



### Polarização simultânea das duas junções

Para que o transistor funcione corretamente, as duas junções devem ser polarizadas ao mesmo tempo.

Isso é feito aplicando-se duas tensões externas entre os terminais do transistor.

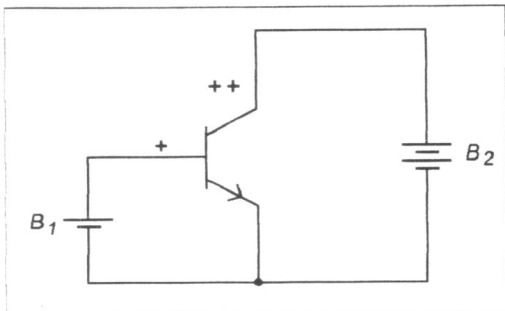


### Observações

As baterias representam as tensões de polarização.

Para que um transistor PNP funcione na região ativa, basta inverter as polaridades das fontes entre as junções

Outra configuração de baterias para a polarização correta das junções também pode ser usada:

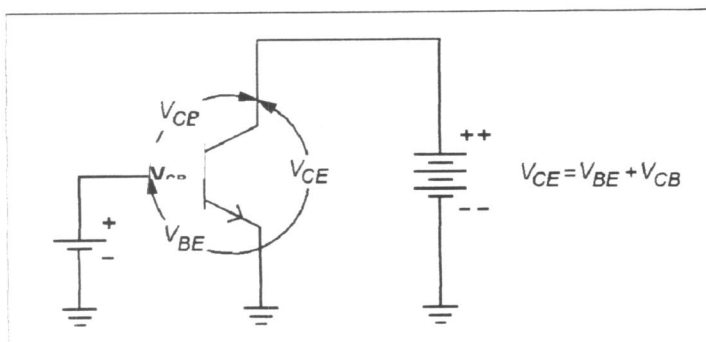


No diagrama:

- A bateria  $B_1$  polariza diretamente a junção base-emissor.
- A bateria  $B_2$  aplica uma tensão positiva ao coletor. Essa tensão é maior que a tensão positiva da base, de forma que a junção base-coletor fica polarizada inversamente.

A alimentação simultânea das duas junções, através das baterias externas, dá origem a três tensões entre os terminais do transistor:

- Tensão de base a emissor ( $V_{BE}$ )
- Tensão de coletor à base ( $V_{CB}$ )
- Tensão de coletor a emissor ( $V_{CE}$ )



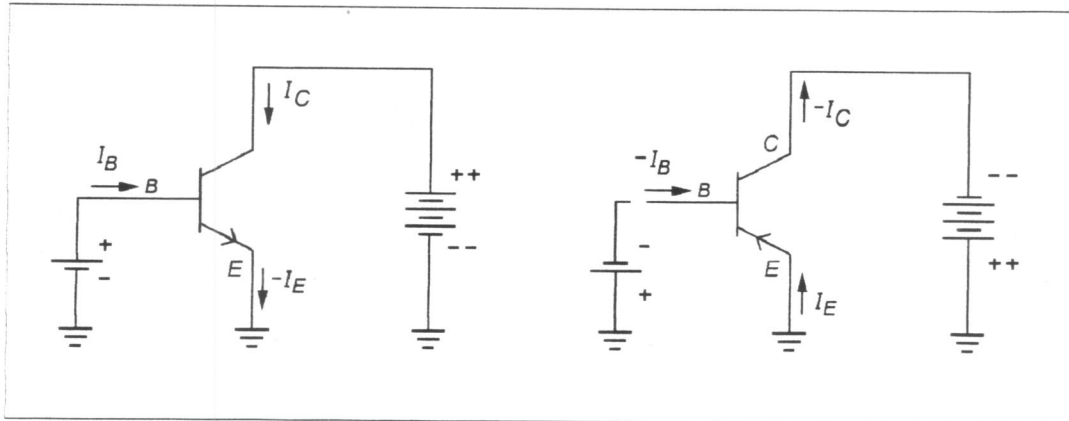
### Observação

Para o transistor PNP, a regra também é válida com a diferença que a polaridade das baterias de polarização é invertida.

## Princípio de funcionamento

O movimento dos portadores livres dá origem a três correntes que circulam nos três terminais do transistor:

- Corrente do terminal emissor, denominada de corrente de emissor ( $I_E$ );
- Corrente do terminal base, chamada de corrente de base ( $I_B$ );
- Corrente do terminal do coletor, chamada de corrente de coletor ( $I_C$ ).



### Observação

O princípio básico de funcionamento que explica a origem das correntes no transistor é o mesmo para os transistores NPN e PNP. Por isso, estudaremos o princípio de funcionamento de apenas um dos tipos.

O comportamento do outro difere apenas na polaridade das baterias e no sentido das correntes.

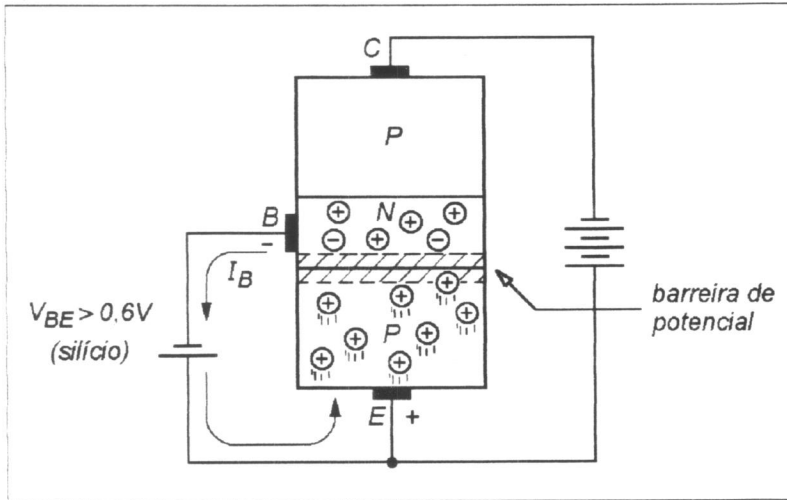
### Corrente de base

A corrente de base é provocada pela tensão aplicada entre a base e o emissor do transistor ( $V_{BE}$ ).

Em um transistor PNP, por exemplo, o potencial positivo aplicado ao emissor repele as lacunas do material P em direção à base.

Se a tensão tiver um valor adequado, ou seja, 0,7 V para o silício e 0,3 V para o germânio, as lacunas adquirem velocidade suficiente para atravessar a barreira de potencial formada na junção base-emissor, recombinando-se com os elétrons livres da base.

Essa recombinação dá origem à corrente de base.



Devido à pequena espessura da base e também ao seu pequeno grau de dopagem, a combinação acontece em pequena escala, ou seja, poucos portadores que provêm do emissor podem se combinar. Isso faz com que a corrente de base seja pequena, com valores que se situam na faixa de microampères ou miliampères.

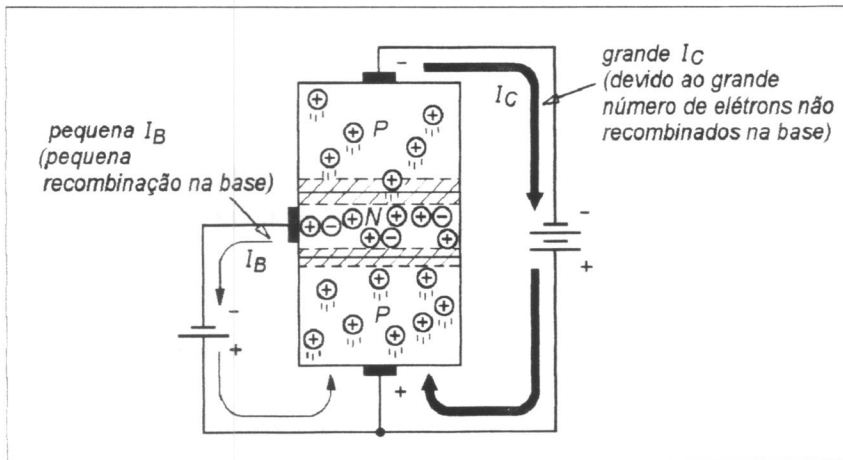
Como o emissor é fortemente dopado, um grande número de lacunas se desloca em direção à base, repelidas pela tensão positiva do emissor e atraídas pela tensão negativa da base.

A base, porém, tem potencial negativo pequeno, não tendo assim elétrons livres suficientes para recombinar com a maior parte das lacunas que provêm do emissor. Assim, um grande número de lacunas atinge a base em grande velocidade e não se recombina por falta de elétrons livres disponíveis.

### Corrente de coletor

As lacunas provenientes do emissor que não se recombinam, atingem a junção base-coletor e passam ao coletor onde existe um alto potencial positivo.

As lacunas que atingem o coletor dão origem a **corrente de coletor**.



Em geral, do total de lacunas que entra no emissor de um transistor, a grande maioria corresponde à corrente de coletor.

Tanto a corrente de base como a corrente de coletor provêm do emissor, de forma que se pode afirmar que:

$$I_C + I_B = I_E$$

### Controle da corrente de base sobre a corrente do coletor

A principal característica do transistor reside no fato de que a corrente de base (pequena) exerce um **controle** eficiente sobre a corrente de coletor. Esse controle é devido à influência da corrente de base sobre a largura da barreira de potencial da junção base-emissor, ou seja, quando  $V_{BE}$  aumenta, a barreira de potencial torna-se mais estreita.

Esse estreitamento permite que um maior número de portadores do emissor atinja a base. Esses portadores são absorvidos pelo coletor, uma vez que a base não tem capacidade para recombiná-los. Verifica-se então um aumento na corrente de coletor. Assim, se  $I_B$  aumenta,  $I_C$  aumenta e se  $I_B$  diminui,  $I_C$  diminui.

### Ganho de corrente do transistor

Através de um transistor, é possível utilizar uma pequena corrente  $I_B$  para controlar a circulação de uma corrente de valor muito maior ( $I_C$ ).

A corrente controlada ( $I_C$ ) e a corrente de controle ( $I_B$ ) podem ser relacionadas entre si para determinar quantas vezes uma é maior que a outra, ou seja,

$$\frac{I_C}{I_B} = \beta$$

O resultado dessa relação é denominado tecnicamente de **ganho de corrente** de base para coletor, representado pela letra grega  $\beta$  (beta) para corrente contínua ou  $h_{fe}$  para corrente alternada.

O ganho indica quantas vezes a corrente de coletor é **maior** que a corrente de base.

Conhecendo-se o ganho de corrente entre base e coletor ( $\beta$ ), é possível determinar a corrente de coletor a partir da corrente de base, ou seja:  $I_C = \beta \cdot I_B$ .

### Observação

O fato do transistor permitir um ganho de corrente entre base e coletor não significa que correntes sejam geradas em seu interior.

As correntes que circulam no interior do componente são provenientes das fontes de alimentação e o transistor apenas controla sua quantidade.

O outro ganho a ser considerado é o **de emissor para coletor** ( $\alpha$ , lê-se *alfa*):

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E}$$

Como a corrente  $I_E$  é **maior** que  $I_C$ , conclui-se que  $\alpha$  é sempre **menor** que 1.

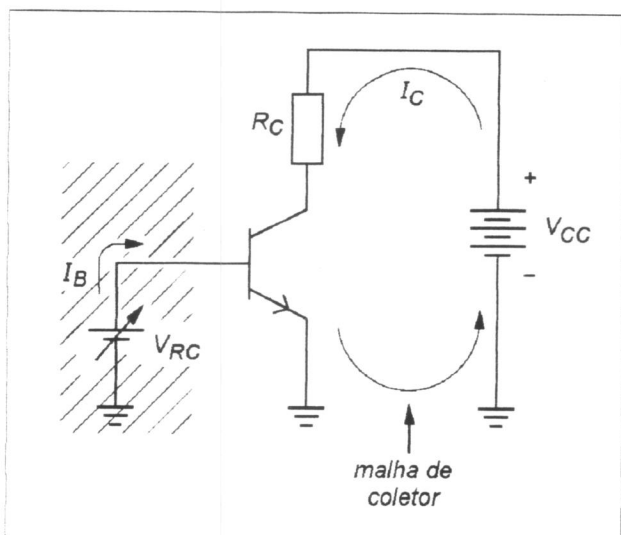
Os ganhos  $\beta$  e  $\alpha$  estão relacionados entre si através das fórmulas:

$$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha} \text{ e } \alpha = \frac{\beta}{\beta+1}$$

### Circuito do coletor

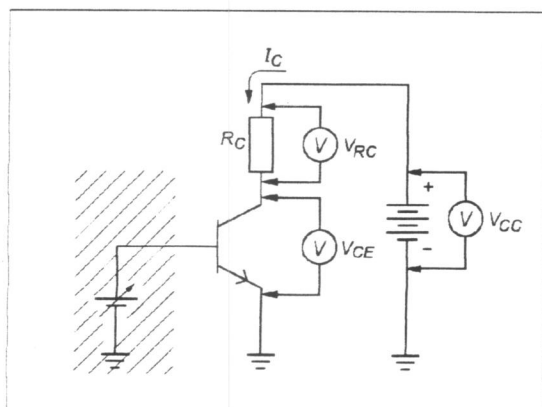
Na grande maioria dos circuitos transistorizados, o coletor do transistor é conectado à fonte de alimentação através de um resistor denominado de resistor de coletor ( $R_C$ ).

O resistor de coletor completa o circuito ou malha de coletor, composto pelos componentes por onde circula a corrente do coletor conforme circuito que segue.



A malha de coletor se compõe de resistor de coletor  $R_C$  em série com o transistor (coletor-emissor) aos quais é aplicada a tensão  $V_{CC}$ . Sendo um circuito série, a malha de coletor obedece à segunda Lei de Kirchhoff, que estabelece: a soma das quedas de tensão em um circuito é igual à tensão aplicada aos seus extremos.

Na malha de coletor, a tensão  $V_{CC}$  fornecida pela bateria se distribui em duas parcelas: tensão sobre o resistor de coletor, denominada de queda de tensão no resistor de coletor ( $V_{RC}$ ); e tensão entre coletor e emissor ( $V_{CE}$ )



Aplicando a Lei de Kirchhoff, a soma das quedas de tensão nos componentes da malha de coletor será igual à tensão aplicada à malha. A partir disso, pode-se determinar a equação da malha de coletor, ou seja:  $V_{CC} = V_{CE} + V_{RC}$

Nessa igualdade,  $V_{CC}$  é a tensão fornecida pela bateria ao circuito, desconsiderando-se a influência da resistência interna, pode-se admitir que  $V_{CC}$  tem um valor constante, independente da corrente que o circuito solicitar.

$V_{RC}$  é a queda de tensão no resistor de coletor. O valor desta queda de tensão, segundo a Lei de Ohm, depende de dois fatores: do valor do resistor  $R_C$  e da corrente que está circulando ( $I_C$ ), ou seja,  $V_{RC} = R_C \cdot I_C$ .

A queda de tensão no resistor de coletor ( $V_{RC}$ ) tem como principal característica o fato de ser proporcional à corrente de coletor do transistor.

Se a corrente de coletor se torna maior ( $I_C$ ), a queda de tensão sobre o resistor de coletor aumenta, pois  $R_C \cdot I_C = V_{RC}$ .

$V_{CE}$  é a tensão coletor-emissor e depende da tensão de alimentação e da queda de tensão em  $R_C$ , ou seja, como  $V_{CC} = V_{CE} + V_{RC}$ ,  
 $V_{CE} = V_{CC} - V_{RC}$ .

#### Exemplo

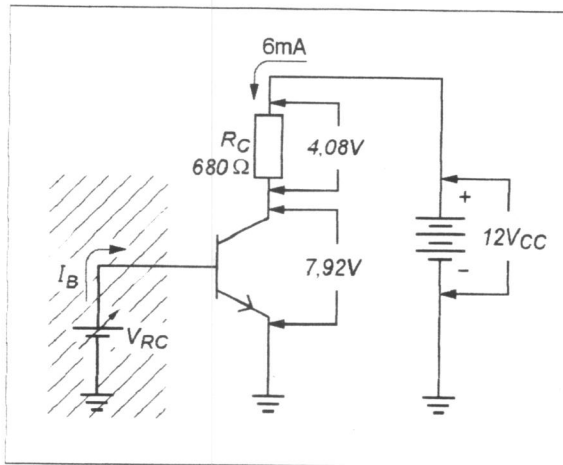
Um transistor com resistor de coletor de  $680 \Omega$  tem uma corrente de coletor de 6 mA. A bateria fornece uma tensão de 12 V à malha do coletor. Qual é a queda de tensão no resistor de coletor e a tensão coletor-emissor no transistor?

Queda de tensão no resistor de coletor:  $V_{RC} = R_C \cdot I_C$   
 $V_{RC} = 680 \cdot 0,006 = 4,08V$

Tensão de coletor-emissor do transistor:  $V_{CE} = V_{CC} - V_{RC}$   
 $V_{CE} = 12 - 4,08 = 7,92 V$



A figura a seguir mostra a malha de coletor com os valores de tensão em cada elemento.



### Relação entre parâmetros

Ao considerar que a queda de tensão  $V_{RC}$  depende de  $I_C$ , afirma-se que  $V_{RC}$  também depende de  $I_B$ . Desenvolvendo a equação da queda de tensão no resistor de coletor, tem-se:

$$V_{RC} = R_C \cdot I_C$$

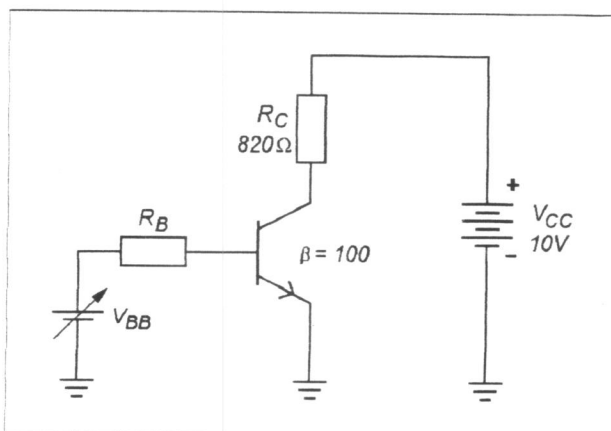
Como  $I_C = I_B \cdot \beta$ , temos:

$$V_{RC} = R_C \cdot (I_B \cdot \beta)$$

Nessa equação, os valores de  $R_C$  e  $\beta$  são constantes. Logo, pode-se dizer que o valor da queda de tensão no resistor depende diretamente da corrente de base.

Tomando-se um circuito a transistor com duas correntes de base diferentes, é possível verificar a relação entre os valores de  $I_B$ ,  $I_C$ ,  $V_{RC}$  e  $V_{CE}$ .

Veja exemplo no circuito a seguir.



**Observação**

O resistor  $R_B$  na base do transistor serve para limitar a corrente de base do transistor. Admitindo-se como primeiro valor de corrente de base  $40 \mu\text{A}$ , os valores do circuito são:

- $I_C = I_B \cdot \beta = 40 \cdot 100 = 4000 \text{ mA}$  ou  $0,004 \text{ A}$
- $V_{RC} = I_C \cdot R_C = 0,004 \cdot 820 = 3,28 \text{ V}$
- $V_{CE} = V_{CC} - V_{RC} = 10 - 3,28 = 6,72 \text{ V}$

Admitindo-se um valor de corrente de base de  $70 \mu\text{A}$ , os valores do circuito são:

- $I_C = 70 \cdot 100 = 7000 \text{ mA}$  ou  $0,007 \text{ A}$
- $V_{RC} = 0,007 \cdot 820 = 5,74 \text{ V}$
- $V_{CE} = 10 - 5,74 = 4,26 \text{ V}$

Colocando os dados do circuito das duas situações em uma tabela, é possível observar o comportamento dos valores de  $I_C$ ,  $V_{RC}$  e  $V_{CE}$  quando a corrente de base é modificada.

Corrente de base ( $I_B$ )	Corrente de coletor ( $I_C$ )	Queda de tensão no resistor de coletor ( $V_{RC}$ )	Tensão coletor emissor do transistor ( $V_{CE}$ )
$40 \mu\text{A}$	$4 \text{ mA}$	$3,28 \text{ V}$	$6,72 \text{ V}$
$70 \mu\text{A}$	$7 \text{ mA}$	$5,74 \text{ V}$	$4,26 \text{ V}$

Relacionando apenas os dados relativos ao transistor, o comportamento do circuito pode ser assim resumido:

- $\uparrow I_B \quad \uparrow I_C \quad \downarrow V_{CE}$
- $\downarrow I_B \quad \downarrow I_C \quad \uparrow V_{CE}$

Considerando que a corrente de base  $I_B$  depende da tensão  $V_{BE}$ , pode-se incluir mais esse parâmetro no comportamento do transistor:

- $\uparrow V_{BE} \quad \uparrow I_B$
- $\downarrow V_{BE} \quad \downarrow I_B$

A relação entre os parâmetros do transistor é então:

- $\uparrow V_{BE} \quad \uparrow I_B \quad \uparrow I_C \quad \downarrow V_{CE}$
- $\downarrow V_{BE} \quad \downarrow I_B \quad \downarrow I_C \quad \uparrow V_{CE}$

## Dissipação de potência no transistor

Todo o componente sujeito a uma diferença de potencial e percorrido por uma corrente elétrica dissipa uma determinada potência ( $P = V \cdot I$ ). Isso acontece também no transistor.

A circulação de corrente elétrica através das junções do transistor, provocada pela aplicação de tensões aos seus terminais, dá origem a uma dissipação de potência no interior do componente.

Essa dissipação se dá em forma de energia térmica, o que resulta em um aquecimento do transistor.

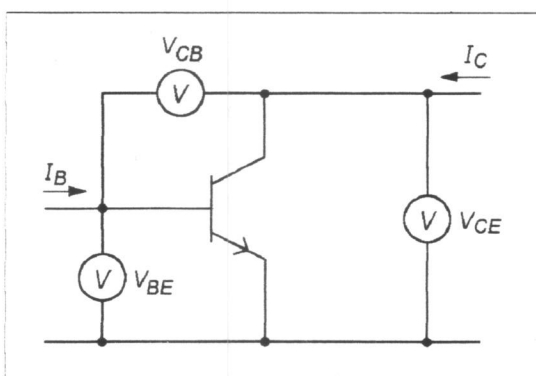
## Dissipação nas junções

A dissipação de potência ocorre nas duas junções do transistor. Essas potências dissipadas são denominadas de potência de coletor ( $P_C$ ) e potência de base ( $P_B$ ).

A potência total dissipada no transistor é, então:

$$P_{\text{tot}} = P_C + P_B$$

Entretanto, analisando as tensões e correntes presentes nas duas junções, verifica-se que a tensão e a corrente presentes na junção base-emissor ( $V_{BE}$  e  $I_B$ ) são muito pequenas, quando comparadas com a tensão e a corrente presentes na junção coletor-base ( $V_{CB}$  e  $I_C$ ).



Por isso, a potência dissipada na junção base-emissor é muito pequena comparada com a potência dissipada na junção base-coletor.

Assim, a potência dissipada na base do transistor é desprezada e considera-se que a potência total dissipada no transistor é a própria potência dissipada no coletor, ou seja,

$$P_{\text{tot}} \cong P_C$$

A potência dissipada no coletor depende da tensão de coletor à base ( $V_{CB}$ ) e da corrente de coletor ( $I_C$ ):

$$P_C = V_{CB} \cdot I_C$$

Por questões de praticidade e com o objetivo de resolver circuitos transistorizados através das curvas características, essa equação é substituída por outra aproximada, cujo erro é desprezível:

$$P_C \cong V_{CE} \cdot I_C$$

### **Dissipação máxima de potência no transistor**

O calor produzido pela dissipação de potência ( $P_C \cong V_{CE} \cdot I_C$ ) provoca a elevação da temperatura dos cristais semicondutores, o que pode danificar o componente.

Para que isso não aconteça, a potência dissipada é limitada a um valor que permite o funcionamento normal do transistor. Esse valor é chamado de potência de dissipação máxima ( $P_{C\text{máx}}$ ) e é fornecido pelos manuais dos fabricantes ("data books") ou fichas técnicas.

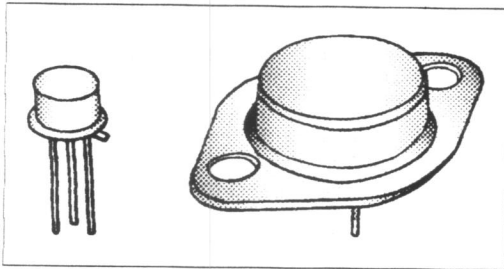
#### **O limite de dissipação de potência é estabelecido em função de dois fatores:**

- A resistência térmica do encapsulamento;
- A temperatura externa ao transistor.

**Resistência térmica:** consiste na oposição apresentada por um material à passagem do fluxo de calor. Quando se fala em transistor, a resistência térmica do encapsulamento, representada pela notação ( $R_{thja}$ ), diz respeito à oposição (imposta pelo encapsulamento) à transmissão do calor gerado internamente para o meio ambiente.

Os transistores fabricados para capacidades de dissipação mais elevadas (denominados de transistores de potência) são normalmente encapsulados em invólucros metálicos.

Esse tipo de encapsulamento se caracteriza por apresentar uma baixa resistência térmica, transmitindo com mais eficiência o calor para o meio ambiente.



Os transistores de baixa dissipação (denominados de transistores de sinal) são encapsulados normalmente em invólucros de plástico. Esse material é usado porque a quantidade de calor gerado por esses transistores é pequena.

**Temperatura externa ao transistor:** para que haja transmissão de calor entre dois pontos, é necessário que haja diferença de temperatura entre eles.

A quantidade de calor transmitido é maior quando a diferença de temperatura é grande entre os dois pontos e menor quando essa diferença é pequena. Assim, a quantidade de calor transmitido da junção do transistor para o ambiente depende da diferença de temperatura entre a junção e o ambiente.

Quanto mais baixa a temperatura do ambiente, maior a transmissão de calor do interior do transistor para fora e menor o seu aquecimento. Assim, dois transistores trabalhando com as mesmas tensões e correntes e, portanto, com mesma potência dissipada, sofrerão aquecimentos diferentes se estiverem funcionando em temperaturas diferentes.

O transistor que estiver funcionando em um ambiente mais quente sofrerá maior aquecimento, porque a quantidade de calor transmitido para o ambiente é menor.

Por causa disso, a especificação de potência máxima de dissipação do transistor é dada em função da temperatura. Por exemplo: Transistor BC547 apresenta potência de dissipação máxima de 500mW a 25° C ou menos.

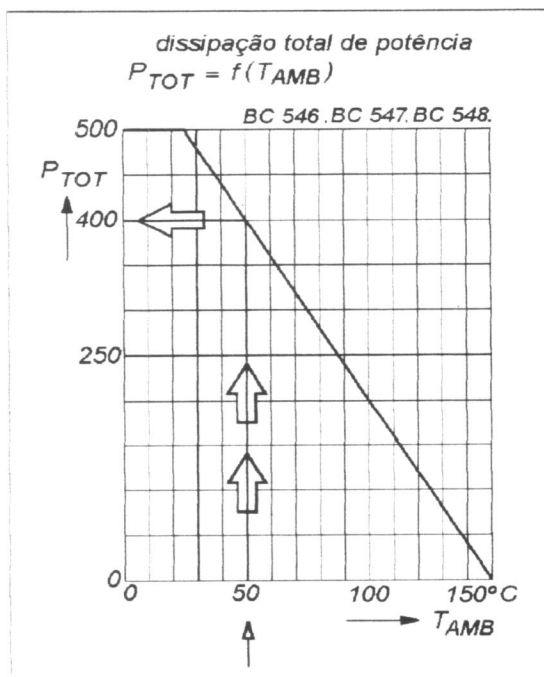
### **Observação**

As potências de dissipação máxima fornecidas pelos fabricantes sempre são referentes à temperatura de 25° C, a menos que haja outra especificação de temperatura.

### Redução da potência dissipada

Em muitos casos, torna-se necessário usar transistores em circuitos que funcionarão em temperaturas superiores a 25° C. Nesse caso, é necessário considerar que o valor máximo de potência de dissipação, fornecido pelo fabricante, não pode ser empregado porque é válido somente até 25° C.

É possível compensar o aumento da temperatura ambiente, fazendo o transistor dissipar menos potência. O grau de redução da potência nominal varia de transistor para transistor e é um dado fornecido pelo fabricante na forma de um gráfico ( $P_{tot} \times T_{amb}$ ).



Este gráfico indica a potência máxima no transistor para os diversos valores de temperatura ambiente. Veja na ilustração a seguir o emprego do gráfico determinando a potência de dissipação máxima dos transistores BC546, BC547 e BC548 para uma temperatura ambiente de 50°C.

### Correntes de fuga no transistor

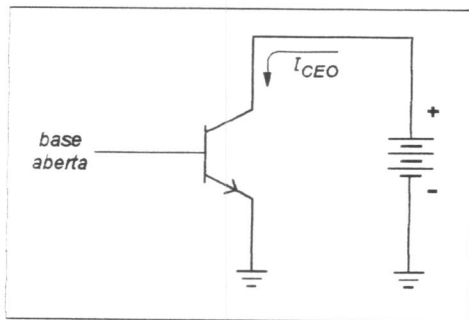
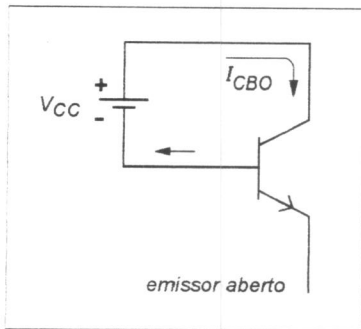
O movimento dos portadores minoritários (elétrons no PNP e lacunas no NPN) na junção inversamente polarizada do transistor origina uma pequena corrente de fuga que **varia diretamente com a temperatura**.

Nas figuras a seguir está ilustrada a representação dessas correntes em um transistor NPN.

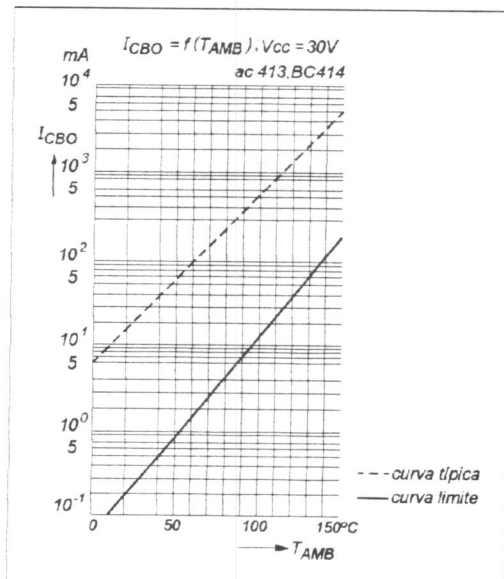
O raciocínio análogo se aplica ao transistor PNP, bastando inverter as polaridades da fonte de tensão CC e o sentido de percurso da corrente elétrica.

$I_{CBO}$  ou  $I_{CO}$  é a corrente do coletor para a base, com o emissor em aberto:

$I_{CEO}$  é a corrente do coletor para o emissor, com a base em aberto:



$I_{EBO}$  é a corrente do emissor para a base, com o coletor em aberto:



### Observação

A terceira condição, corrente do emissor para a base, com o coletor em aberto Não é muito utilizada na prática.

### Disparo térmico

O disparo térmico (ou avalanche térmica) é um fenômeno que ocorre no transistor devido à corrente de fuga  $I_{CBO}$ . Isso pode levar o transistor à destruição por aquecimento excessivo.

A dissipação de potência em um transistor ( $P_C = V_{CE} \cdot I_C$ ) provoca o aquecimento das junções ( $B_E$  e  $B_C$ ) que, por sua vez, provoca o aumento de  $I_{CBO}$ .

Como essa corrente é uma das parcelas de  $I_C$ , o aumento de  $I_{CBO}$  provoca um aumento em  $I_C$ , aumentando a potência dissipada, causando novo aquecimento das junções. Isso ocorre até que o transistor finalmente seja danificado.

A corrente de fuga  $I_{CBO}$  dobra a cada  $10^\circ C$ , aproximadamente, nos transistores de silício (Si) e  $6^\circ C$  nos de germânio (Ge). Porém, na mesma temperatura, o transistor de silício apresenta  $I_{CBO}$  até 500 vezes menor que o de germânio.

Por essa razão, os transistores de silício são muito mais usados que os de germânio.



---

# Ponto de operação do transistor

Os componentes eletrônicos se caracterizam por terem a capacidade de operar com os mais diversos valores de tensão e corrente nos seus terminais. Essa versatilidade resulta em uma dificuldade, como prever as condições de funcionamento de um componente quando forem aplicados determinados valores elétricos em um circuito.

Essa é a razão pela qual o comportamento dos componentes eletrônicos, na sua grande maioria, é expresso através de suas curvas características.

Através dessas curvas, normalmente fornecidas pelos fabricantes, pode-se determinar com certa exatidão os valores de tensão e corrente que se estabelecerão em um circuito transistorizado no momento em que for alimentado.

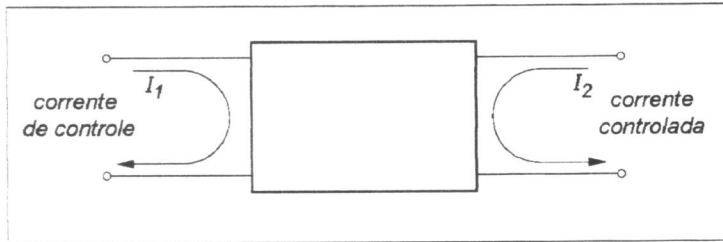
O presente capítulo apresentará as curvas características do transistor, a reta de carga e o ponto de operação para que você utilize corretamente os transistores.

Para ter sucesso no desenvolvimento dos conteúdos e atividades deste capítulo, você já deverá ter conhecimentos anteriores sobre o princípio de funcionamento do transistor bipolar e a relação entre os parâmetros.

## **Configurações de ligação do transistor**

No transistor, a corrente de base atua como corrente de controle, determinando a corrente de coletor que poderia ser denominada de corrente controlada.

Em princípio, a circulação de duas correntes de valores diferentes em um componente pressupõe a existência de quatro terminais, dois terminais para cada corrente.

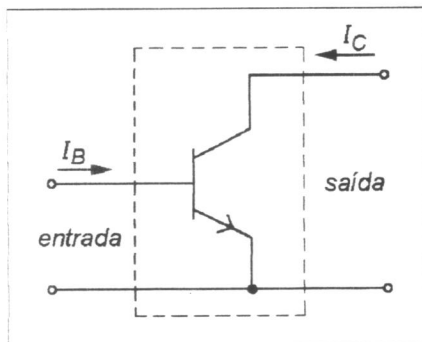


Como o transistor não dispõe de quatro terminais, sua ligação aos circuitos eletrônicos é feita de forma que um dos terminais seja comum ao circuito de entrada e ao de saída, simultaneamente. Desta forma pode-se ligar o transistor em três configurações distintas:

- Configuração emissor comum;
- Configuração base comum;
- Configuração coletor comum.

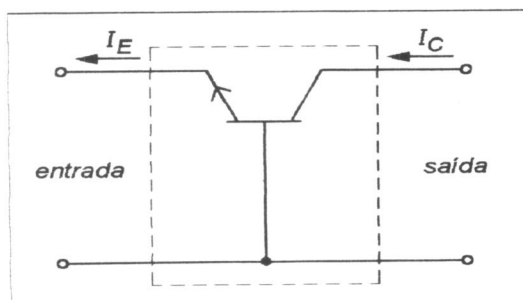
### Configuração de emissor comum

Quando o terminal emissor é comum à entrada e à saída, a forma de ligação do transistor é denominada tecnicamente de configuração de emissor comum.



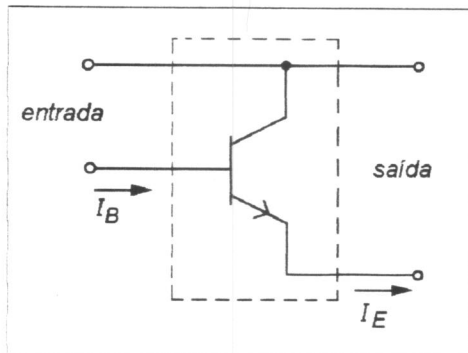
### Configuração de base comum

Quando a base é utilizada como terminal comum, a forma de ligação do transistor é denominada de configuração de base comum.



### Configuração de coletor comum

Configuração de coletor comum é a denominação dada à forma de ligação na qual o coletor do transistor é comum à entrada e à saída do circuito.



### Curvas características de um transistor

Quando se analisa o comportamento de um componente eletrônico, procura-se colocar esse componente sob as mais diversas situações em termos de correntes e tensões.

O comportamento do transistor é expresso através de curvas características que são gráficos obtidos a partir de medidas elétricas no transistor em vários circuitos, sob condições de tensão e corrente controladas.

As curvas características do transistor têm grande importância nos projetos de circuitos, porque expressam o comportamento do componente em uma ampla faixa de condições de funcionamento, levando em consideração a forma como o transistor está ligado.

### Parâmetros elétricos nas curvas características

Nos componentes semicondutores com apenas dois terminais como por exemplo; o diodo semicondutor e o diodo zener, são necessários apenas dois parâmetros elétricos para expressar o comportamento em gráfico: a tensão entre os dois terminais e a corrente no dispositivo.

No transistor, pelo fato de obter três terminais, existem 6 valores a considerar:

$I_C$ : corrente de coletor;

$I_B$ : corrente de base;

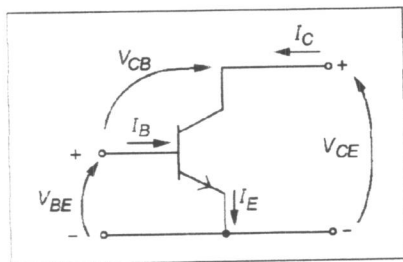
$I_E$ : corrente de emissor;

$V_{BE}$ : tensão de base a emissor;

$V_{CE}$ : tensão de coletor a emissor;

$V_{CB}$ : tensão de coletor a base.

Veja esses parâmetros na figura a seguir.

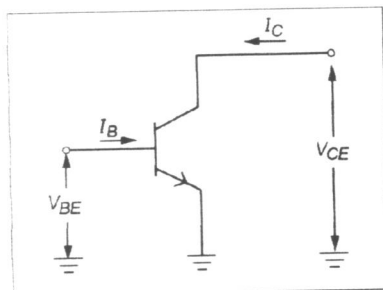


Com base nesses valores e em outros, tais como a temperatura, podem ser levantadas uma série de curvas características que expressam o comportamento do transistor nas mais diversas condições.

### Curvas características na configuração de emissor comum

A configuração de ligação do transistor mais utilizada é a de emissor comum. Por essa razão, as curvas características dos transistores, fornecidas pelos fabricantes, são relativas a essa forma de ligação.

A figura que segue ilustra a representação esquemática de um transistor ligado em emissor comum.



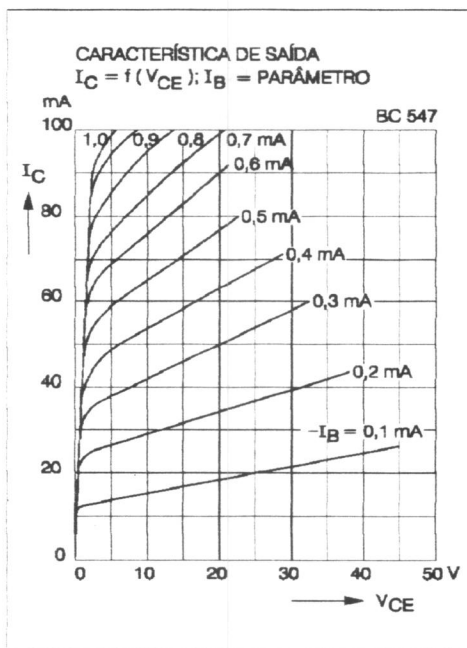
Nessa configuração, quatro parâmetros são **fundamentais**:  $V_{BE}$ ,  $I_B$ ,  $V_{CE}$  e  $I_C$ .

Os valores de  $V_{BE}$  e  $I_B$  são denominados parâmetros de entrada e os valores  $V_{CE}$  e  $I_C$ , parâmetros de saída da configuração emissor comum.

Portanto, para representar o comportamento do transistor na configuração de emissor comum através de gráficos, são necessárias duas curvas características: uma que expressa o comportamento dos parâmetros de entrada do transistor, denominada de curva característica de entrada; outra que expressa o comportamento dos parâmetros de saída, denominada de curva característica de saída.

A curva característica de saída é a curva de maior importância, pois expressa os parâmetros de saída do transistor;  $I_C$  e  $V_{CE}$ . Entretanto, sabe-se que os valores de  $V_{CE}$  e  $I_C$  dependem do valor de  $I_B$ .

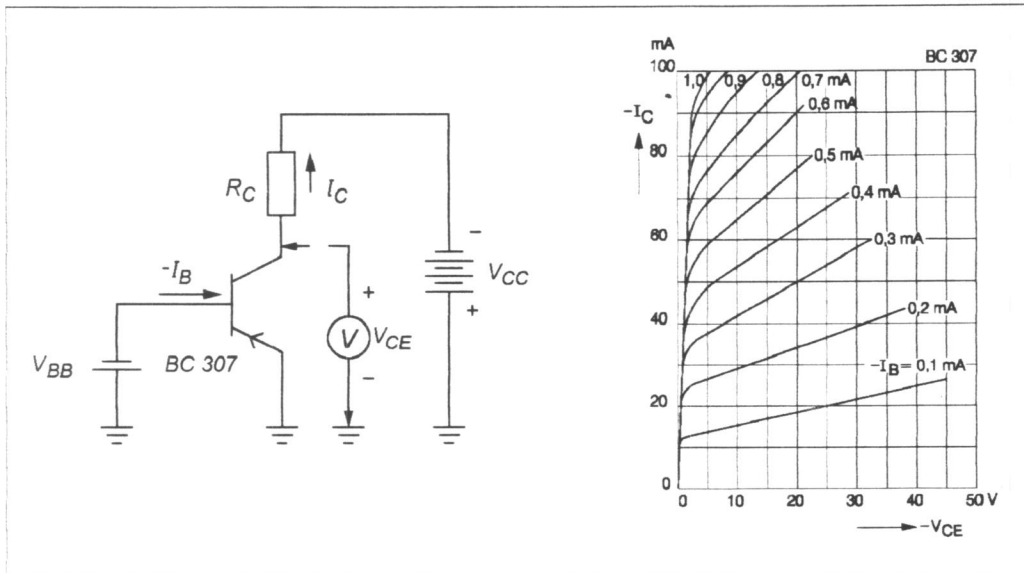
A curva característica de saída permite que se relacionem as grandezas  $I_C$ ,  $V_{CE}$  e  $I_B$  em um único gráfico. O gráfico que segue mostra a característica de saída do transistor BC547.



As curvas mostram a dependência da corrente de coletor ( $I_C$ ) em função da tensão coletor-emissor, mantendo a corrente de base em um valor constante. Nos manuais, essa curva é indicada como  $I_C = f(V_{CE} \text{ e } I_B)$ . É lida da seguinte maneira: corrente de coletor em função da tensão coletor-emissor para valores fixos de corrente de base.

### Observação

Nos transistores PNP, os parâmetros nas curvas são negativos:  $-I_B$  e  $-I_C$ , ou seja, as correntes  $I_B$  e  $I_C$  saem do transistor, e o coletor é negativo em relação ao emissor.



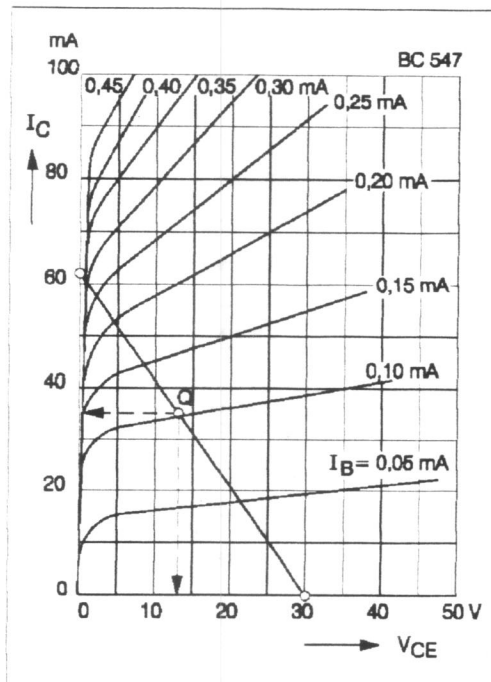
As curvas características fornecidas pelo fabricante representam o comportamento médio de um grande número de transistores usados. Na prática, isso significa que o comportamento pode apresentar alguma diferença em relação à curva.

### Aplicação da curva característica

A curva característica é aplicada na determinação das condições de funcionamento de um transistor em um circuito. Dispondo dos valores da tensão de alimentação ( $V_{CC}$ ) e da corrente de coletor ( $I_C$ ), traça-se uma reta que permitirá determinar graficamente o comportamento do transistor em um circuito. Essa reta é denominada **reta de carga**.

A reta de carga é traçada sobre a curva característica de saída do transistor. Ela permite que se determine graficamente a tensão entre coletor e emissor ( $V_{CE}$ ) e a corrente de coletor ( $I_C$ ), presente no transistor naquele momento, em função da corrente de base atual. A intersecção da reta de carga com o valor de  $I_B$  no circuito é denominado **ponto quiescente (Q)**.

No plano horizontal, o ponto quiescente fornece o valor de  $I_C$  no circuito e no plano vertical, o valor de  $V_{CE}$ .



### Traçado da reta de carga

O traçado da reta de carga leva em conta dois fatores:

A tensão de alimentação do circuito;

valor do resistor de coletor. Isso significa que, para cada transistor e em cada circuito, existe uma reta de carga específica.

Para traçar a reta de carga utilizam-se dois pontos que ocorrem em duas situações do transistor:

- Ponto de corte;
- Ponto de saturação.

O **ponto de corte** é a situação em que o transistor está sem corrente de base. Usando as equações do transistor, verifica-se seu comportamento nessa situação:

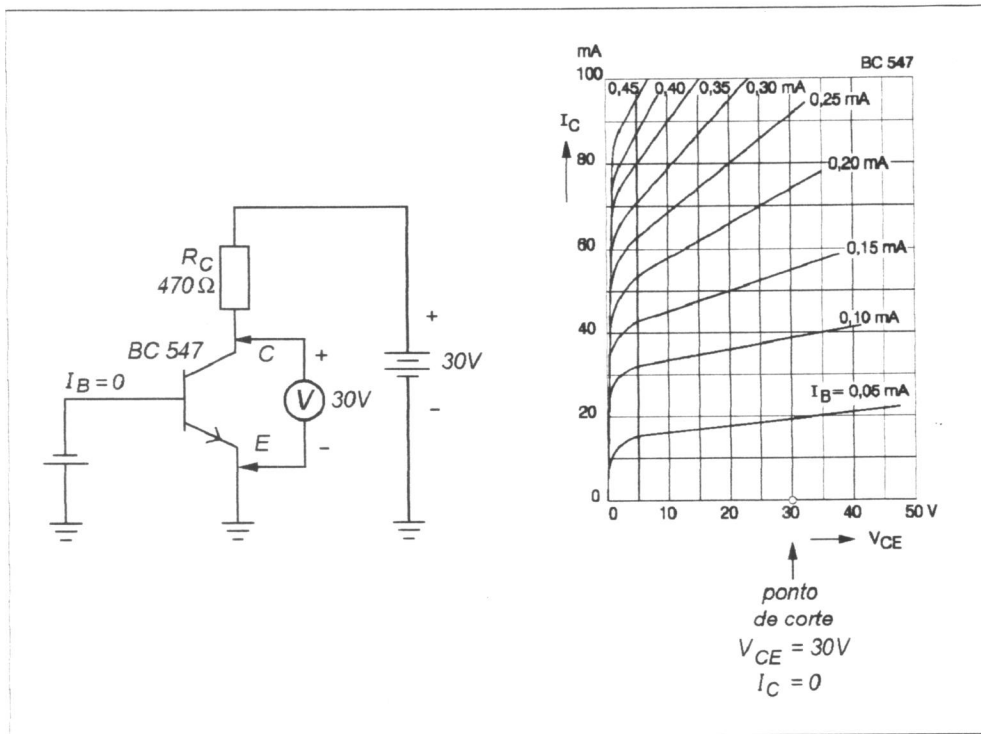
$$I_C = I_B \cdot \beta. \text{ Como } I_B = 0, \quad I_C = 0$$

$$\text{Então, } V_{RC} = I_C \cdot R_C. \quad \text{Como } I_C = 0, \quad V_{RC} = 0.$$

$$V_{CE} = V_{CC} - V_{RC} \text{ e } V_{RC} = 0$$

$$\text{Desta forma temos } V_{CE} = V_{CC}.$$

Esses dois valores,  $V_{CE} = V_{CC}$  e  $I_C = 0$ , são representados por um ponto na curva característica de saída. Tomando como exemplo o circuito a seguir, o ponto de corte fica na posição mostrada no gráfico que segue.



Esse é o primeiro ponto da reta de carga.

Observação

O ponto de corte depende fundamentalmente da tensão de alimentação. Se o valor da tensão for alterado, o ponto de corte também será alterado.

O **ponto de saturação** é a situação em que se aplica ao transistor uma corrente de base suficiente para fazer com que a tensão de coletor/emissor caia praticamente a zero.

Considerando a tensão de coletor/emissor como zero, temos:

$$V_{CE} = V_{CC} - V_{RC}. \text{ Como } V_{CE} = 0, \quad V_{RC} = V_{CC}$$

$$\text{Como } I_C = \frac{V_{RC}}{R_C} \text{ e } V_{RC} = V_{CC}, \quad I_C = \frac{V_{CC}}{R_C}$$



Na situação de saturação, a corrente de coletor assume o seu valor máximo como se o resistor de coletor estivesse ligado diretamente à fonte de alimentação. Esse valor de corrente de coletor é denominado de corrente de saturação.

O ponto de saturação, por sua vez, é aquele no qual

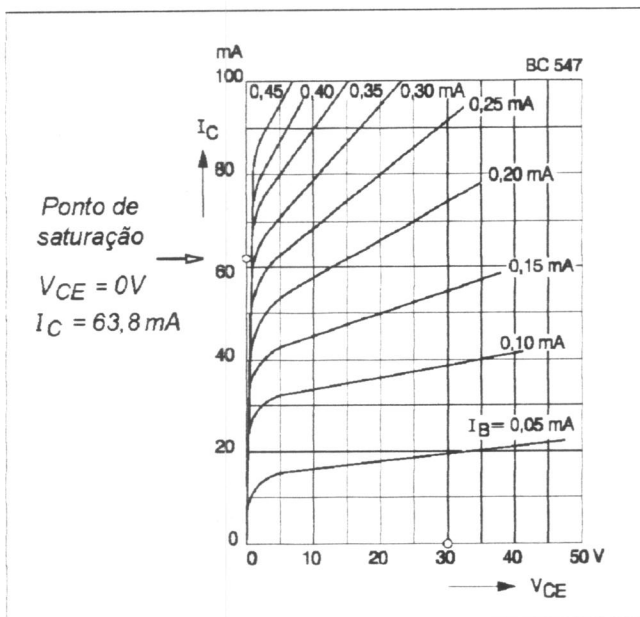
$$I_C = \frac{V_{CC}}{R_C} \text{ e } V_{ce} = 0$$

No circuito tomado como exemplo, a tensão de alimentação é de 30V, e o resistor de coletor é de 470 Ω. Portanto, a corrente de saturação é:

$$I_C = \frac{30V}{470\Omega} = 0,0638 \text{ A}$$

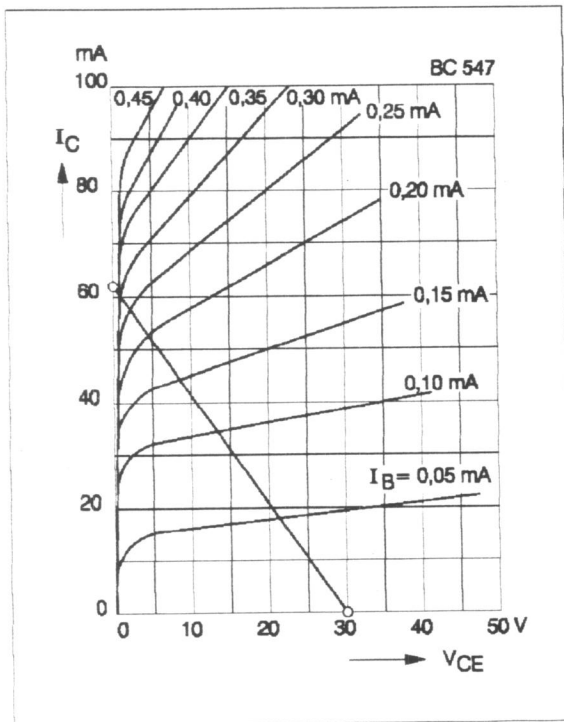
**$I_C = 63,8 \text{ mA}$**

Esses valores dão origem ao segundo ponto sobre a curva característica do transistor.



O ponto de saturação depende fundamentalmente da tensão de alimentação e do valor do resistor de coletor. Caso esses valores sejam mudados, o ponto de saturação tem sua posição alterada na curva característica.

Unindo os dois pontos encontrados no gráfico, tem-se a reta de carga do circuito conforme gráfico que segue.



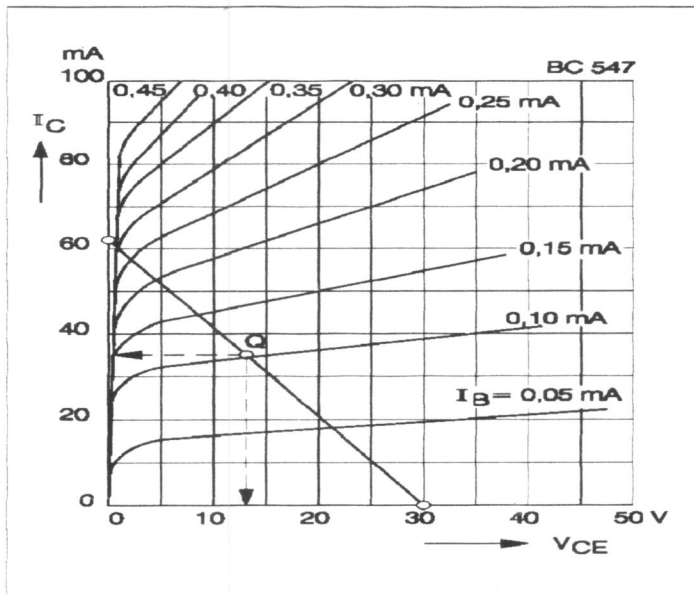
Esta reta de carga serve apenas para o circuito apresentado (transistor BC547,  $V_{CC} = 30V$  e  $R_C = 470 \Omega$ ). Caso o transistor, a alimentação ( $V_{CC}$ ) ou o valor do resistor de coletor ( $R_C$ ) sejam modificados, deve-se traçar outra reta de carga de acordo com os novos dados.

### Aplicação da reta de carga

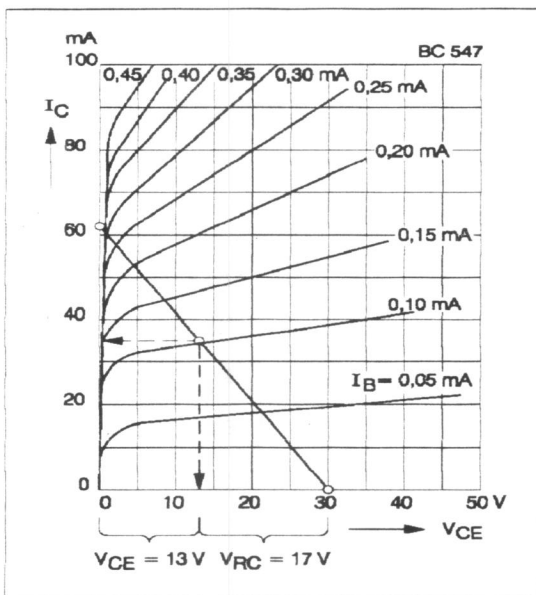
Uma vez traçada a reta de carga, pode-se determinar graficamente os valores da tensão  $V_{CE}$ , da tensão sobre o resistor de coletor e da corrente de coletor do transistor para cada valor de corrente de base.

Tomando-se o circuito do exemplo, pode-se determinar as tensões e correntes na malha de coletor quando a corrente de base for, por exemplo, 0,10 mA.

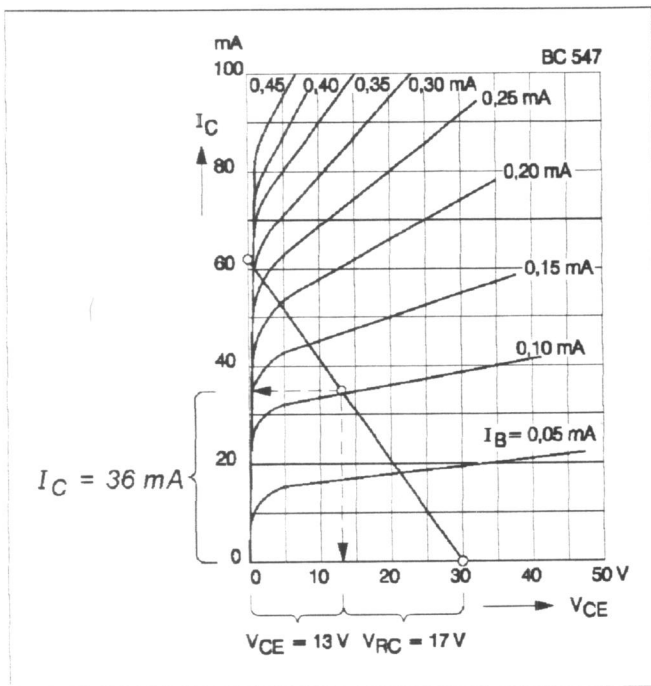
A resposta é obtida através do ponto quiescente (Q) que é o ponto de encontro entre a reta de carga e a curva de corrente de base conforme gráfico a seguir.



Projetando o ponto encontrado até o eixo horizontal, encontra-se o valor de  $V_{CE}$  (13V).  
Encontra-se, também, o valor da tensão sobre o resistor de coletor do circuito ( $V_{RC} = 17$  V).

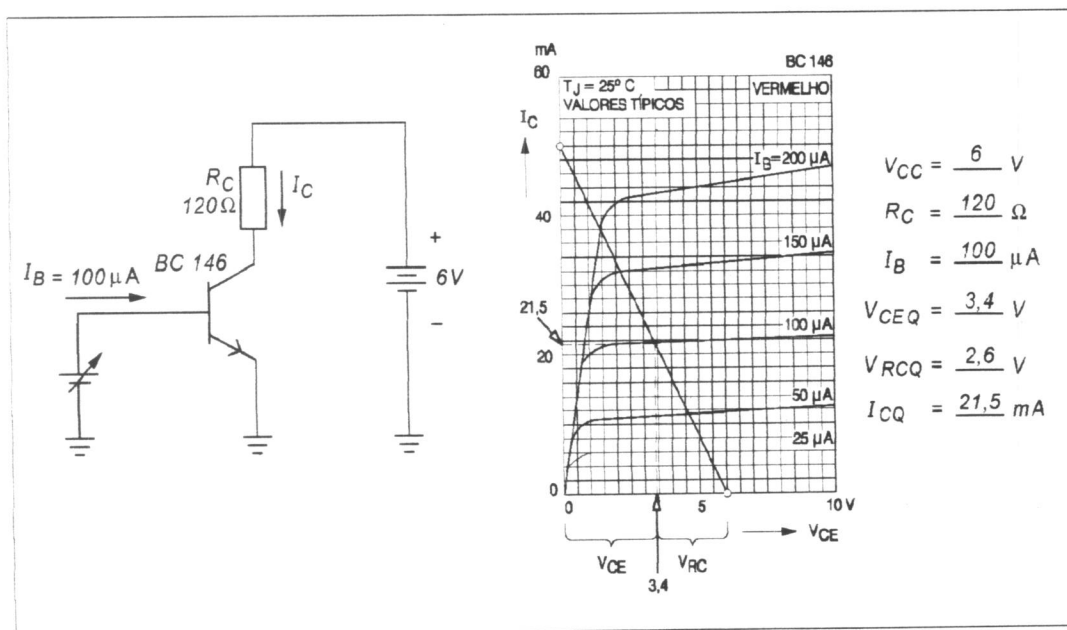


Projetando o ponto encontrado até o eixo vertical, encontra-se o valor da corrente de coletor ( $I_C = 36 \text{ mA}$ ).



Veja a seguir dois exemplos de reta de carga e determinação de parâmetros de um circuito através da curva característica de saída.

Exemplo 1



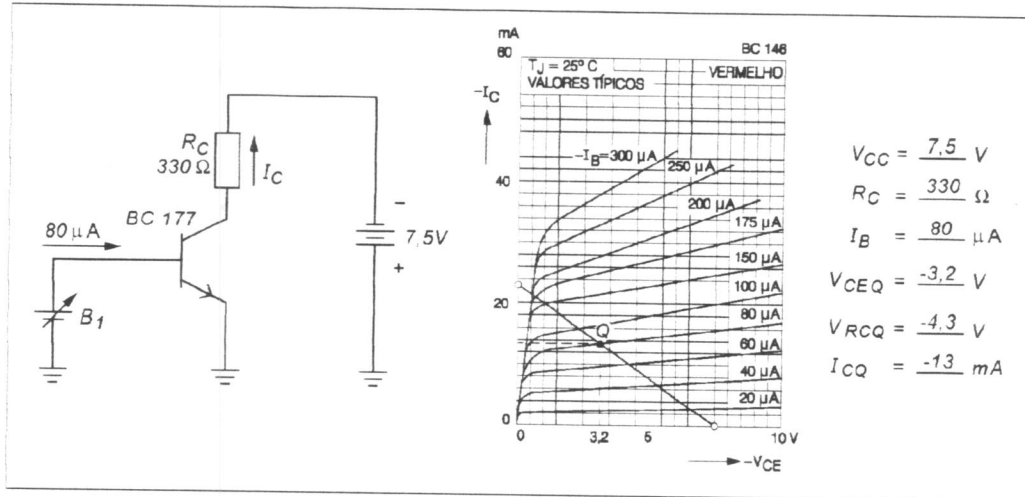
**Ponto de corte:**  $V_{CE} = V_{CC} = 6 \text{ V}$

$I_C = 0 \text{ A}$

**Ponto de saturação:**  $V_{CE} = 0 \text{ V}$

$$I_C = \frac{6\text{V}}{120\Omega} = 50\text{mA}$$

Exemplo 2

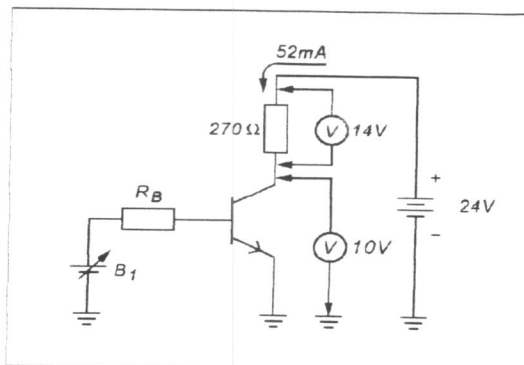


**Ponto de operação**

Ponto de operação ou ponto quiescente, representado pela letra Q, é a denominação dada ao conjunto de valores de tensão e corrente que se estabelecem automaticamente em um circuito a partir de sua alimentação.

A figura a seguir mostra um circuito com um transistor no ponto de operação (Q):

$V_{CE} = 10\text{V}$ ,  $V_{RC} = 14\text{V}$ ,  $I_C = 52 \text{ mA}$ .



Uma vez estabelecidos os valores do ponto de operação, se nenhuma modificação for realizada no circuito, os valores permanecerão constantes.

A escolha correta do ponto de operação é fundamental, na medida em que todo o funcionamento do circuito será baseado nas condições estabelecidas por este ponto.

### Influência do ponto de operação no circuito

O ponto de funcionamento determina a condição normal de funcionamento de um circuito que se estabelece a partir da alimentação. Se o ponto de operação for mal posicionado, todo o funcionamento do circuito estará prejudicado.

O ponto de operação (Q) de um circuito com um transistor estará sempre sobre a reta de carga desse circuito. Logo, pode-se afirmar que o ponto de funcionamento depende dos fatores que determinam a reta de carga, ou seja:

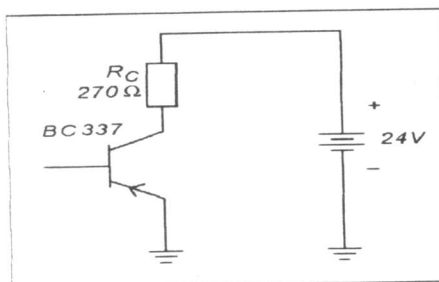
- Do transistor utilizado;
- Da tensão de alimentação ( $V_{CC}$ );
- Do resistor de coletor ( $r_c$ ).

De acordo com a função que o circuito desempenhará, o ponto de operação pode se situar em qualquer posição sobre a reta de carga do circuito.

### Observação

Na maioria dos circuitos eletrônicos, o ponto de operação está localizado na região central da reta de carga. A partir do momento em que o ponto de operação é localizado sobre a reta de carga, ficam automaticamente estabelecidos os valores da malha de coletor (saída).

Veja no exemplo a seguir um circuito no ponto de operação. Observe que ele se situa na região central da reta de carga.

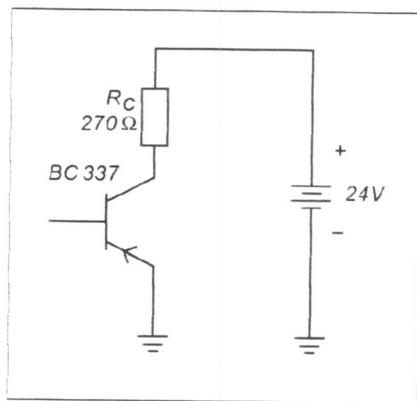


A partir desse ponto de operação obtém-se os seguintes valores:  
tensão entre coletor e emissor;

- Queda de tensão ao resistor de coletor;
- Corrente de coletor.

Esses valores são denominados respectivamente:

- $V_{CEQ}$ : tensão coletor-emissor no ponto de operação;
- $V_{RCQ}$ : queda de tensão no resistor de coletor no ponto de operação;
- $I_{CQ}$ : corrente de coletor no ponto de operação.



No exemplo usado, esses valores são:

$$V_{CEQ} = 10,5 \text{ V}, \quad V_{RCQ} = 13,5 \text{ V}, \quad I_{CQ} = 50 \text{ mA}$$

### Observação

Pequenas diferenças devido à imprecisão gráfica e espessura dos traços no desenho não são significativas.

Para obter os valores quiescente ( $V_{CEQ}$ ,  $V_{RCQ}$  e  $I_{CQ}$ ), é necessário aplicar ao transistor uma determinada corrente de base quiescente ( $I_{BQ}$ ). O valor dessa corrente é obtida no circuito, pela malha de base.

No gráfico usado como exemplo, o ponto de operação está colocado sobre a curva de  $I_B = 0,2 \text{ mA}$ . Esta é a corrente necessária para obter as condições desejadas.

### Curva de dissipação máxima

Utilizando o valor de potência de dissipação máxima do transistor e a expressão  $P_C = V_{CE} \cdot I_C$ , pode-se traçar sobre a curva de saída do transistor o limite de dissipação ponto a ponto, denominado curva (ou hipérbole) de dissipação de máxima potência.

Conhecendo-se o valor de  $P_C$ , que é dado pelo fabricante e escolhendo diversos valores para  $V_{CE}$ , obtêm-se os valores de  $I_{Cmáx}$ .

Exemplo

Transistor BC547,  $P_C = 300 \text{ mW}$  a  $25^\circ\text{C}$

Escolhendo alguns valores para  $V_{CE}$ , tais como: 5 V, 10 V, 20 V, 40 V, temos:

$$P_{Cmáx} = I_{Cmáx} \cdot V_{CE}$$

$$P_C = 0,5 \text{ W}$$

**Ponto 1:**

$$V_{CE} = 5 \text{ V};$$

$$P_C = 0,5 \text{ W.}$$

$$I_{Cmáx} = \frac{P_C}{V_{CE}} = \frac{0,5}{5} = 0,1\text{A} \quad \text{ou} \quad 100\text{mA}$$

**Ponto 2:**

$$V_{CE} = 10 \text{ V};$$

$$P_C = 0,5 \text{ W.}$$

$$I_{Cmáx} = \frac{P_C}{V_{CE}} = \frac{0,5}{10} = 0,05\text{A} \quad \text{ou} \quad 50\text{mA}$$

**Ponto 3:**

$$V_{CE} = 20 \text{ V};$$

$$P_C = 0,5 \text{ W}$$

$$I_{Cmáx} = \frac{P_C}{V_{CE}} = \frac{0,5}{20} = 0,025 \text{ A} \quad \text{ou} \quad 25 \text{ mA}$$

**Ponto 4:**

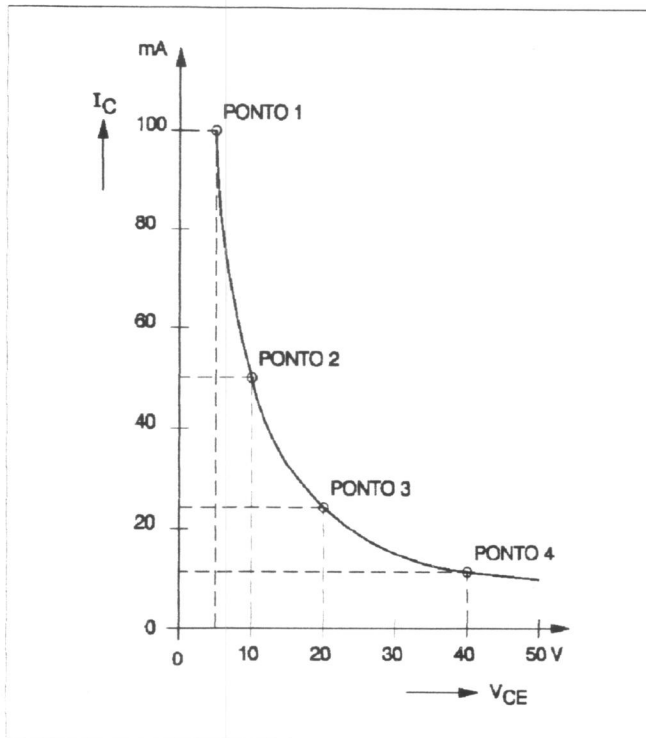
$$V_{CE} = 40\text{V};$$

$$P_C = 0,5 \text{ W}$$

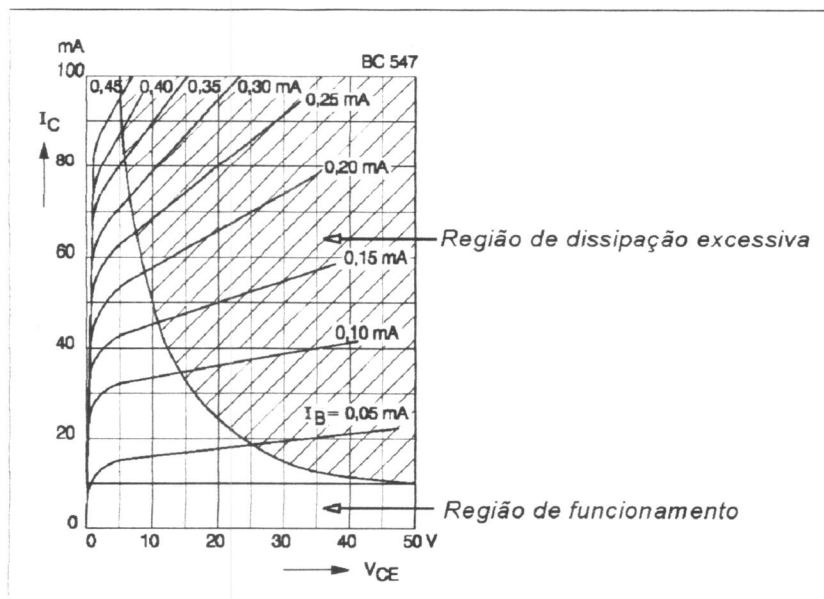
$$I_{Cmáx} = \frac{P_C}{V_{CE}} = \frac{0,5}{40} = 0,0125 \text{ A} \quad \text{ou} \quad 12,5 \text{ mA}$$



Colocando-se os pontos em dois eixos  $I_C$  e  $V_{CE}$ , tem-se a curva de dissipação máxima no transistor a  $25^\circ\text{C}$  (300 mW).



A região da curva característica de saída acima da curva traçada é denominada de região de dissipação excessiva e a região abaixo da curva traçada é a região de funcionamento.



Se for necessário determinar a redução da potência de dissipação máxima, para o funcionamento em temperaturas maiores que 25 °C, usa-se o gráfico  $P_{tot}(T_{amb})$ . Em seguida, realiza-se o traçado sobre a característica de saída utilizando o valor encontrado.

### Relação reta de carga X curva de dissipação máxima

A reta de carga expressa todas as possibilidades de funcionamento de um transistor para um determinado valor de resistor de coletor e de tensão de alimentação. Como a curva de dissipação de potência máxima estabelece o limite da região de funcionamento para um transistor, é necessário que a reta de carga, ou pelo menos o ponto Q, esteja sempre situada **abaixo** desta curva.

Os resistores de coletor  $R_C$  e as tensões de alimentação  $V_{CC}$  devem ser selecionados de modo a darem origem a retas de carga que se situem sempre abaixo da curva de limite de dissipação.

Quando a reta de carga está abaixo da curva-limite de dissipação, qualquer ponto de operação escolhido poderá ser utilizado sem o risco de provocar aquecimento excessivo no transistor.

---

# Polarização do transistor

Uma das condições mais importantes para que um circuito eletrônico transistorizado funcione adequadamente é estabelecer corretamente o ponto de operação, por meio da polarização do transistor.

Este capítulo tratará dos métodos mais simples de obtenção do ponto de operação em um circuito transistorizado de modo a fornecer, com exatidão em um circuito real, as condições previstas através das curvas características.

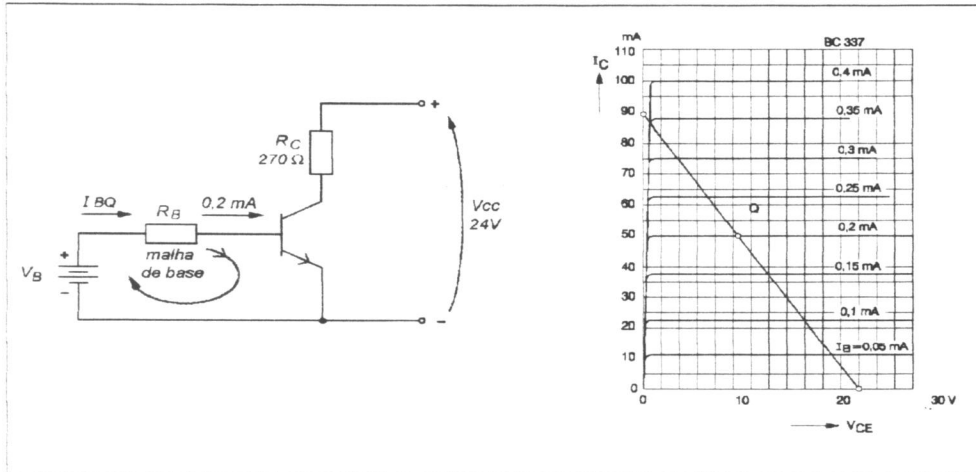
Para ter sucesso no desenvolvimento dos conteúdos e atividades deste capítulo, você deverá ter conhecimentos anteriores sobre as relações entre parâmetros, curvas características, reta de carga e ponto de operação do transistor, e divisor de tensão.

## **Polarização de base por corrente constante**

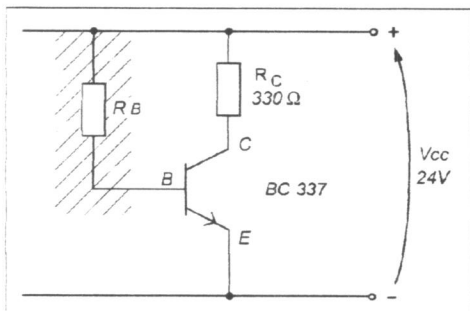
Polarização de base é o processo de obtenção da corrente de base necessária para levar o transistor ao ponto de operação.

O processo de polarização de base mais simples é o de polarização por corrente constante, ou polarização fixa.

Por meio do traçado da reta de carga e da determinação da corrente de base ( $I_B$ ) na malha de base, obtém-se o ponto de funcionamento do transistor ou ponto quiescente (Q).



No método de polarização por corrente de base constante, a corrente de base quiescente ( $I_{QB}$ ) é obtida através de um resistor, denominado de resistor de base ( $R_B$ ), que é ligado entre a base e a tensão de alimentação ( $V_{CC}$ ).

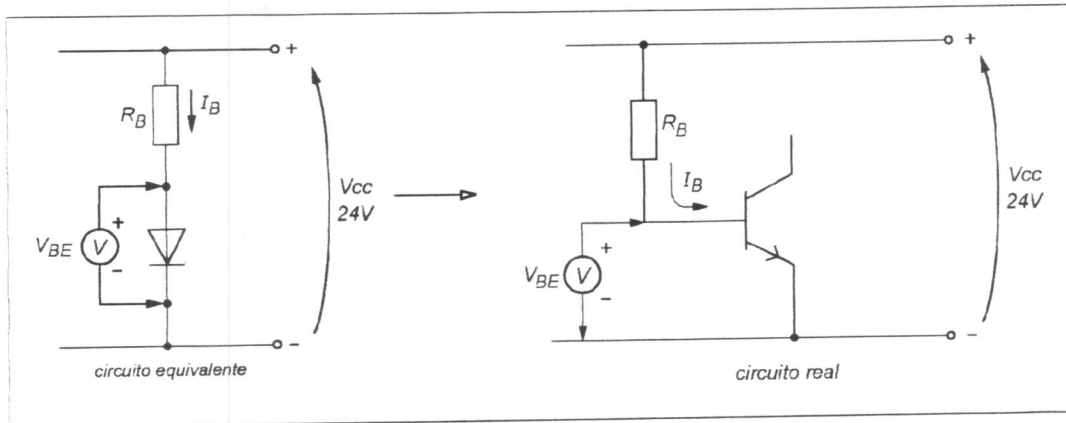


### Análise do circuito de base

O circuito de base, também denominado malha de base, compõe-se do resistor de base ( $R_B$ ) e da junção base-emissor ligados em série e aplicados à tensão de alimentação.

Considerando que a junção base-emissor do transistor se comporta como um diodo, em um circuito equivalente, verifica-se que o "diodo base-emissor" é polarizado diretamente e permite a circulação da corrente através do resistor.

Essa corrente é a corrente de base.



### Determinação do resistor de base

A corrente quiescente que circula na base do transistor ( $I_B$ ) depende dos seguintes valores:

- Valor do resistor (elemento de controle);
- Tensão de alimentação (já definida);
- Do tipo de transistor utilizado (já definido).

Do circuito equivalente verifica-se que a corrente circulante na base é dada pela expressão:

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$$

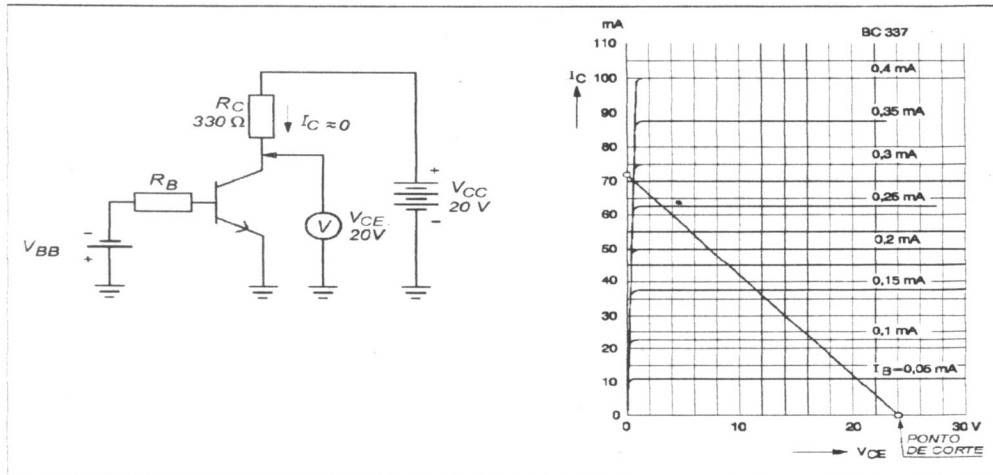
Nessa igualdade,  $V_{CC}$  é a tensão de alimentação,  $V_{BE}$  é a ddp na junção base-emissor e  $R_B$  é o resistor de base.

Operando essa expressão, obtém-se a fórmula para determinar o resistor de base:

$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_{BQ}}$$

Um exemplo completo de determinação do resistor de base para a obtenção de um ponto de operação desejado é apresentado a seguir.

A reta de carga correspondente apresenta o ponto de corte sobre o eixo horizontal.

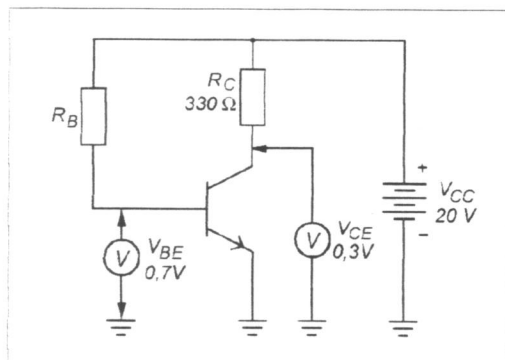


### Observação

Em geral, nos transistores de silício, basta cortar a corrente de base para levar o transistor ao corte, sendo desnecessário polarizar inversamente a junção BE.

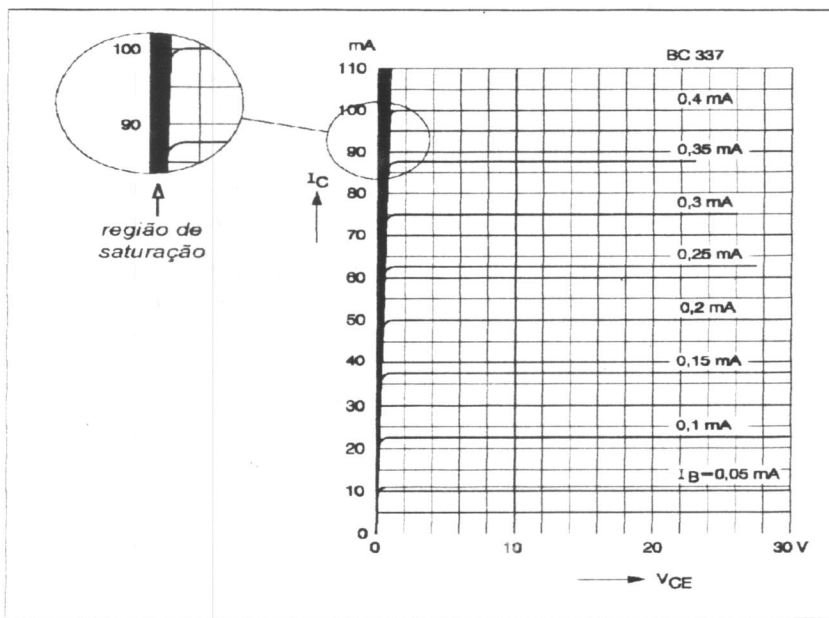
### Região de saturação

Um transistor está na região de saturação, quando a tensão  $V_{BE}$  é maior que a tensão  $V_{CE}$ . Isso ocorre quando as junções BE e BC estão polarizadas diretamente. Veja figura a seguir.

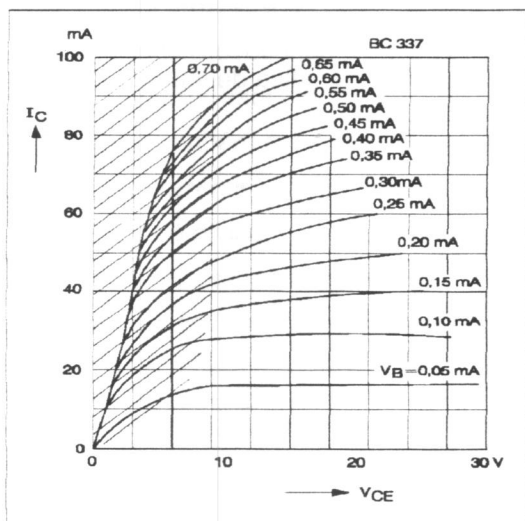


O que caracteriza a região de saturação é o fato de que a junção coletor-base também fica diretamente polarizada em virtude de  $V_{BE}$  ser maior que  $V_{CE}$ .

Na curva característica de saída, a região de saturação fica próxima ao eixo vertical, onde os valores de  $V_{CE}$  são mínimos e os valores de  $I_C$  são máximos.



Nas curvas características de saída normais, a região de saturação corresponde a uma faixa muito estreita. Por isso, alguns manuais trazem uma segunda curva característica de saída somente para a região de saturação.



Como a tensão  $V_{BE}$  depende da tensão fornecida pelo divisor de tensão (fixa) e de  $V_{RE}$ , observa-se que o seu valor decresce.

$$V_{BE} = V_B - V_{RE}$$

$V_B$  é fixo

$V_{RE}$  aumenta

$V_{BE}$  diminui

$V_{RE} \uparrow$

$V_{BE} \downarrow$

Diminuindo o  $V_{BE}$  do transistor, a corrente de base  $I_B$  diminui.

$V_{BE} \downarrow$

$I_B \uparrow$

A redução em  $I_B$  ocorre na proporção correta para reduzir a corrente de coletor ao seu valor original.

Condição Final  $I_B \downarrow$  à  $I_C \downarrow$  (Volta ao valor original)

Com esse processo de correção, o circuito é praticamente insensível às variações de temperatura.



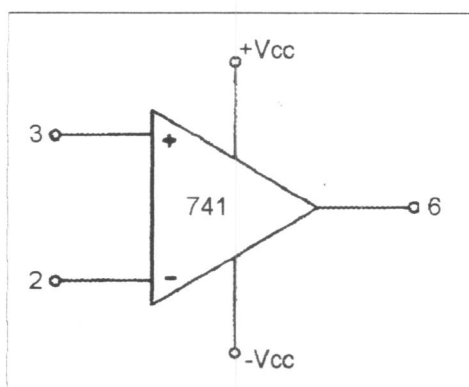
# Amplificador operacional

Os amplificadores operacionais são um exemplo característico de circuito eletrônico fornecido sob a forma de circuito integrado.

Neste capítulo você terá informações detalhadas sobre os amplificadores operacionais, suas características e modo de utilização. Com essas informações, você será capaz de utilizar e reparar equipamentos que os empreguem. Para aprender esses conteúdos com mais facilidade, você deverá ter conhecimentos anteriores sobre circuito integrado e relação de fase entre sinais.

## Amplificador operacional

O amplificador operacional, também chamado de AO, é um CI com características que o aproximam às de um amplificador ideal. É um circuito versátil, aplicável em muitas áreas específicas da eletrônica, tais como: instrumentação, circuitos industriais, circuitos de áudio, circuitos eletrônicos para cálculo e filtros de sinais.



A denominação “amplificador operacional” deve-se ao fato de que esses circuitos foram utilizados inicialmente para realizar operações matemáticas como adição, subtração e multiplicação.

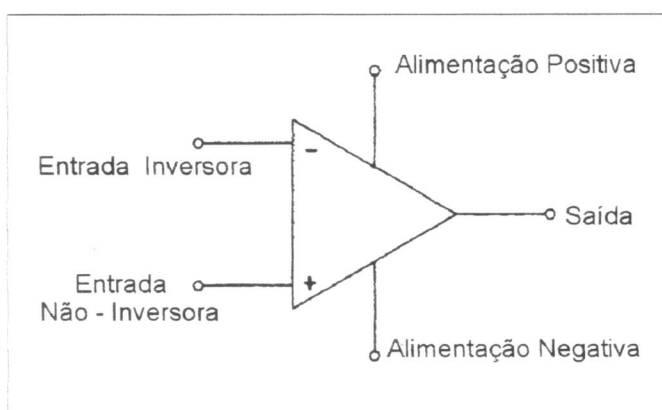
### Terminais do amplificador operacional

O símbolo utilizado para representar o amplificador operacional é um triângulo que aponta no sentido do fluxo de sinal. Ao triângulo são acrescentados terminais que apresentam os pontos de conexão com o circuito externo.

Existem fundamentalmente cinco terminais que fazem parte de todos os tipos de amplificadores operacionais:

- Dois terminais de alimentação;
- Um terminal de saída;
- Um terminal de entrada não-inversora;
- Um terminal de entrada inversora.

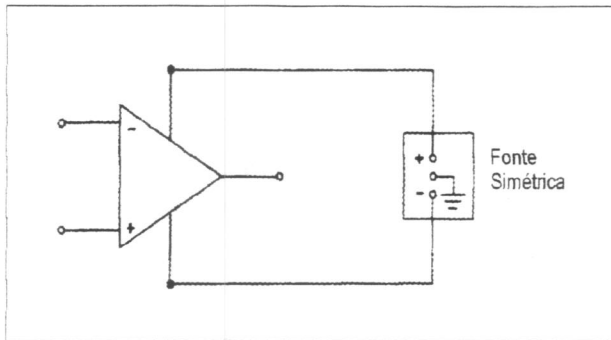
Veja a distribuição desses pinos na figura abaixo:



### Terminais de alimentação

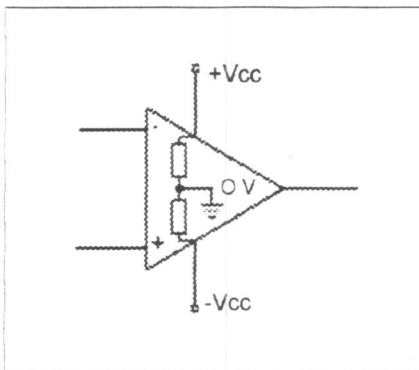
Os amplificadores operacionais apresentam uma característica singular em relação às tensões de alimentação, ou seja, eles são alimentados por duas tensões simétricas (por exemplo: +15 e -15V).

A figura abaixo ilustra uma forma comum de alimentação de um AO a partir de uma fonte simétrica.

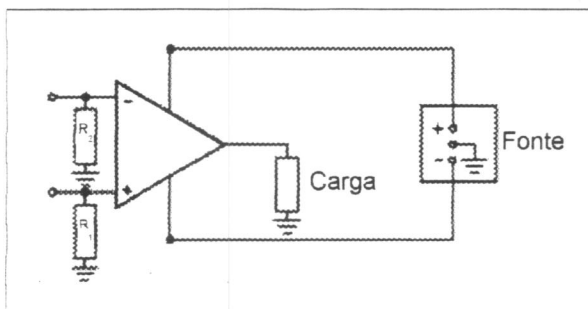


Observe que os AOs não são ligados diretamente ao "terra" ou 0V da fonte simétrica. O próprio circuito interno do componente obtém o terra.

Isso não significa que os outros componentes ou circuitos que estejam ligados ao AO não necessitem de terra. O terra para o circuito externo é fornecido no terminal 0 de fonte simétrica.



Veja na figura abaixo, um exemplo de um circuito onde existem componentes externos ligados ao terra.



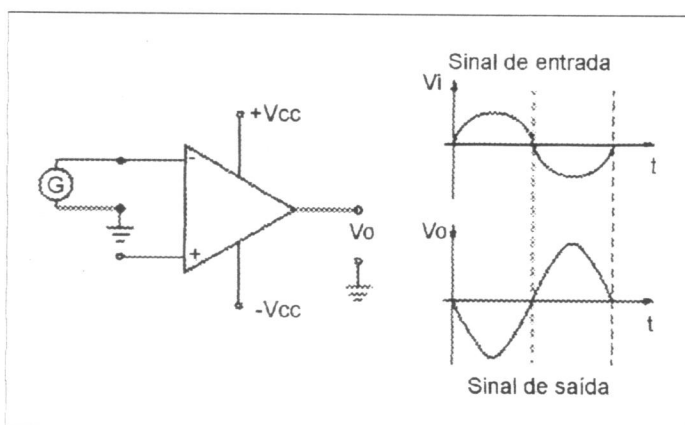
## Terminais de entrada

A finalidade de um amplificador operacional é realizar uma amplificação tanto de tensões contínuas quanto alternadas. Isso acontece de tal forma que a relação de fase depende da maneira como são ligadas as suas entradas.

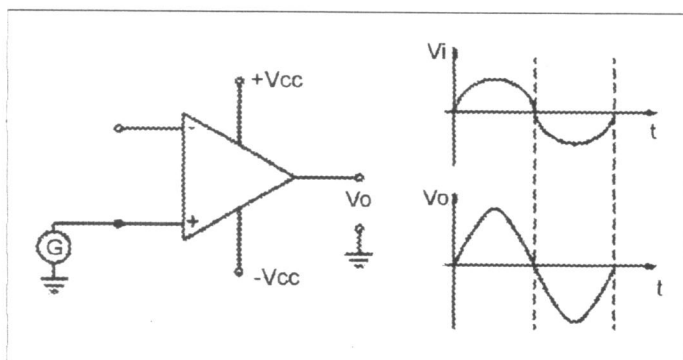
Assim, os amplificadores operacionais possuem duas entradas de sinal:

- Uma entrada inversora, indicada pelo sinal “-” no símbolo do componente;
- Uma entrada não-inversora indicada pelo sinal “+”.

Para os sinais ou tensões aplicadas na entrada inversora (-), o AO se comporta como um amplificador com relação de fase de  $180^\circ$  entre saída e entrada, ou seja, se o sinal aplicado na entrada “-” torna-se mais positivo, o sinal de saída torna-se mais negativo.



Para os sinais aplicados à entrada não-inversora (+), o AO se comporta como um amplificador com relação de fase de  $0^\circ$  entre a saída e a entrada, ou seja, se o sinal aplicado na entrada “+” torna-se mais positivo, o sinal de saída torna-se mais positivo.



Quando o sinal é aplicado entre uma entrada e outra, o AO atua como amplificador diferencial, amplificando a diferença entre as duas tensões de entrada.

## Características do amplificador operacional

As características (ou parâmetros) de um AO são informações fornecidas pelos fabricantes. Elas possibilitam ao usuário determinar entre diversos AOs aquele que melhor se aplica à sua necessidade.

As características mais importantes são:

- Impedância de entrada;
- Impedância de saída;
- Ganho de tensão diferencial em malha aberta;
- Tensão offset de saída;
- Rejeição de modo comum;
- Banda de passagem.

Essas características podem ser analisadas segundo dois pontos de vista: considerando o AO como ideal ou considerando-o como real. Por isso, as características a seguir serão analisadas segundo uma comparação entre o ideal e o real.

A impedância de entrada é aquela que existe entre os terminais de entrada do amplificador operacional. É denominada  $Z_i$ .

Um amplificador operacional ideal deve apresentar impedância de entrada infinita ( $Z_i = \infty$ ). Nesse caso, as entradas de sinal não absorvem corrente, operando apenas com tensão.

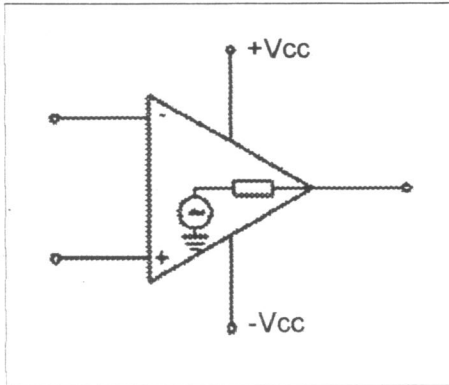
$$i_i = \frac{V_i}{Z_i}$$

Como  $Z_i = \infty$ ,  $i_i = \frac{V_i}{\infty}$ , logo  $i_i = 0$ .

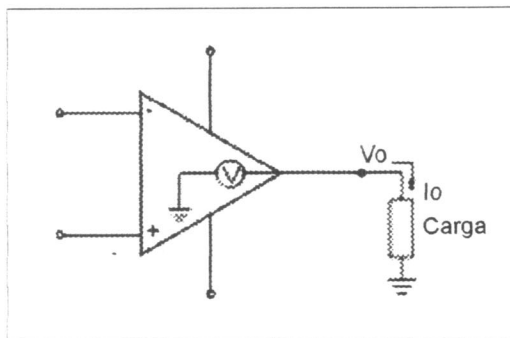
Os amplificadores operacionais reais têm uma impedância de entrada da ordem de vários megaohms ( $M\Omega$ ).

Devido a esse alto valor de  $Z_i$ , os amplificadores operacionais reais podem ser considerados como ideais em relação à impedância de entrada. Essa aproximação do ideal permite que se admita que as entradas de um AO real não absorvam corrente.

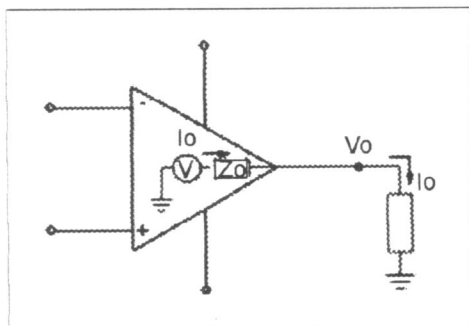
A impedância de saída é a impedância do estágio de saída do AO ( $Z_o$ ). No nível de circuito equivalente, a impedância de saída pode ser representada como um resistor em série com o terminal de saída ( $Z_o$ ).



Um amplificador operacional ideal deve apresentar impedância de saída nula (zero  $\Omega$ ), ou seja, comporta-se como uma fonte de tensão ideal para a carga, sem resistência interna.



Isso permite que a tensão na saída de um AO ideal dependa apenas dos sinais de entrada e da amplificação, sendo independente da corrente solicitada pela carga.



Em um amplificador operacional real, a impedância de saída existe e pode variar desde poucos ohms ( $5 \Omega$ , por exemplo) até valores como  $1000 \Omega$ . Essa impedância atua como uma resistência interna e provoca uma queda na tensão de saída.

Portanto, a tensão VO na saída de um AO real depende:

- Das tensões nas entradas;
- Do ganho do AO;
- Da corrente solicitada pela carga.

### Observação

Através de recursos externos ao AO, em alguns casos, pode-se reduzir a impedância de saída para menos de  $1 \Omega$ .

O sinal a ser amplificado por um AO pode ser aplicado de três maneiras:

- Entre entrada inversora (-) e terra;
- Entre entrada não-inversora (+) e terra;
- Entre as duas entradas.

Quando o sinal é aplicado entre uma entrada e a outra, o amplificador atua como amplificador diferencial, amplificando a diferença entre as duas tensões de entrada.

Nessa condição o ganho obtido entre saída e entrada é denominado de ganho de tensão diferencial e pode ser de dois tipos: em malha aberta e em malha fechada.

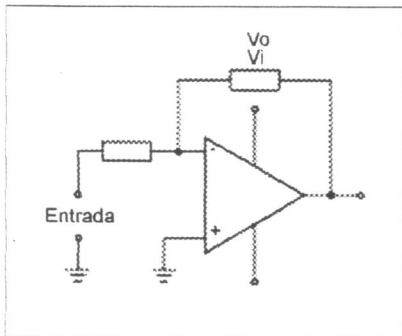
Nos "databooks" (circuitos lineares) os fabricantes fornecem o ganho de tensão diferencial em malha aberta ( $A_d$ ), que é a amplificação fornecida pelo AO quando não há ligação externa entre o terminal de saída e entrada (sem realimentação).

O ganho de tensão diferencial em malha aberta de um AO ideal deve ser infinito ( $A_d = \infty$ ).

O ganho de tensão diferencial em malha aberta em um AO real varia entre  $10^3$  e  $10^9$ . Nos manuais este ganho normalmente é expresso em decibéis:

O ganho fornecido por um AO pode ser diminuído desde o valor  $A_d$  (ganho diferencial em malha aberta) até o valor 1, se necessário. Essa redução é obtida pela realimentação fornecida por componentes externos ao AO e que interligam a saída com a entrada.

Veja o circuito amplificador com AO e com componentes para realimentação (malha fechada).



### Observação

Esta é uma das características mais importantes de um AO; o ganho em malha fechada definido somente pelos componentes externos que fazem a realimentação.

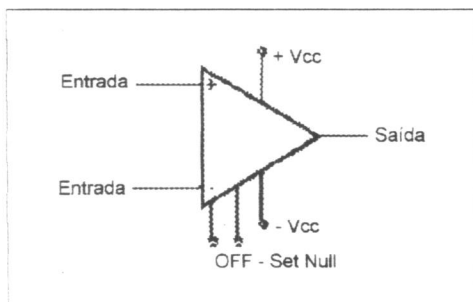
A tensão offset de saída é qualquer valor de tensão que esteja presente na saída de um AO que tem as entradas aterradas (a zero volt).

Em um AO ideal, a tensão offset de saída é nula, ou seja, a saída deve estar a “zero volt” se ambas as entradas forem levadas ao potencial de terra.

No AO real a tensão offset é da ordem de poucos milivolts.

Alguns amplificadores operacionais têm terminais que possibilitam, através de circuitos externos, ajustar a tensão de saída para zero quando as entradas forem levadas ao potencial de terra. Este ajuste normalmente é denominado de “offset null”.

A figura abaixo mostra símbolo de um AO com dois terminais específicos para esse ajuste.





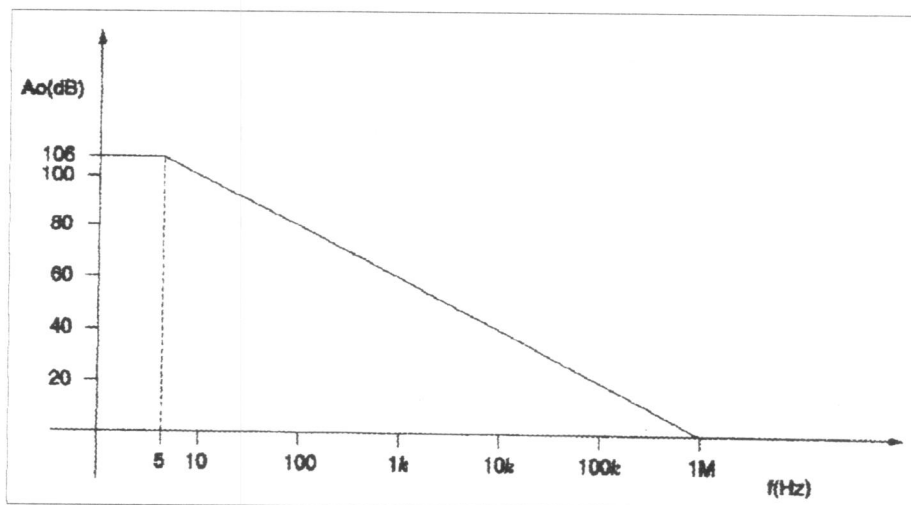
A rejeição de modo comum (CMRR) é a capacidade que um amplificador operacional tem de não amplificar tensões que sejam comuns às duas entradas porque não há diferença a ser amplificada.

A rejeição de modo comum também é conhecida como ganho de modo comum ( $A_{VCM}$ ). Um amplificador operacional ideal deve ter uma rejeição de modo comum infinita (CMRR =  $\infty$ ), amplificando apenas a diferença entre a tensão das duas entradas.

Um amplificador operacional real amplifica também as tensões comuns aos dois terminais de entrada, mas com ganho muito menor (centenas de vezes menor).

Como o ganho diferencial não é constante ao longo de todas as faixas de frequências amplificadas, denomina-se banda de passagem a faixa de frequências em que o ganho do circuito se mantém até 70% do ganho máximo (que corresponde a - 3db em relação ao máximo).

O gráfico 1 mostra o ganho de um AO em função da frequência amplificada.



Por esse gráfico se observa que até 5Hz o ganho do AO é constante (106dB = 20000). A partir de 5Hz, o ganho decresce com aumento da frequência até que em 1MHz, o ganho é igual a 1. Existem configurações de ligação do AO que permitem estender a banda de passagem para até centenas de quilohertz e até mesmo megahertz, no caso de alguns amplificadores operacionais especiais.

### **Amplificador operacional 741**

Um dos amplificadores operacionais mais usados na atualidade é o 741. Seu campo de aplicação é tão extenso que um grande número de fabricantes de circuitos

integrados produz amplificadores operacionais com características e designações praticamente idênticas (MA 741, LM 741, MC 741, SN 72741).

Uma análise comparativa entre o 741 e um AO ideal mostra que, em muitas características o 741 pode ser considerado como "ideal". Isso é mostrado na tabela a seguir.

Característica	Ideal	741
Impedância de entrada ( $Z_i$ )	$\infty (\Omega)$	$2M\Omega$
Impedância de saída ( $Z_o$ )	$0(\Omega)$	$75\Omega$
Ganho em malha aberta ( $A_{vol}$ )	$\infty$	106dB(200000)
Rejeição de modo comum	$\infty$	90dB

### Outras características

Além das características internas importantes, os manuais trazem especificações relativas aos fatores externos ao amplificador operacional. Esses valores são máximos e, se excedidos, podem danificar permanentemente o componente. São eles:

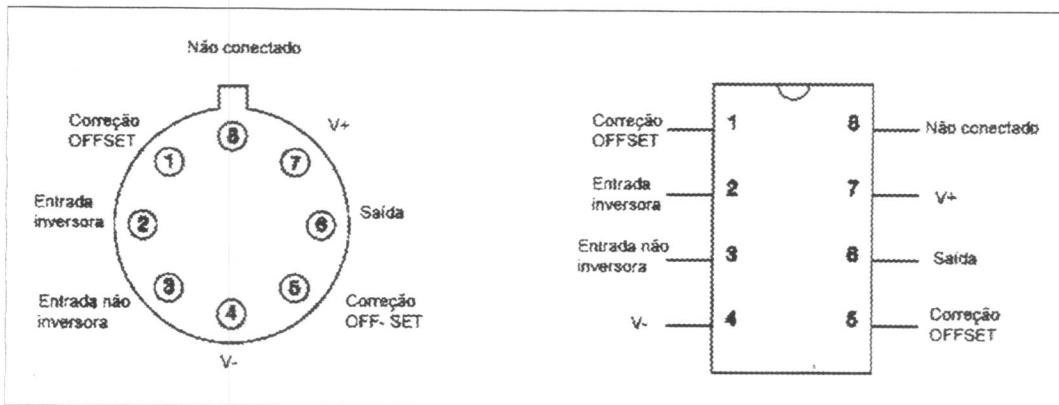
- Tensão de alimentação: + 22V;
- Dissipação de potência: 500mw;
- Tensão de entrada: + 15V (tensão máxima que pode ser aplicada entre uma entrada inversora ou não-inversora e o terra. Em qualquer caso, não deve exceder a tensão de alimentação);
- Tensão de entrada diferencial: + 30V (tensão máxima que pode ser aplicada entre as duas entradas: inversora e não-inversora);
- Duração de curto-circuito na saída: indefinida (o AO LM741 tem um circuito interno de proteção contra sobrecarga);
- Temperatura máxima de operação: 0°C a 70°C.

### Observação

As características apresentadas correspondem ao AO LM 741.

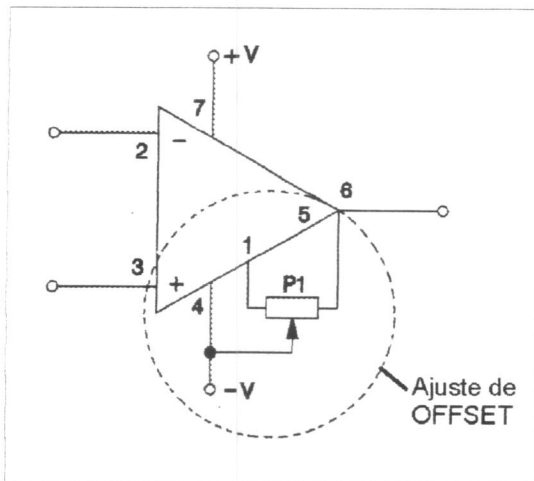
### Ajuste de offset de saída

A figura abaixo mostra a disposição dos terminais do 741 nos encapsulamentos circular e DIL.



Os dois terminais indicados com a designação "offset null" são utilizados para a correção do offset na tensão de saída através do circuito externo.

A figura ao lado mostra o AO 741 com o circuito externo necessário para o ajuste da offset da tensão de saída.



### Circuitos lineares com amplificador operacional

No capítulo sobre o amplificador operacional, foram apresentadas características fundamentais do AO e também o ajuste de offset de saída, necessária para o seu correto funcionamento.

Neste capítulo serão apresentados circuitos aplicativos que utilizam amplificadores operacionais e que são muito usados em equipamentos industriais.

Para ter sucesso no desenvolvimento dos conteúdos e atividades deste capítulo, você deverá ter conhecimentos anteriores sobre amplificador operacional e Leis de Ohm e Kirchhoff.

### Característica de transferência de um AO

O ganho de um AO em malha aberta (sem realimentação) é altíssimo, atingindo valores da ordem de 10.000 ou mais.

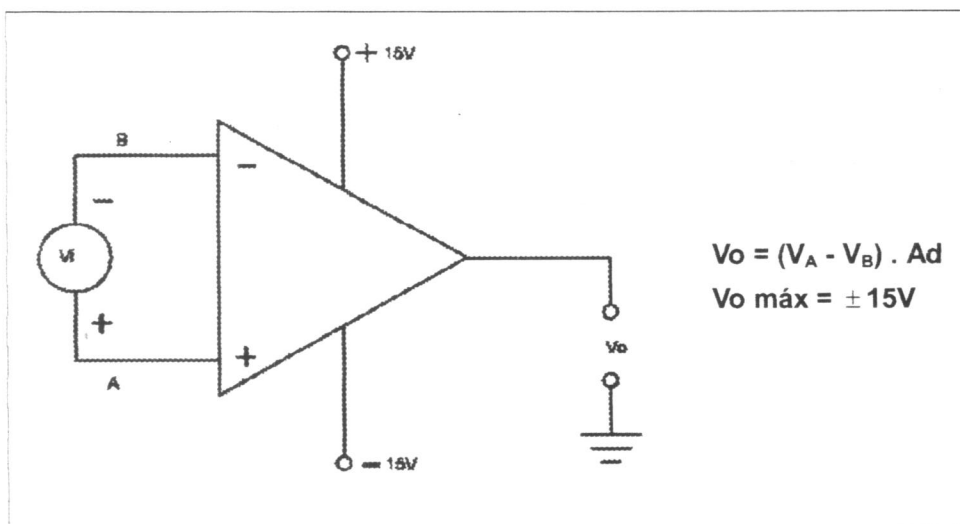
Assim, se uma diferença de 10 milivolts for aplicada entre as duas entradas de um AO com um ganho de 10.000, por exemplo, a tensão de saída será:

$$V_o = (V_A - V_B) \cdot A_d$$

Como  $V_a - V_b = 10\text{mV}$ ,  $V_o = 0,01 \cdot 10.000 = 100 \text{ V}$

Portanto,  $V_o = 100\text{V}$ .

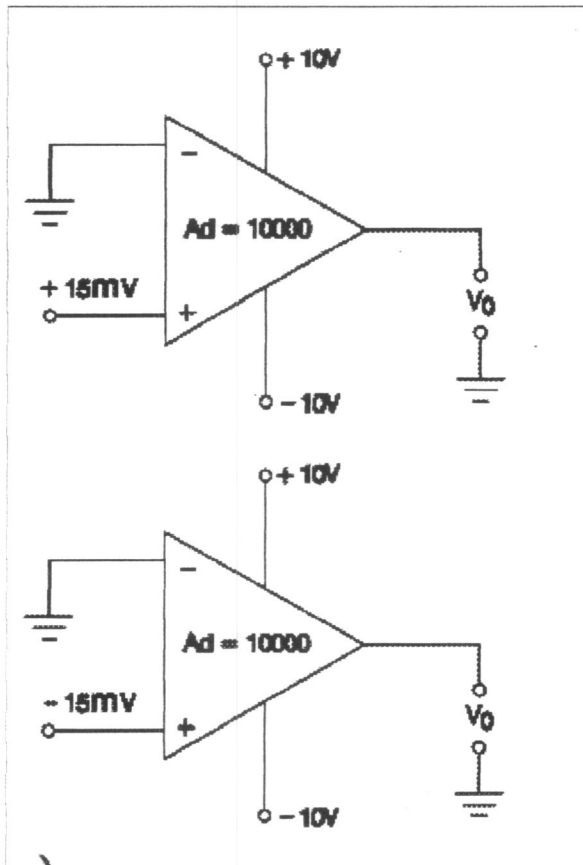
Entretanto, como a maioria dos AOs é alimentada a partir de fontes de baixa tensão ( $\pm 15\text{V}$ , por exemplo), a tensão de saída nunca sobe além do valor de alimentação.



Quando a tensão de saída de um AO atinge um valor igual (ou próximo) à tensão de alimentação, diz-se que ele atingiu a saturação.

Como um AO é alimentado por tensões simétricas, a saturação pode ocorrer tanto para a tensão de saída positiva quanto para a negativa.

Essas situações são chamadas de saturação positiva e saturação negativa.



$$V_o = V_i \cdot A_d \quad V_o = 0,015V \cdot 10000 = 150V$$

$$V_o = \text{limitada A} + 8,5V$$

#### Saturação Positiva

$$V_o = V_i \cdot A_d \quad V_o = -0,015V \cdot 10000 = -150V$$

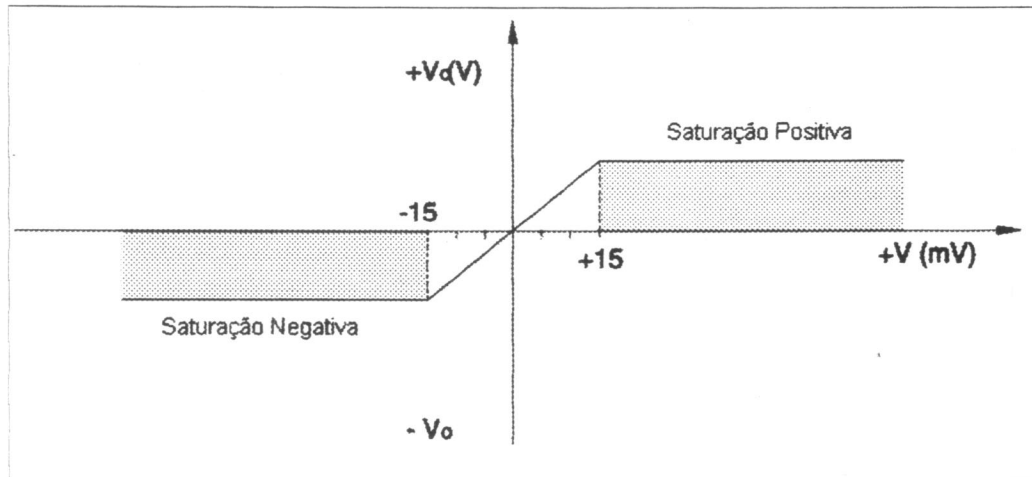
$$V_o = \text{limitada A} - 8,5V$$

#### Saturação Negativa

Quanto maior for o ganho em malha aberta ( $A_d$ ) de um AO, menor será a tensão entre as entradas para levá-lo à saturação.

### Característica de transferência do amplificador operacional

Colocando-se em gráfico o comportamento do AO, obtém-se o resultado mostrado a seguir.



Esse gráfico é denominado de característica de transferência do AO.

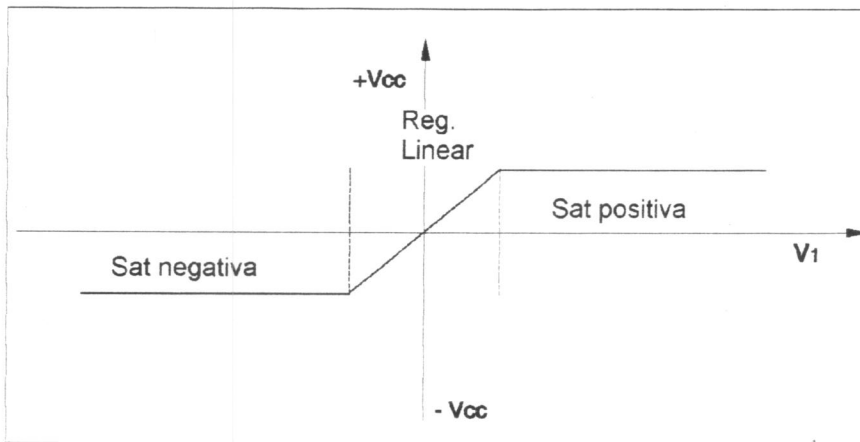
Nesse gráfico enquanto a tensão entre as entradas está abaixo de 15mV (positivos ou negativos), a tensão de saída obedece à equação  $V_o = V_i \cdot A_d$  e corresponde a uma versão amplificada do sinal  $V_i$ .

Essa equação resulta em um comportamento linear (reta inclinada) na região central da característica de transferência.

Devido à linearidade da tensão de saída em função da tensão de entrada, esta região é denominada de região linear.

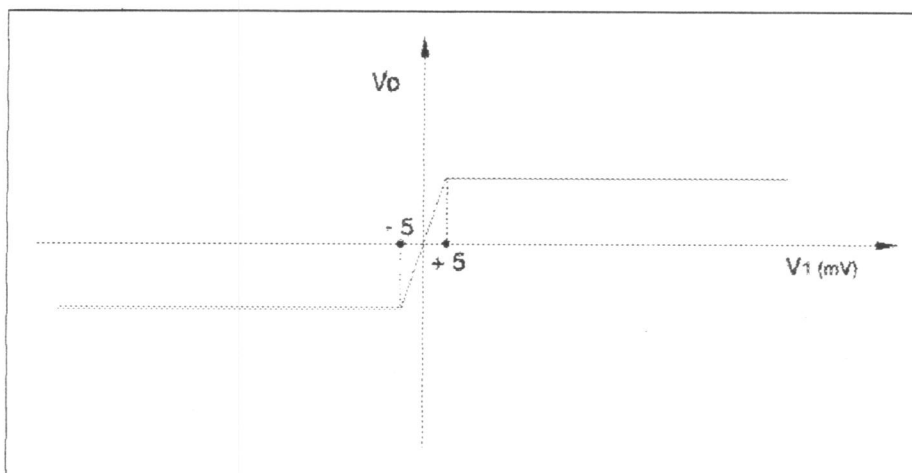
Um AO funcionando como amplificador deve trabalhar somente na região linear, onde a tensão  $V_o$  é uma réplica amplificada da tensão  $V_i$ .

O gráfico abaixo mostra a característica de transferência de um AO com as três regiões de funcionamento.



### Amplificação da região de operação linear

Devido ao alto ganho de malha aberta, a região linear é muito estreita, situando-se entre alguns milivolts positivos e negativos.

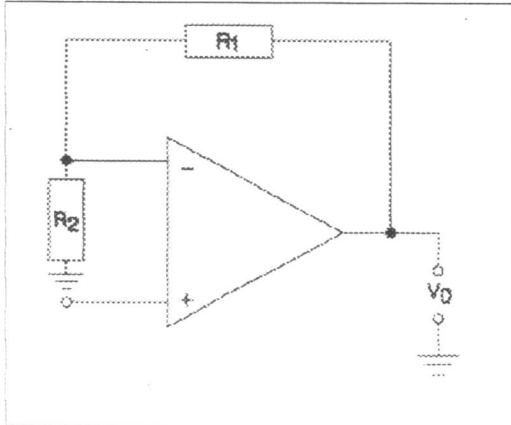


Isso significa, por exemplo, que, se um AO sem alimentação fosse usado como amplificador de sinais, o sinal de entrada teria que estar limitado a poucos milivolts.

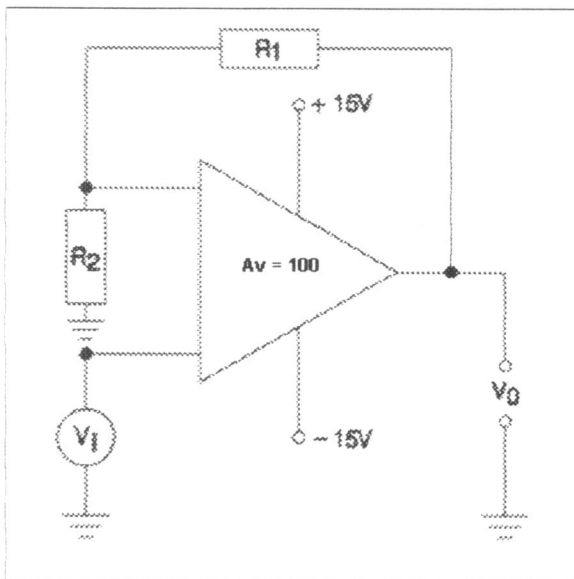
Com a utilização da realimentação negativa, a região linear de operação de um AO pode ser ampliada através da redução do ganho.

A realimentação negativa consiste em fazer retornar uma parte do sinal de saída para a entrada inversora, através de um circuito externo.

Veja na figura abaixo um amplificador operacional com um divisor de tensão externo ( $R_1$  e  $R_2$ ) que faz a realimentação negativa.



Supondo-se, por exemplo, um circuito com ganho de tensão  $A_v = 100$ , estabelecido por  $R_1$  e  $R_2$  e com alimentação de + 15Vcc.

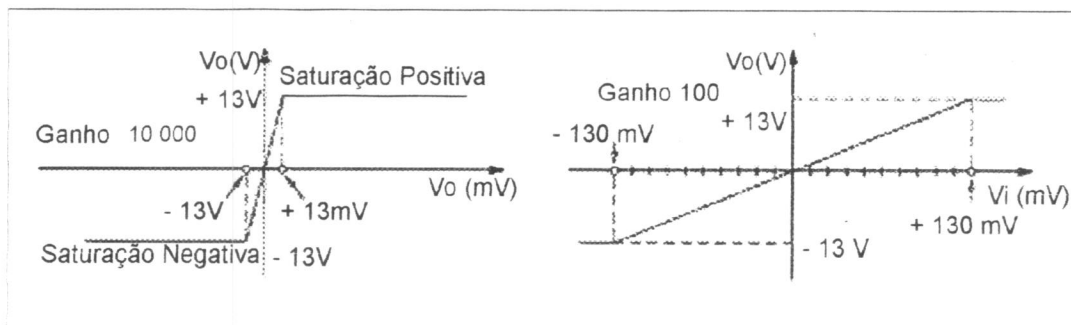




A tensão  $V_o$  está limitada aos valores  $+13V$  aproximadamente. Para que se obtenha  $+13V$  na saída com um circuito com ganho 100, é necessário aplicar  $+0,13V$  ou  $-0,13V$  à sua entrada.

$$V_o = V_i \cdot A_v \quad \Rightarrow \quad \begin{aligned} 0,13V \cdot 100 &= +13V \\ &\text{ou} \\ 0,13V \cdot 100 &= -13V \end{aligned}$$

Comparando-se as características de transferência de um AO em malha aberta e em malha fechada com ganho 10, no exemplo, verifica-se a amplificação da região linear de alguns milivolts até  $13mV$ .



Os gráficos mostram como a redução do ganho permite um aumento da região linear.

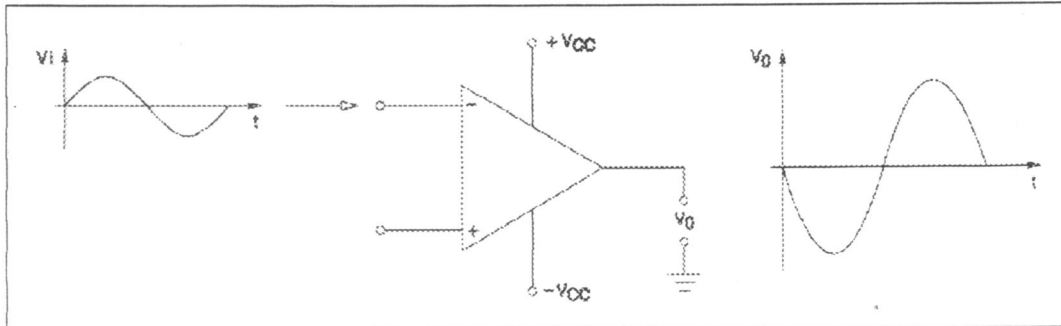
### Circuitos lineares

Os circuitos que usam AOs na região linear são chamados de circuitos lineares. Como exemplo desse tipo de circuito, podemos citar:

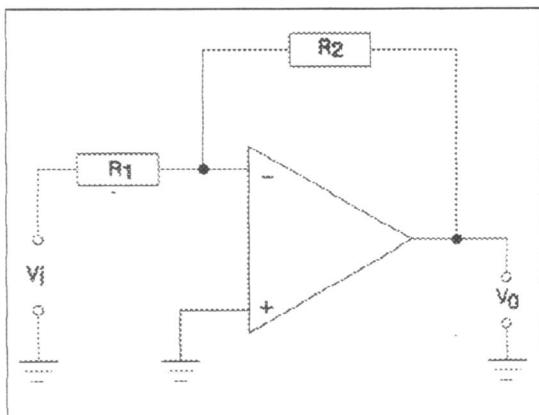
- Amplificador inversor;
- Amplificador não-inversor;
- Somador.

## Amplificador inversor

O amplificador operacional possui uma entrada inversora de sinal que permite sua utilização como amplificador de sinal com inversão de fase de  $180^\circ$  entre saída e entrada.



Para que o AO opere na região linear, é necessário acrescentar a malha de realimentação negativa ao circuito. A figura a seguir mostra a configuração de um amplificador inversor com AO.

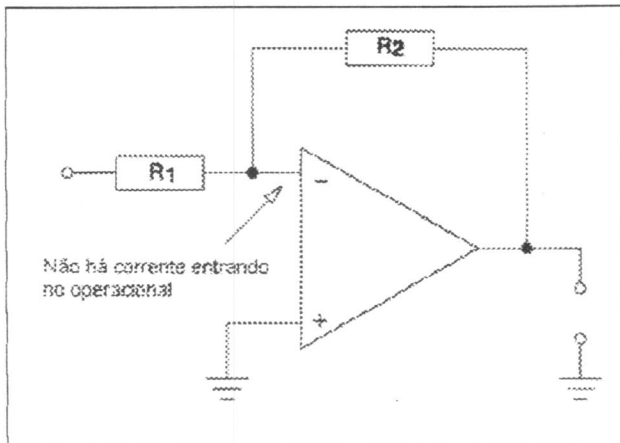


### Observação

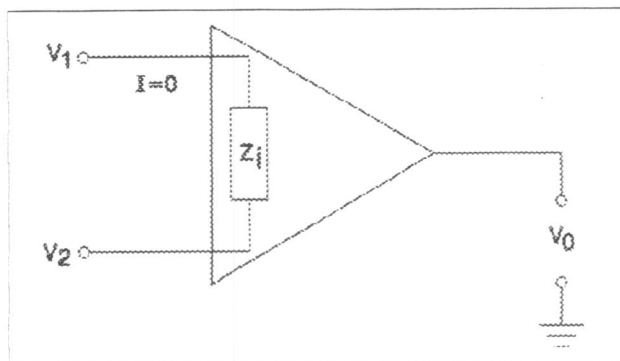
Para maior clareza da figura, foram omitidos os terminais de alimentação e offset.

**Ganho do amplificador inversor** - O ganho ( $A_d$ ) do amplificador inversor depende apenas dos componentes da malha de realimentação. Esta dependência pode ser comprovada com base numa análise do circuito. Para isso, vamos considerar a impedância de entrada como ideal (infinita).

Desse modo, a entrada do sinal não absorve corrente do circuito externo.



Uma vez que não há circulação de corrente na entrada do AO, a queda de tensão na impedância de entrada é nula.

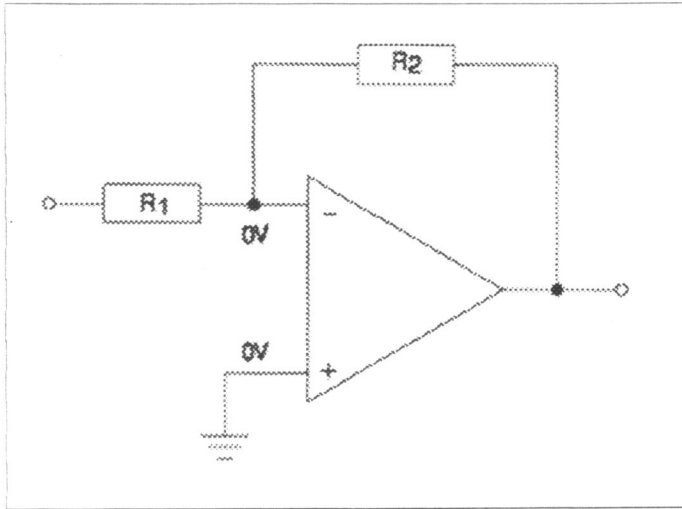


$$V_2 = 0$$

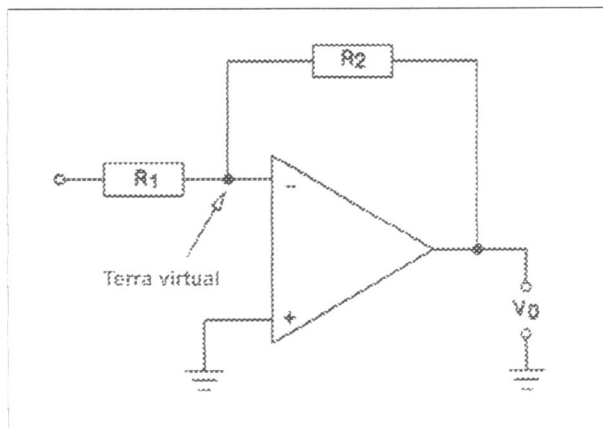
$$V_1 = I_i \cdot Z_i$$

Como  $I_i = 0$ , então  $V_1 = 0V$

Tanto a entrada não-inversora (aterrada) como a inversora têm potencial de 0V. Embora a entrada inversora (-) não esteja ligada fisicamente ao terra, seu potencial é nulo.



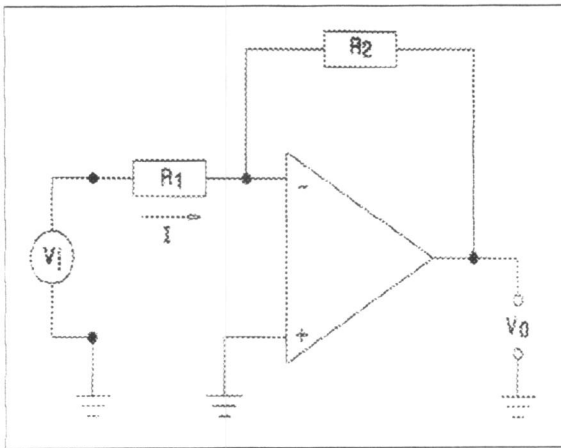
Esse ponto é denominado de terra virtual.



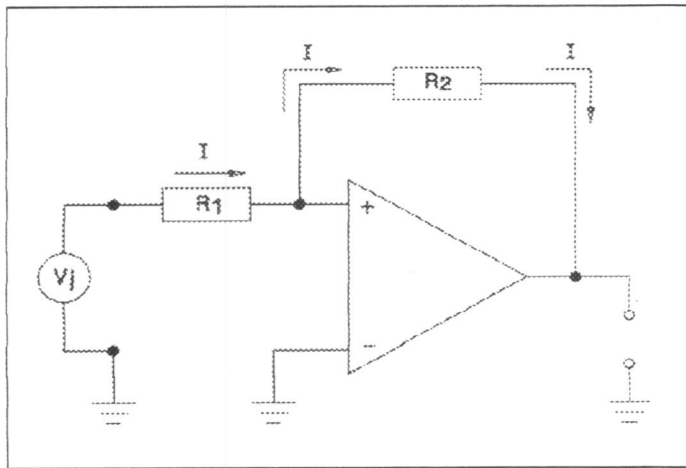
Quando se aplica uma tensão à entrada do amplificador inversor, uma corrente circula no resistor R1. Como se considera o terra virtual a 0V, o valor desta corrente é dado pela Lei de Ohm.

$$I = \frac{V_i}{R_1}$$

$$V_i = I \cdot R_1$$



Uma vez que a entrada do amplificador operacional não absorve corrente, a mesma corrente que circula no resistor R1 passa através de R2.



O resistor R2 está ligado entre a saída do circuito e o terra virtual (0V) de forma que a queda de tensão em R2 é igual à tensão de saída Vo. Esta tensão pode ser calculada pela Lei de Ohm.

$$V_o = I \cdot R_2$$

Como dispomos das equações de  $V_o$  e  $V_i$ , pode-se determinar a equação do ganho do circuito amplificador inversor.

$$AV = \frac{V_o}{V_i} \quad AV = \frac{I \cdot R_2}{I \cdot R_1}$$

**Observação**

O sinal negativo (-) na frente da expressão indica a inversão de fase (180°).

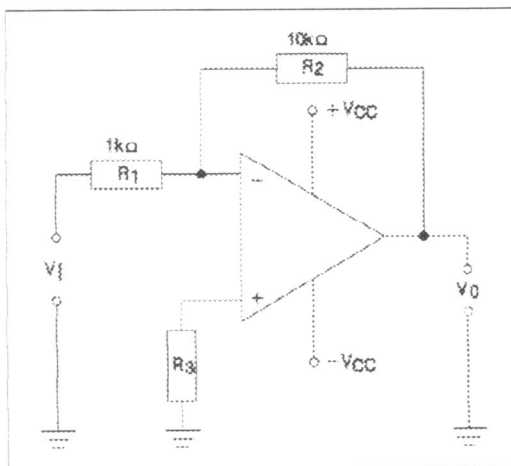
Simplificando o termo I, comum ao denominador e ao numerador, tem-se a equação pronta:

$$Ad = \frac{R_2}{R_1}$$

A equação mostra que o ganho do circuito depende apenas dos componentes que compõem a malha de realimentação.

A figura ao lado mostra um amplificador inversor com ganho - 10 (10 com inversão de fase). O resistor  $R_3$  não influencia no ganho e seu valor deve ser igual ao paralelo  $R_1$  e  $R_2$ .

$$R_3 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$



### Impedância de entrada do amplificador inversor

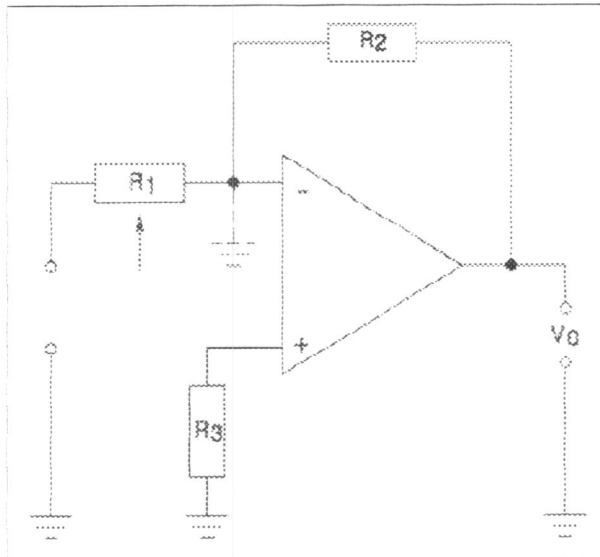
Admitindo-se que o terminal de entrada inversora é um terra virtual, a impedância de entrada do circuito ( $Z_i$ ) será o próprio valor de resistor onde se aplica o sinal, ou seja,

$$Z_i = R_1.$$

### Impedância de saída do amplificador inversor

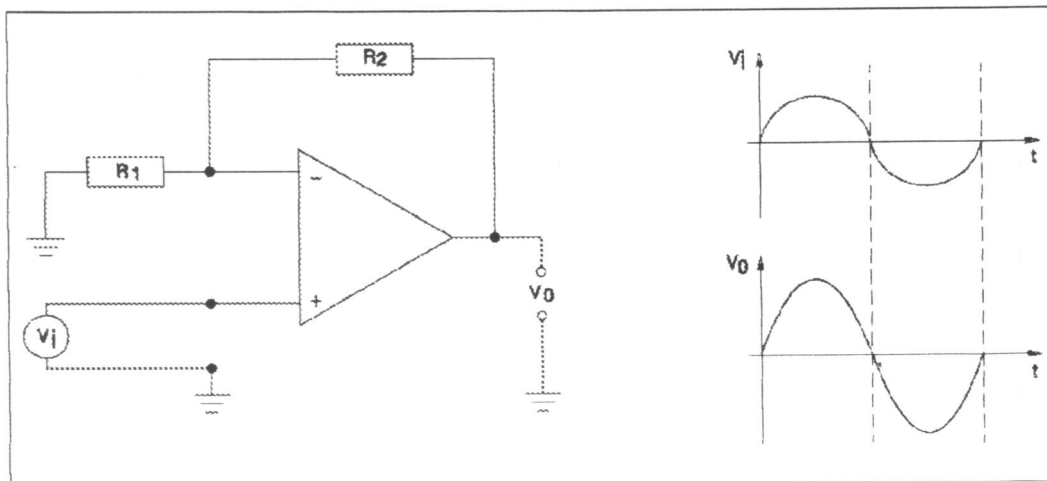
A impedância de saída ( $Z_o$ ) do amplificador inversor é sempre muito menor que a impedância de saída do próprio AO.

Os valores típicos de  $Z_o$  são menores que 1W.



### Amplificador não-inversor

Para a obtenção de um amplificador não-inversor, utiliza-se a entrada não-inversora do AO, o que resulta em  $V_o$  em fase com  $V_i$ .



A malha de realimentação ( $R_2$  e  $R_1$ ) é necessária para manter o AO na sua região linear de funcionamento.

**Ganho do amplificador não-inversor** - O ganho ( $A_v$ ) do amplificador não-inversor normalmente é determinado considerando-se o AO como ideal, ou seja, apresentando os seguintes valores:

- Impedância de entrada ( $Z_i$ ) =  $\infty$  ;
- Impedância de saída ( $Z_o$ ) =  $0\Omega$  ;
- Ganho diferencial ( $A_d$ ) =  $\infty$

Com essas aproximações, que não prejudicam o resultado prático, a equação do ganho do amplificador não-inversor é:

$$A_v = \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

Nessa equação dois aspectos são importantes:

- A ausência do sinal negativo, que indica que o sinal de saída está em fase com o sinal de entrada;
- Se  $R_2$  for muito maior que  $R_1$ , a equação pode ser simplificada para:

$$A_d = \frac{R_2}{R_1}$$



**Impedância de entrada do amplificador não-inversor** - No amplificador não-inversor, o sinal de entrada é aplicado diretamente à entrada não-inversora. Desta forma, a impedância de entrada ( $Z_i$ ) é a própria impedância de entrada.

**Impedância de saída do amplificador não-inversor** - A impedância de saída  $Z_o$  do amplificador não-inversor também é sempre menor que a impedância de saída do próprio AO ( $Z_o$ ).

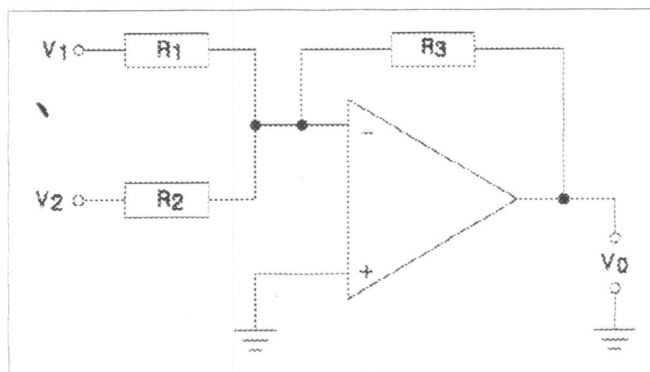
Os valores típicos são menores que  $1 \Omega$ .

### Circuitos aritméticos com amplificador operacional

Circuitos aritméticos com AO são circuitos capazes de realizar operações aritméticas como soma e subtração.

#### Circuito somador

O circuito somador é aquele capaz de fornecer na saída uma tensão igual à soma das tensões aplicadas nas entradas.

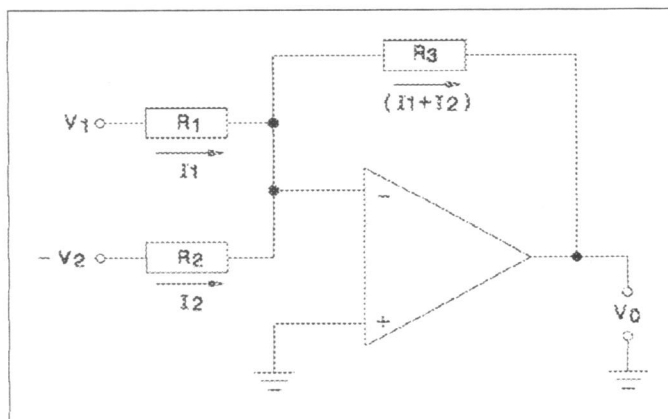
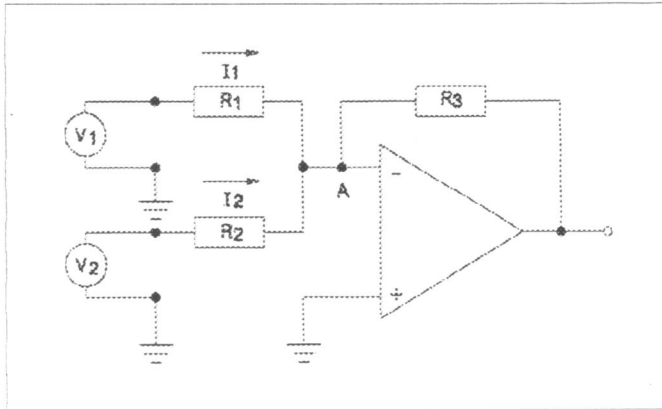


Considerando-se que a entrada inversora não absorve corrente e que o ponto A no circuito é um terra virtual, pode-se analisar o comportamento do somador.

Aplicando-se duas tensões ( $V_1$  e  $V_2$ ) nas entradas, circularão as correntes  $I_1$  e  $I_2$ , cujos valores são:

$$I_1 = \frac{V_1}{R_1}$$

$$I_2 = \frac{V_2}{R_2}$$



As correntes  $I_1$  e  $I_2$  se somam no nó A e circulam através do resistor  $R_3$ , uma vez que a entrada do AO não absorve corrente.

A tensão de saída é dada pela Lei de Ohm:

$$V_o = - (I_1 + I_2) R_3 \text{ ou } V_o = - (I_1 \cdot R_3) + (I_2 \cdot R_3)$$

Se os valores de  $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$  são iguais, tem-se:

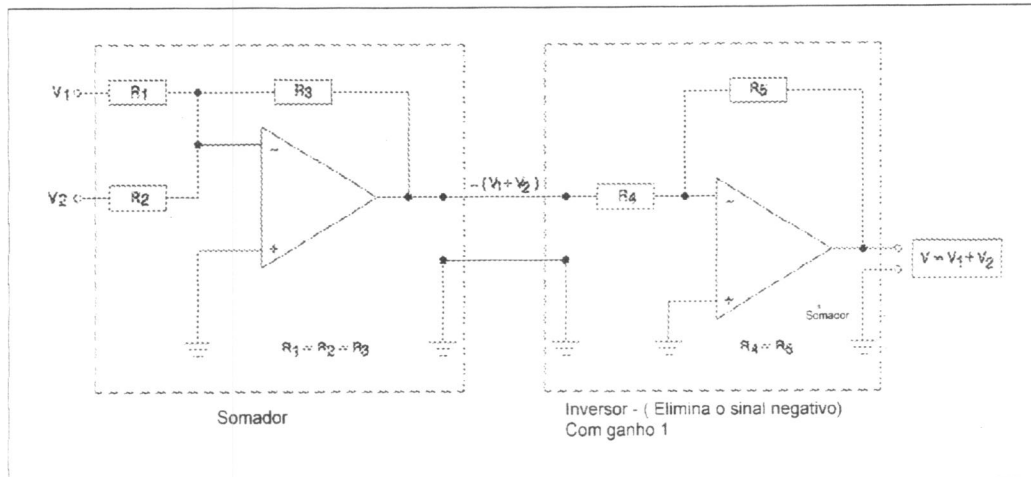
$$V_o = - (I_1 \cdot R) + (I_2 \cdot R)$$

Como  $I_1 \cdot R = V_1$  e  $I_2 \cdot R = V_2$ , então:

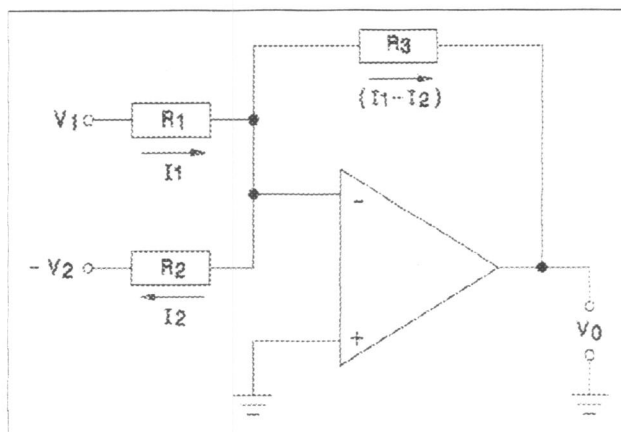
$$V_o = - (V_1 + V_2)$$

A tensão de saída é numericamente igual à soma de  $V_1$  e  $V_2$ , porém o sinal é negativo devido ao uso de entrada inversora.

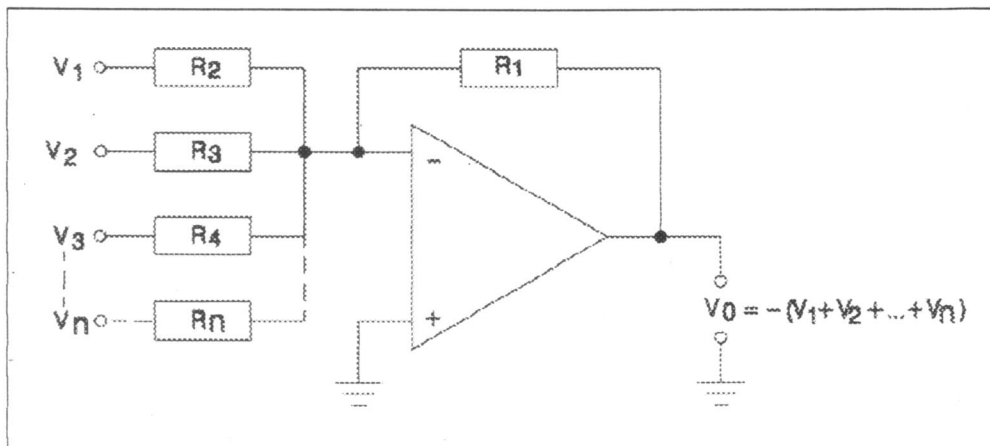
Se for necessário obter as somas de  $V_1$  e  $V_2$  com o sinal correto, pode-se usar um amplificador inversor com ganho 1 após o somador.



Deve-se tomar cuidado quando uma das tensões a ser somada for negativa, pois a corrente desta entrada será diminuída das demais.



O circuito somador pode ser constituído com qualquer número de entradas.

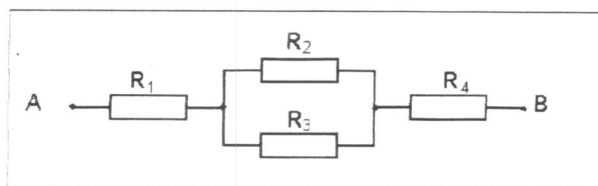


# Associar resistores

Este ensaio tem como objetivo montar e verificar as características das associações dos resistores em série, paralelo e misto.

## Procedimentos

1. Leia, meça e anote os valores resistivos de quatro resistores.
2. Monte o circuito em associação série dos quatro resistores e meça a resistência entre os terminais externos da associação.
3. Calcule a resistência equivalente da associação série utilizando os valores lidos e os valores medidos dos resistores individualmente.
4. Compare os valores calculados com os valores medidos e justifique a variação.
5. Monte o circuito em associação paralelo dos quatro resistores e meça a resistência entre os terminais externos da associação.
6. Calcule a resistência equivalente da associação em paralelo utilizando os valores lidos e os valores medidos dos resistores individualmente.
7. Compare os valores calculados com os valores medidos e justifique a diferença.
8. Monte a associação mista conforme o circuito abaixo e meça a resistência entre os terminais externos (A e B) da associação.



9. Calcule a resistência equivalente da associação mista utilizando os valores medidos dos resistores individualmente.
  
10. Compare os valores calculados com os valores medidos e justifique a diferença.

# Efetuar medições de tensão e corrente

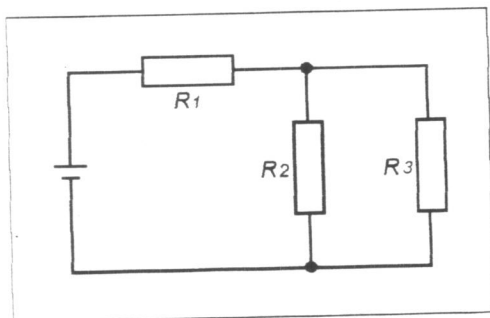
Este ensaio tem como objetivo a prática no manuseio da fonte de alimentação e utilização do voltímetro e amperímetro nas medições de tensão e corrente elétrica.

## Procedimentos

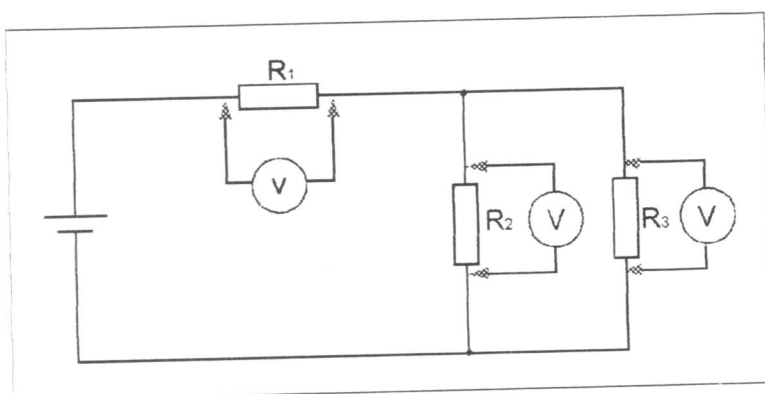
1. Separe uma pilha e uma bateria para efetuar medições.
2. Selecione no multímetro na escala de tensão contínua em um valor superior as tensões indicadas na pilha e na bateria.
3. Conecte as pontas de prova nos terminais do multímetro: Ponta de prova vermelha no terminal V,  $\Omega$  (+) e a ponta de prova preta no terminal (-).
4. Identifique os pólos positivo e negativo da pilha e efetue a medição de tensão.
5. Identifique os pólos positivo e negativo da bateria e efetue a medição de tensão.
6. Posicione a chave seletora do multímetro na posição desligado.
7. Ligue a fonte de tensão.
8. Ajuste a tensão da fonte para 1,5 V.
9. Selecione no multímetro a escala de tensão contínua em um valor superior a 1,5 V e meça a tensão entre os pontos de saída (+ e -) da fonte.
10. Repita os procedimentos dos itens 7 e 8 para valores ajustados de 9V e 15V.

11. Desligue a fonte e o multímetro.

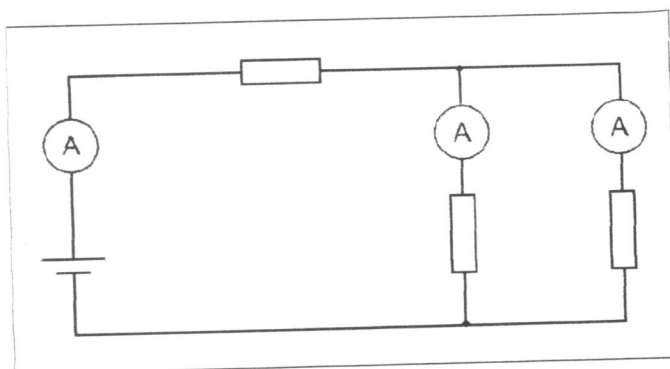
12. Monte o circuito a seguir:



13. Meça as tensões nos resistores  $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$ .



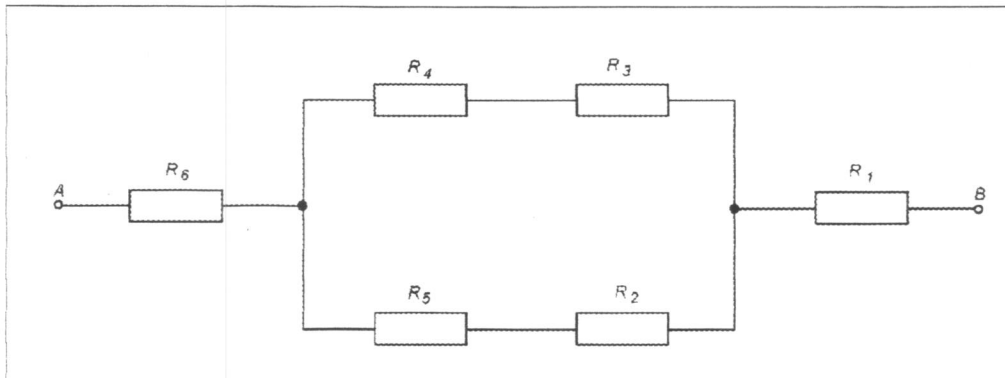
14. Insira o multímetro no circuito para medições de correntes conforme esquema abaixo. Selecione a escala de corrente contínua.





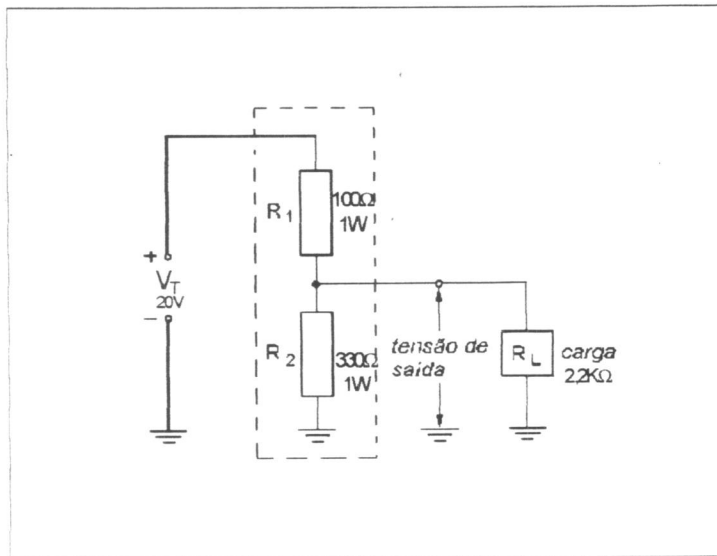
15. Desligue a fonte e o multímetro.

16. Monte o circuito abaixo.



17. Meça os valores de tensão e corrente em cada resistor.

- Com o voltímetro conectado na saída  $V_2$  varie o potenciômetro e observe os valores de tensões mínima e máxima encontrados.
- Montar o circuito da figura a seguir:



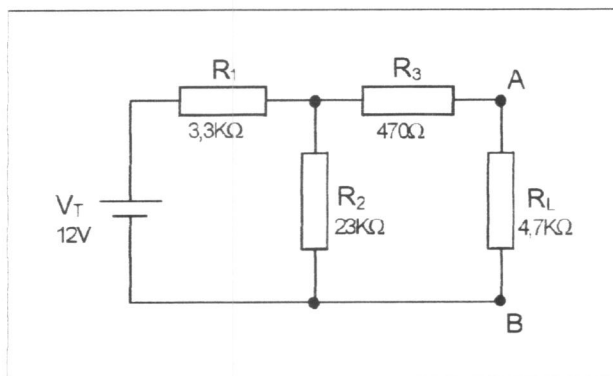
- Calcule a tensão e a corrente do divisor sem carga.
- Insira a carga no circuito e meça a tensão e a corrente. Compare os valores obtidos.

# Comprovar os teoremas de Thévenin e Norton

Neste ensaio o aluno vai verificar experimentalmente os conceitos teóricos dos teoremas de Thévenin e Norton.

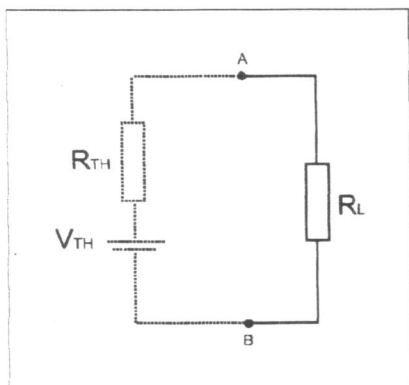
## Procedimentos

1. Monte na matriz de contatos o circuito da figura a seguir:



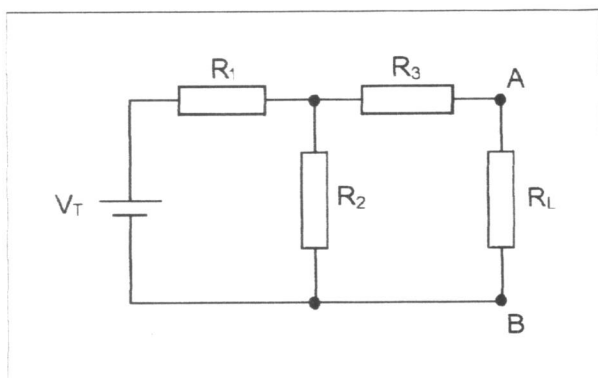
2. Meça a tensão e a corrente sobre o resistor  $R_L$ .
3. Desligue a fonte, retire o resistor de carga ( $R_L$ ) do circuito.
4. Ligue a fonte e meça a tensão entre os pontos A e B. Esta será a tensão equivalente de Thévenin ( $V_{TH}$ ).
5. Desligue a fonte e retire do circuito.
6. Feche em curto-circuito os pontos onde a fonte estava conectada e meça a resistência elétrica do circuito entre os pontos A e B. O valor obtido é a resistência equivalente de Thévenin ( $R_{TH}$ ).

7. Monte o circuito equivalente de Thévenin com os valores de  $R_{TH}$  e  $V_{TH}$  obtidos nos itens 4 e 6, conforme circuito abaixo.



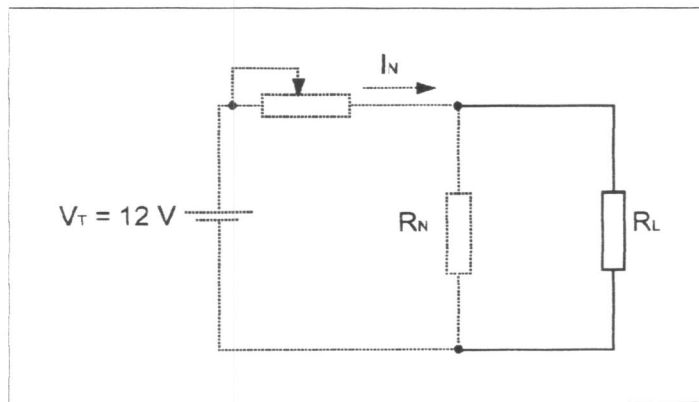
8. Meça a tensão e a corrente sobre o resistor de carga.

9. Monte o circuito abaixo:



10. Retire o resistor de carga ( $R_L$ ) do circuito, insira um amperímetro entre os pontos A e B e meça a corrente que está circulando e anote no quadro a seguir. Esta será a corrente do equivalente Norton ( $I_N$ ).
11. Meça a corrente elétrica. A corrente medida é o equivalente Norton ( $I_N$ ).
12. Desligue e retire a fonte do circuito.
13. Feche em curto-circuito os pontos onde a fonte estava conectada e meça a resistência elétrica do circuito entre os pontos A e B. O valor obtido é a resistência equivalente de Norton, que será igual a resistência equivalente de Thévenin.

14. Monte o circuito equivalente de Norton, com os valores de  $I_N$  e  $R_N$  nos itens 10 e 11, conforme esquema abaixo.



15. Meça a tensão e a corrente sobre o resistor de carga.
16. Compare os valores de  $V_{RL}$  e  $I_{RL}$  do item 2 com os obtidos nos equivalentes Thévenin e Norton e justifique os resultados.

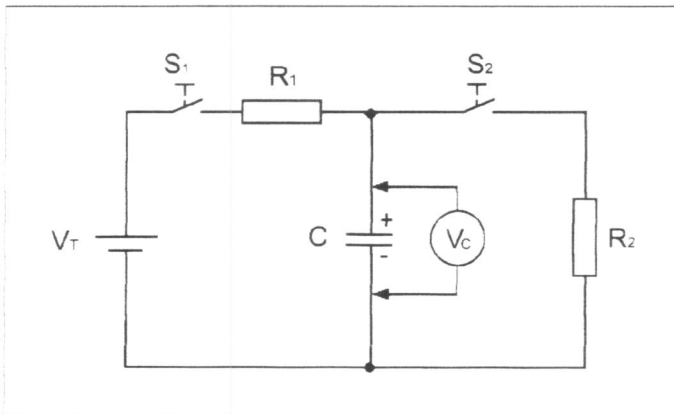


# Verificar o funcionamento de capacitores em CC

Este ensaio tem como objetivo verificar experimentalmente o comportamento do capacitor alimentado por corrente contínua, através do seu processo de carga e descarga e levantamento das curvas características.

## Procedimentos:

1. Monte o circuito da figura a seguir. Observe a polaridade do capacitor



$R_1 = 22K\Omega$ ,  $R_2 = 15K\Omega$ ,  $C = 1000\mu F \times 25 V$ ,  $V_T = 12V$

2. Acione a chave  $S_1$  e verifique o tempo gasto para alguns valores de tensões sobre o capacitor.

Desligue a chave  $S_1$  e acione a chave  $S_2$ . Verifique o tempo gasto para os mesmos valores de tensões sobre o capacitor.

3. Com os valores obtidos, monte em papel milimetrado os gráficos  $V_C \times t$  para a carga e descarga do capacitor.



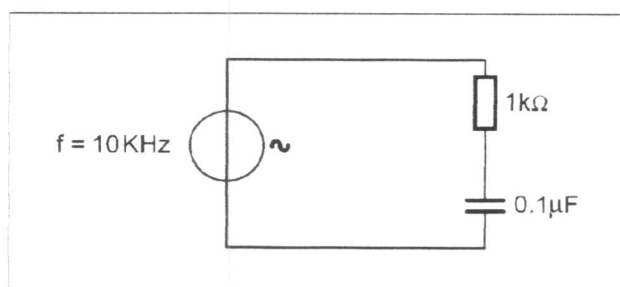


# Verificar o funcionamento de circuitos RC

Este ensaio tem como objetivo verificar experimentalmente as características de um circuito RC em série.

## Procedimentos:

1. Monte o circuito abaixo e ajuste a frequência do gerador de sinais para 10 kHz.



2. Ajuste a tensão do gerador de sinais para se obter no resistor as tensões de pico a pico indicadas. Meça a tensão de pico a pico no capacitor e calcule os demais parâmetros.

$V_{RPP}$ (V)	$V_{CPP}$ (V)	$V_{REF}$ (V)	$V_{CEF}$ (V)	$I_{EF}$ (mA)	$X_C$ ( $\Omega$ )
2					
3					
4					
5					

3. Ajuste a tensão do gerador de sinais para  $5 V_{PP}$ , mantendo-a constante para cada medida. Ajuste os valores de frequência e meça os valores de pico a pico no resistor e no capacitor.

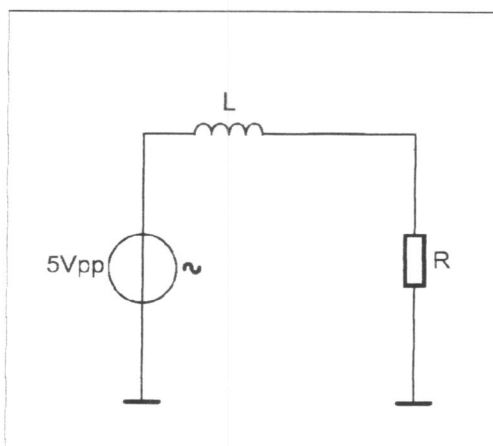
f (KHz)	$V_{RPP}$ (V)	$V_{REF}$ (V)	$V_{CPP}$ (V)	$V_{CEF}$ (V)	$I_{EF}$ (mA)	$X_C$ ( $\Omega$ )

# Verificar o funcionamento de circuitos RL

Este ensaio tem como objetivo verificar experimentalmente as características de um circuito RL em série.

## Procedimentos

1. Monte o circuito abaixo e ajuste a frequência do gerador de sinais para 10 kHz.



2. Ajuste a tensão do gerador de sinais para se obter no resistor as tensões de pico a pico indicadas. Meça a tensão de pico a pico no indutor e calcule os demais parâmetros.

$V_{RPP}$ (V)	$V_{LPP}$ (V)	$V_{REF}$ (V)	$V_{LEF}$ (V)	$I_{EF}$ (mA)	$X_L$ ( $\Omega$ )
2					
3					
4					
5					

3. Ajuste a tensão do gerador de sinais para  $5 V_{PP}$ , mantendo-a constante para cada medida. Ajuste os valores de frequência e meça os valores de pico a pico no resistor e no indutor.

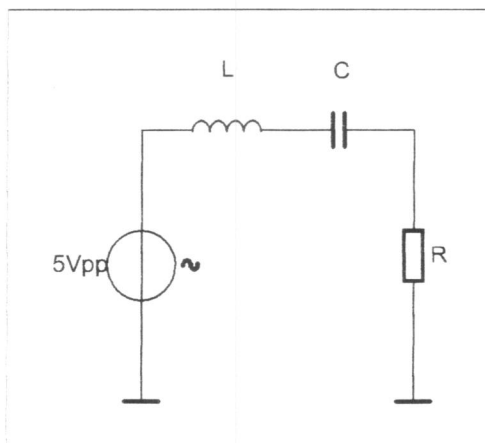
f (KHz)	$V_{RPP}$ (V)	$V_{REF}$ (V)	$V_{LPP}$ (V)	$V_{CEF}$ (V)	$I_{EF}$ (mA)	$X_L$ ( $\Omega$ )
---------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	--------------------

# Verificar o funcionamento de circuitos RLC

Este ensaio tem como objetivo verificar experimentalmente as características de um circuito RLC em série.

## Procedimentos

1. Monte o circuito abaixo e ajuste o gerador de sinais para  $5 V_{PP}$ , onda senoidal.



2. Mantendo a tensão do gerador em  $5V_{PP}$  para cada valor de frequência, meça a tensão de pico à pico no resistor e determine os demais parâmetros do circuito.

f (KHz)	$V_{RPP}$ (V)	$V_{REF}$ (V)	$V_{CPP}$ (V)	$V_{CEF}$ (V)	$V_{LPP}$ (V)	$V_{LEF}$ (V)	$I_{REF}$ (mA)	Z ( $\Omega$ )
---------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	----------------	----------------



---

# Identificar resistores e códigos de cores

Este ensaio tem como objetivo identificar os tipos de resistores e o valor de suas resistências utilizando o código de cores.

## Procedimentos

1. Utilizar código de cores, faça a leitura do valor de 10 resistores.
2. Monte uma tabela com os valores: nominal, mínimo, máximo e tolerância de cada resistor.





---

# Identificar capacitores

Este ensaio tem como objetivo identificar os tipos de capacitores e verificar o valor de sua capacitância, tensão de isolamento e tolerância.

## Procedimentos

1. Leia os valores de capacitância e a tensão de isolamento dos capacitores eletrolíticos e liste-os em ordem crescente.
2. Utilizando o código de cores verifique o valor da capacitância, tensão de isolamento e tolerância do capacitor não polarizado de poliéster.
3. Calcule o valor mínimo e máximo do capacitor em função de seu valor e de sua tolerância e preencha uma tabela.
4. Verifique os valores da capacitância, tensão de isolamento e tolerância dos capacitores não polarizados de poliéster e cerâmicos, através dos dados descritos em seus corpos e anote em uma tabela.




# Utilizar o osciloscópio

Este ensaio tem como objetivo identificar o osciloscópio e seus controles.

## Procedimentos

1. Com o osciloscópio desligado, localize em seu painel frontal os controles e conectores para os ajustes iniciais (indicados na tabela a seguir).

Power	Inten	Focus	Trace Rotacion	Mode	Position ↔	Chave AC/DC
Probe Adj.	Conector CH1	Conector CH2	Conector GND	Source	Position	Volts/div.
Mode Auto	Mode Norm	Dual	ADD	Level	Slope	Time/div.

2. Siga o roteiro preliminar para iniciar a operação com o osciloscópio.
  - a. Ajuste o controle FOCUS em uma posição intermediária;
  - b. Ajuste o controle INTEN em uma posição intermediária;
  - c. Selecione a chave AC/DC na posição GND;
  - d. Ajuste os controles POSITION, todos em uma posição intermediária;
  - e. Ajuste o seletor do atenuador vertical VOLTS/DIV em uma posição intermediária;
  - f. Selecione em MODE do vertical, a posição CH1;
  - g. Selecione em MODE do trigger, a posição AUTO;
  - h. Selecione o botão SLOPE na posição + 
  - i. Ajuste o controle LEVEL do trigger em uma posição intermediária;

3. Ligue o osciloscópio e aguarde alguns instantes até que apareça na tela um traço horizontal, caso isto não aconteça ajuste os controles POSITION vertical e horizontal até aparecer o traço na tela.
4. Ajuste os controle FOCUS e INTEN de modo que a imagem do traço fique o mais nítido possível, atenção ao ajuste para que não fique com brilho excessivo pois poderá danificar o TRC.
5. Utilizando o controle POSITION vertical, ajuste o traço de modo a deixá-lo sobre a linha central da tela, se o traço estiver inclinado ajustá-lo (usando uma chave de fenda plástica e com extremo cuidado) em TRACE ROTATION para deixá-lo alinhado.
6. Posicione a chave AC/DC do canal 1, na posição DC.
7. Conecte a ponta de prova ao conector CH1, verifique se o atenuador da ponta de prova está na posição X1, ajuste o atenuador vertical do canal 1 VOLTS/DIV na posição 0,5V/div e o controle do gerador de varredura TIME/DIV na posição 0,5ms/div.
8. Selecione a chave AC/DC/GND, na posição AC.
9. Conecte a ponta de prova do canal na saída do sinal PROBE ADJ.
10. Desenhe a imagem visualizada na tela do osciloscópio, e determine o valor da amplitude e do período do sinal e anote o valor obtido.
11. Coloque o atenuador vertical (VOLT/DIV) na posição 0,2V/div. sem alterar o gerador de varredura horizontal (TIME/DIV), anote a imagem visualizada na tela do osciloscópio, e determine: o valor da amplitude e do período do sinal e anote os valores obtidos.
12. Retorne o atenuador vertical para a posição 0,5V/div. e posicione o gerador de varredura para a posição 0,2ms/div, e anote a imagem visualizada na tela do osciloscópio, determine o valor da amplitude e o período do sinal e anote os valores obtidos.

# Medir tensão alternada com o osciloscópio

Este ensaio tem como objetivo identificar o gerador de funções e seus controles. Medir sinais alternados, contínuos e frequência com o osciloscópio.

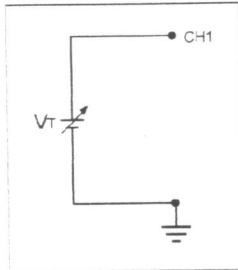
## Procedimentos:

1. Com o gerador de sinal desligado, localize em seu painel frontal os controles e conectores.

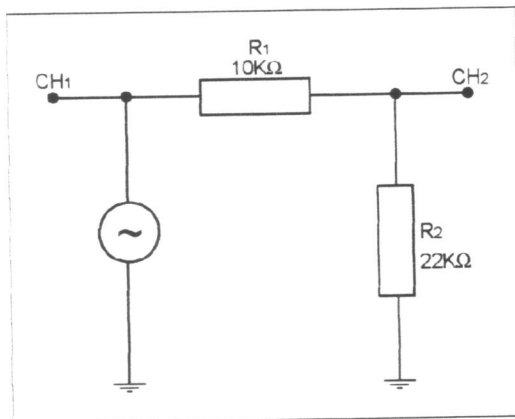
Frequency		Function			Ampl	PWE
Coarse	Fine	Figura 3	Fig 4	Fig 5	Range	Output

2. Ajuste no gerador de funções um sinal com forma de onda triangular, frequência de 250Hz e amplitude de 5Vpp.
3. Prepare o osciloscópio seguindo os passos do ensaio anterior conecte-o gerador de funções, meça a amplitude e a frequência do sinal de saída do gerador de funções e anote a forma de onda e os valores obtidos.
4. Ajuste no gerador de funções uma sinal de onda quadrada, com frequência de 250Hz e amplitude de 5Vpp.
5. Prepare o osciloscópio seguindo os passos do ensaio anterior, meça a amplitude e a frequência do sinal de saída do gerador de funções e anote a forma de onda e os valores obtidos.

6. Monte o circuito da figura a seguir, ajuste a fonte conforme a tabela. Meça com o osciloscópio o valor correspondente ao nº de divisões e a posição do atenuador vertical e anote os valores em uma tabela.

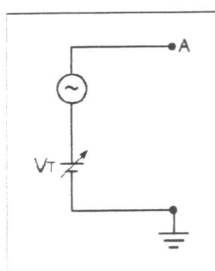


7. Monte o circuito da figura a seguir.



8. Ajuste o gerador de funções para um sinal alternado senoidal com amplitude de 6Vpp, e uma frequência de 100Hz.
9. Posicione a chave AC/GND/DC dos dois canais na posição AC, selecione a posição DUAL no seletor MODE do vertical.
10. Ajuste o sinal da tela utilizando o atenuador vertical (VOLT/DIV) de ambos os canais e o gerador de varredura (TIME/DIV) de modo a deixá-los bem nítido permitindo assim uma boa leitura.
11. Reproduza as figuras visualizadas na tela do osciloscópio, e anote os valores de tensão e frequência obtidos. Lembrando que o canal 1 é a saída do gerador e o canal 2 é a tensão sobre  $R_2$ .

12. Para a visualização do sinal sobre o resistor  $R_1$ , utilizamos o recurso da subtração dos sinais do gerador pelo resistor  $R_2$ , para isso, coloque o seletor MODE do vertical na posição ADD e o seletor NORM-INV do vertical CH2 na posição INV.
13. Visualize o sinal sobre o resistor  $R_1$  ajustando o atenuador vertical de modo que o sinal fique bem visível, e reproduza a figura anotando os valores de tensão e frequência obtidos.
14. A visualização de um sinal contínuo (nível DC) agregado a um sinal alternado pode ser visualizado através do osciloscópio utilizando a chave AC/GND/DC. Monte o circuito conforme figura a seguir.



15. Selecione a chave AC/GND/DC na posição AC, meça o sinal no ponto A do circuito e reproduza a figura visualizada na tela do osciloscópio.
16. Selecione agora a chave AC/GND/DC na posição DC, meça o sinal no ponto A do circuito e reproduza a figura visualizada na tela do osciloscópio.
17. Inverta a polaridade da fonte de alimentação DC no circuito de modo que ao sinal alternado seja agregado um nível DC negativo e repita os procedimentos dos itens 15 e 16.



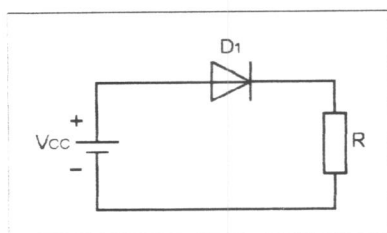


# Verificar o funcionamento do diodo semicondutor

Esse ensaio tem como objetivo o levantamento da curva característica do diodo semicondutor.

## Procedimentos:

1. Utilizando os seus conhecimentos teóricos, meça a resistência direta e a resistência reversa do diodo.
2. Monte o circuito a seguir, ajuste a tensão de 0 a 0,8V, variando de 0,1 e anote os valores das respectivas correntes.



3. Inverta a polaridade do diodo e repita o procedimento do item anterior variando a tensão de 0 a 25V de 5 em 5V.
4. Com os dados obtidos nos itens 2 e 3 da parte experimental, construa em papel milimetrado, a curva característica do diodo e determine o seu ponto de operação.

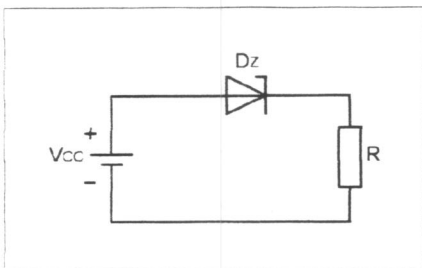


# Verificar o funcionamento do diodo zener

Esse ensaio tem como objetivo o levantamento da curva característica do diodo zener.

## Procedimentos:

1. Utilizando os seus conhecimentos teóricos, meça a resistência direta e a resistência reversa do diodo zener e anote.
2. Monte o circuito abaixo, ajuste a tensão de 0 a 0,8V, variando de 0,1V e anote os valores das respectivas correntes.



3. Inverta a polaridade do diodo zener e repita o procedimento do item anterior variando de 0 a 25V de 5 em 5V.
4. Com os dados obtidos nos itens 2 e 3 da parte experimental, construa em papel milimetrado, a curva característica do diodo zener.
5. Com os dados obtidos determine o valor de  $I_{zmax}$  e  $I_{zmin}$  do zener.

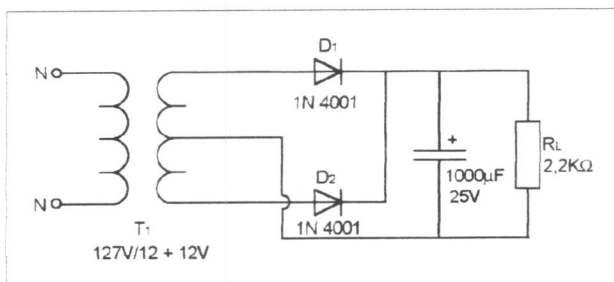


# Verificar o funcionamento de um retificador de onda completa

Este ensaio tem como objetivo verificar, experimentalmente, o funcionamento e as características do circuito retificador de onda completa com transformador de derivação central e filtro.

## Procedimentos

1. Teste os componentes e dispositivos.
2. Monte o circuito a seguir.



3. Com a chave "S" aberta, ligue o osciloscópio à carga, medindo  $V_{\text{máx}}$  E  $V_{\text{DC}}$ . anote os valores e esboce as formas de onda.
4. Conecte o multímetro, meça e anote, os valores de  $V_P$ ,  $V_S$  E  $V_{\text{DC}}$ .
5. Com a chave "S" fechada, repita os itens 3 e 4.

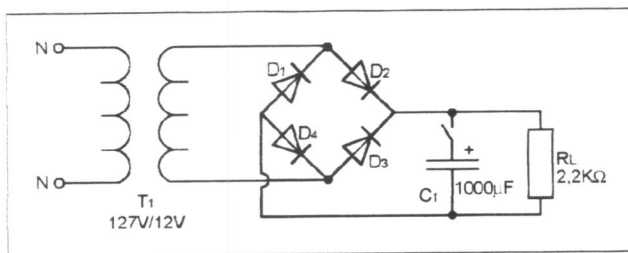


# Verificar o funcionamento de um retificador em ponte

Este ensaio tem como objetivo verificar, experimentalmente, o funcionamento e as características do circuito retificador de onda completa em ponte com filtro.

## Procedimentos

1. Teste os componentes e dispositivos
2. Monte o circuito a seguir.



3. Com a chave "S" aberta, ligue o osciloscópio à carga, medindo  $V_{max}$  e  $V_{DC}$ . Anote os valores e esboce as formas de onda.
4. Conecte o multímetro, meça e anote, os valores de  $V_P$ ,  $V_S$  e  $v_{DC}$ .
5. Com a chave "S" fechada, repita os itens 3 e 4.



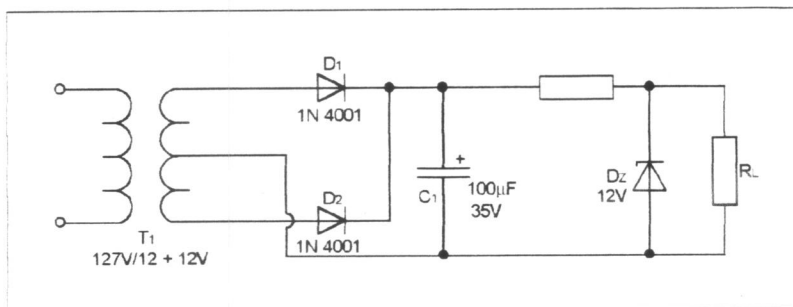


# Verificar o funcionamento de fonte estabilizada

Este ensaio tem como objetivo verificar, experimentalmente, o funcionamento e os parâmetros de uma fonte estabilizada.

## Procedimentos

1. Teste os componentes e dispositivos.
2. Monte o circuito a seguir.



3. Ajuste a tensão de entrada no transformador ( $V_p$ ) de maneira a obter 12V e  $V_{S1}$  e  $V_{S2}$ .
4. Conecte a saída do circuito estabilizada, valores de  $R_L$ :  $1K\Omega$  -  $3,3K\Omega$  -  $4,7K\Omega$  -  $8,2K\Omega$  -  $10K\Omega$ . Para cada valor  $R_L$ , meça e anote  $V_S$  e  $I_L$ .

## Observação

Desligue a fonte de alimentação para fazer as trocas dos resistores.

5. Conecte  $R_L$  de  $1K\Omega$  e varie a tensão  $V_p$ , afim de obter  $V_E$  de 0 à 16V a cada 2V. Para cada valor  $V_E$ , meça e anote o valor de  $V_S$  em uma tabela.

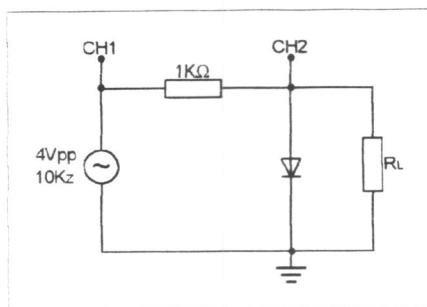


# Verificar o funcionamento de um circuito limitador

Este ensaio tem como objetivo verificar, experimentalmente, o funcionamento, as formas de onda na saída e as curvas de transferências dos circuitos limitadores ou ceifadores.

## Procedimentos

1. Teste os componentes e dispositivos.
2. Monte o circuito a seguir.

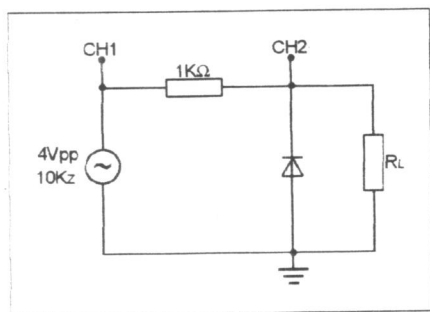


3. Varie  $R_L$ , de infinito,  $100K\Omega$  e  $10K\Omega$ . Para cada caso de  $R_L$ , meça, anote e esboce o gráfico da tensão na saída, deixando a chave AC-DC-0, na posição DC.

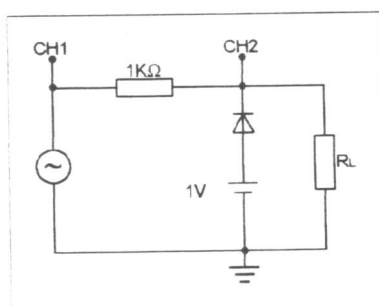
## Observação:

Desligue a fonte de alimentação para fazer as trocas dos resistores.

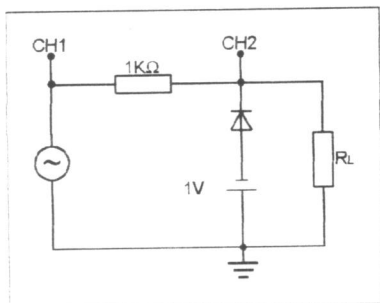
Repita o item 2, e 3 para o circuito abaixo.



4. Repita o item 2 e 3 para o circuito abaixo.



5. Repita o item 2 e 3 para o circuito abaixo.

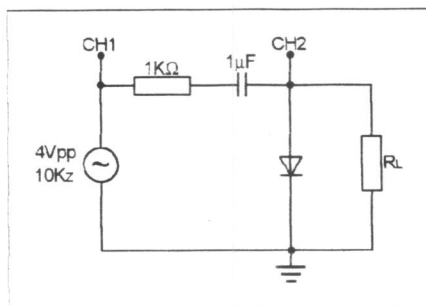


# Verificar o funcionamento de um circuito grampeador

Este ensaio tem como objetivo verificar, experimentalmente, o funcionamento, as formas de onda na saída e, as curvas de transferências dos circuitos grampeadores.

## Procedimentos

1. Teste os componentes e dispositivos.
2. Monte o circuito a seguir.

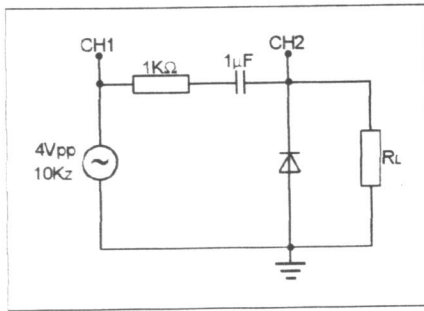


3. Varie  $R_L$ , de infinito,  $100K\Omega$  e  $10K\Omega$ . Para cada caso de  $R_L$ , meça, anote e esboce o gráfico da tensão na saída, deixando a chave AC-DC-0, na posição DC.

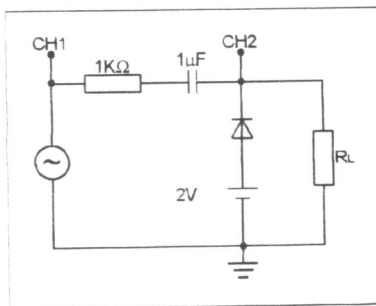
## Observação:

Desligue a fonte de alimentação para fazer as trocas dos resistores.

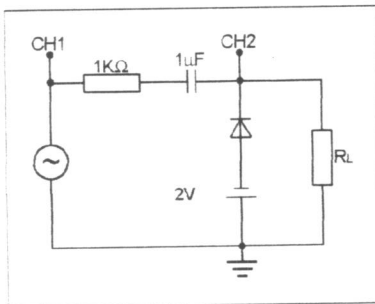
4. Repita o item 2 e 3 para o circuito abaixo.



5. Repita o item 2 e 3 para o circuito abaixo.



6. Repita o item 2 e 3 para o circuito abaixo.

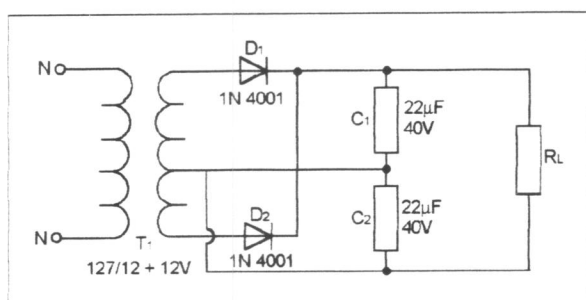


# Verificar o funcionamento de um multiplicador de tensão

Este ensaio tem como objetivo verificar, experimentalmente, o funcionamento e as formas de onda na saída de circuitos multiplicadores.

## Procedimentos

1. Teste os circuitos e dispositivos.
2. Monte o circuito a seguir.

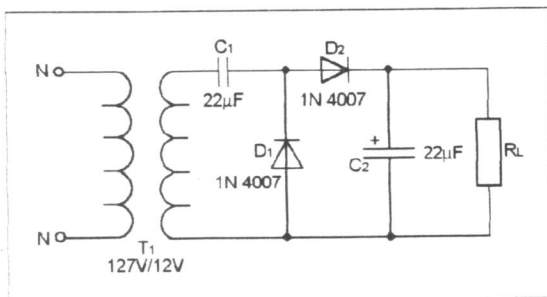


3. Varie  $R_L$ , de infinito e  $10k\Omega$ . Para cada caso de  $R_L$ , meça e anote os valores de  $V_{S_{DC}}$  e  $V_{R_{PP}}$ .

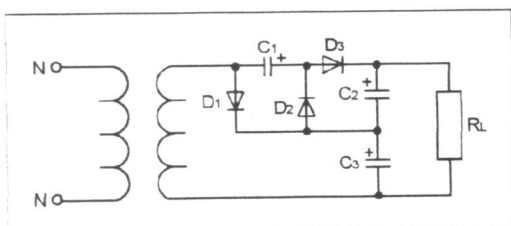
## Observação:

Desligue a fonte de alimentação para fazer as trocas do resistores.

4. Repita o item 3 para o circuito abaixo.



5. Repita o item 3 para o circuito abaixo.



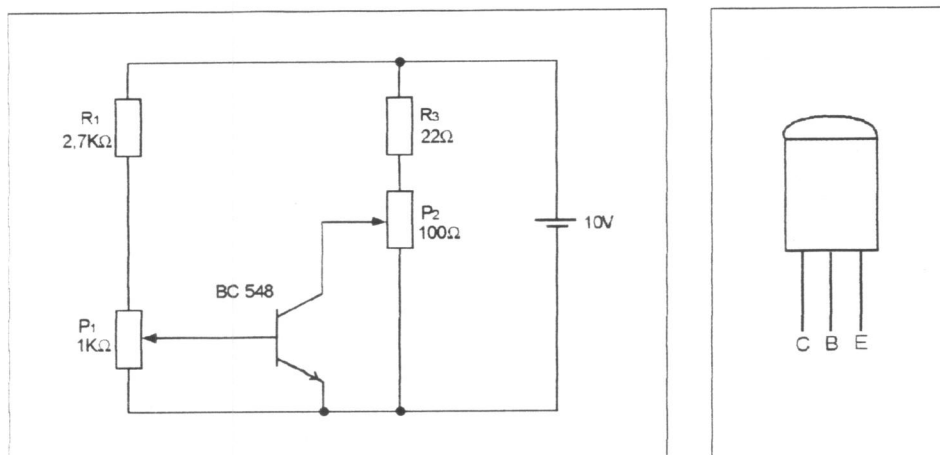


# Verificar o funcionamento de um transistor

Este ensaio tem como objetivo levantar, experimentalmente, as características de entrada e saída de um transistor bipolar.

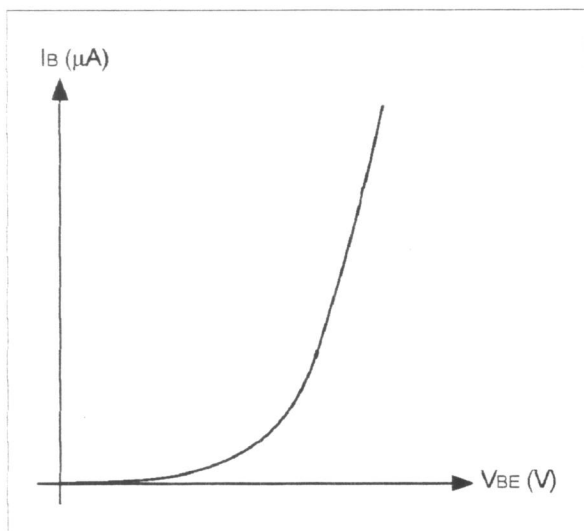
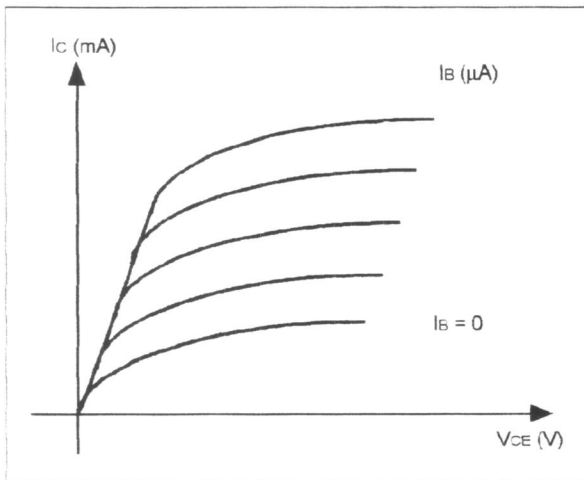
## Procedimento

1. Teste os componentes e dispositivos.
2. Monte o circuito a seguir.



3. Varie a tensão  $V_{BE}$  através do potenciômetro de 1K $\Omega$ , de 0 à 0,7V variando de 0,1V. Para cada caso, meça e anote a corrente de base, mantendo  $V_{CE}$  em 3V constante, através do potenciômetro de 100 $\Omega$ .
4. Varie  $V_{CE}$  e  $I_B$  de 0 à 5V a cada 1V de 0 à 0,2 a cada 50mA e preencha em uma tabela os valores medidos de  $I_B$ .

5. Construa as curvas:

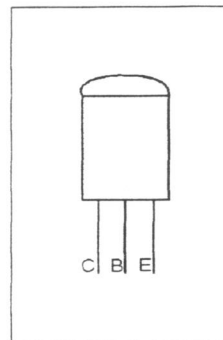
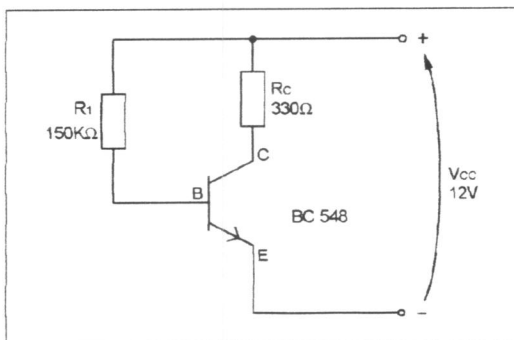


# Polarizar transistores

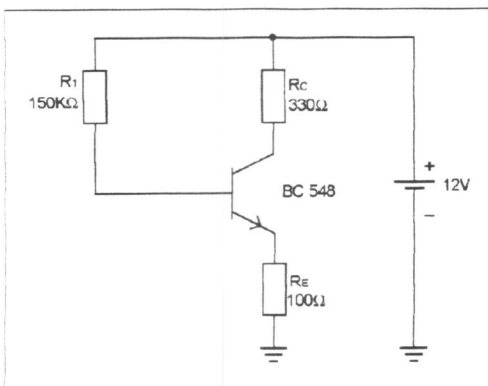
Este ensaio tem como objetivo verificar, experimentalmente, tipos de polarização utilizadas em transistor na configuração emissor comum.

## Procedimentos

1. Teste os componentes e dispositivos.
2. Monte o circuito a seguir.

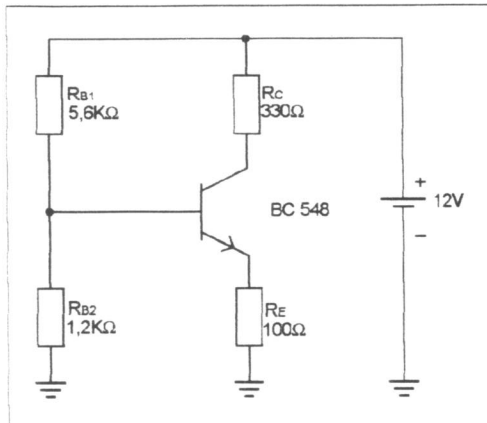


3. Meça e anote, os valores de  $V_{BE}$ ,  $V_{CE}$ ,  $I_B$ ,  $I_C$  e  $I_E$ .
4. Monte o circuito a seguir.



5. Meça e anote, os valores de  $V_{BE}$ ,  $V_{CE}$ ,  $I_B$ ,  $I_C$  e  $I_E$ .

6. Monte o circuito a seguir.



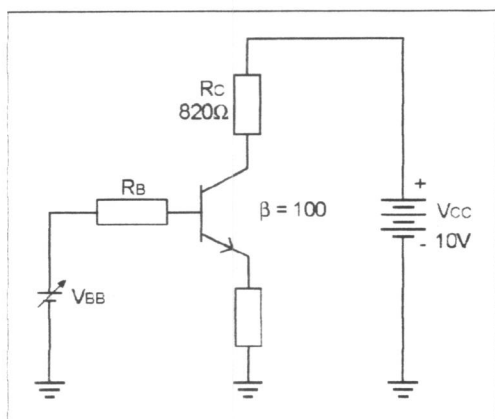
7. Meça e anote, os valores de  $V_{BE}$ ,  $V_{CE}$ ,  $I_B$ ,  $I_C$  e  $I_E$ .

# Verificar o funcionamento do transistor como chave

Este ensaio tem como objetivo verificar, experimentalmente o funcionamento de um transistor bipolar como chave.

## Procedimentos

1. Teste os componentes e dispositivos.
2. Monte o circuito a seguir.



3. Meça e anote, os valores de  $V_{BE}$ ,  $V_{CE}$ ,  $I_B$ ,  $I_C$  comute a chave e repita as medições.

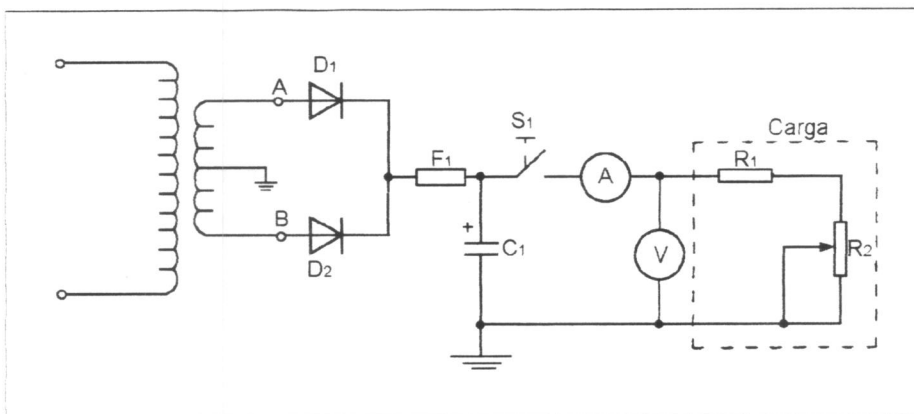


# Verificar o funcionamento de reguladores de tensão

Esse ensaio tem como objetivo verificar o funcionamento dos reguladores de tensão a transistor.

## Procedimentos

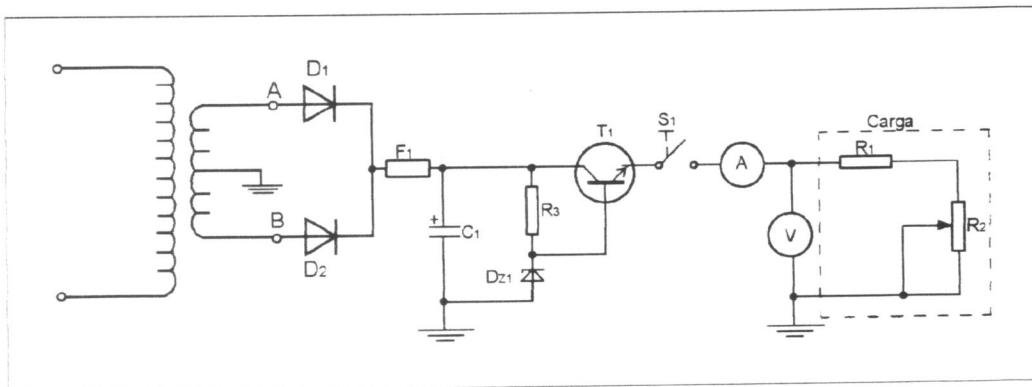
1. Monte o circuito da figura a seguir.



2. Alimente o transformador com um varivolt. Ajuste o varivolt até obter 7 Vca no secundário do transformador, entre o terminal central (terra) e um terminal externo (A ou B).
3. Ajuste  $R_2$  para que as resistências de carga seja máxima.
4. Ligue a chave  $S_1$  e, com multímetro, meça e anote a tensão sobre a carga.
5. Mantendo o voltímetro conectado a carga, diminua lentamente o valor de  $R_2$  e responda.

O que acontece com a tensão de saída quando diminuimos o valor da resistência de carga? Explique.

6. Movimente o cursor do varivolt um pouco em cada sentido e observe a tensão de saída.
  - a. A tensão de saída se mantém constante quando a tensão de entrada varia?
  - b. Em uma fonte sem estágio regulador a tensão de saída varia em função de quê?
7. Desligue o circuito e faça as modificações conforme esquema da figura a seguir.



8. Ligue a chave  $S_1$ , posicione o cursor de  $R_2$  em uma posição intermediária, ajuste o varivolt até obter 11 Vca no secundário do transformador, entre o terminal central (terra) e um terminal externo (A ou B).
9. Meça e anote a tensão na saída da retificação filtrada (sobre  $C_1$ ).
10. Meça a tensão na carga ( $V_{cc}$  regulada).
11. Meça a tensão  $V_{CE}$  do transistor.
12. Sobre qual componente está presente a diferença de tensão que existe entre  $V_{cc}$  regulada e  $V_{cc}$  não regulada?
13. Ajuste o varivolt de forma a obter 14Vcc na saída do filtro capacitivo. Meça a tensão na carga e anote.



14. Compare o valor com o valor obtido no item 11 e responda:
  - a. Se os valores de tensão vcc de entrada (itens 9 e 12) são diferentes, como se justifica que os valores de tensão de saída (itens 10 e 12) sejam iguais?
  - b. O que ocorre com a tensão  $V_{CE}$  do transistor, quando a tensão de entrada (no filtro capacitivo) aumenta? E quando diminui?
15. Ajuste o varivolt de forma a obter 12Vcc na saída do filtro capacitivo.
16. Mova o cursor de  $R_2$  de modo a obter a mínima resistência de carga.]
17. Meça a corrente de carga ( $I_{RL}$ ), a corrente na base do transistor ( $I_B$ ) e a corrente no diodo zener ( $I_Z$ ).
18. Mova o cursor de  $R_2$  de modo a obter a máxima resistência de carga.
19. Repita o item 17. Compare os resultados dos itens 16 e 18 responda qual a relação entre as correntes de carga, corrente de base do transistor e corrente do diodo zener.

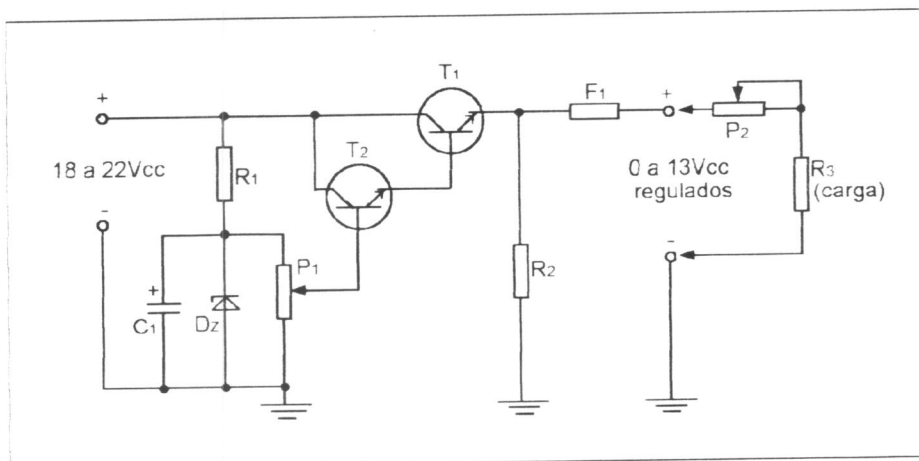


# Verificar o funcionamento de regulador de tensão Darlington

Esse ensaio tem como objetivo verificar o funcionamento dos reguladores de tensão a transistor Darlington.

## Procedimentos

1. Monte o circuito conforme o esquema da figura a seguir.



2. Ajuste a fonte de alimentação DC para 20V, conecte-a entrada do circuito, ajuste  $P_1$  de maneira que a tensão de saída seja a máxima possível (sem a carga). Anote a tensão de saída.
3. Com o valor de  $V_S$  obtido no item anterior, calcule através da lei de ohm o valor que se deve ajustar em  $R_3$  para uma corrente de saída de aproximadamente 200mA.

Obs: esse é o menor valor de resistência de carga que ligaremos a saída do circuito pois menores valores de resistência implicam em maiores valores de corrente de saída ( $I_S$ ), o que pode causar a abertura do fusível  $F_1$ , e também em maior dissipação de potência na carga o que poderá danificá-la.

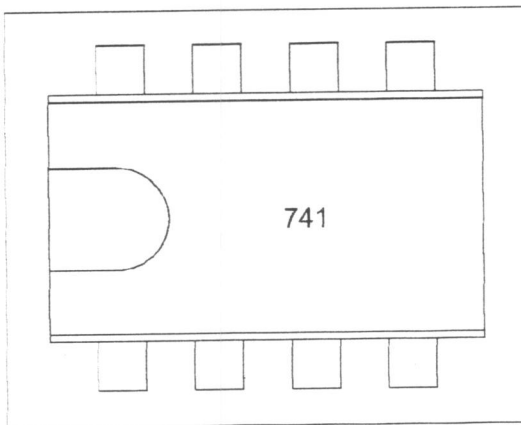
4. Conecte  $R_3$  a saída do circuito. Meça e anote: a tensão de saída ( $V_S$ ), a corrente de saída ( $I_S$ ) e a corrente na base do transistor T2 ( $I_{B_2}$ ).
5. Ajuste  $R_3$  para na máxima resistência. Conecte  $R_3$  a saída do circuito. Meça e anote: a tensão de saída ( $V_S$ ), a corrente de saída ( $I_S$ ) e a corrente na base do transistor T2 ( $I_{B_2}$ ).
6. Compare os valores obtido nos itens 4 e 5 e responda.
  - a. A tensão de saída varia em função da carga? Explique.
  - b. No item 4, quantas vezes a corrente de saída ( $I_S$ ) é maior que a corrente na base de T2 ( $I_{B_2}$ )?

# Polarizar um amplificador operacional

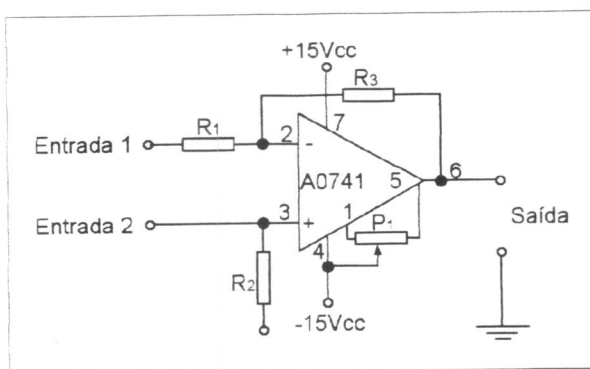
Esse ensaio tem como objetivo polarizar e verificar o funcionamento de um amplificador operacional.

## Procedimentos

1. Identifique a pinagem do CI 741 e descreva a função de cada pino.



2. Montar o circuito da figura a seguir.



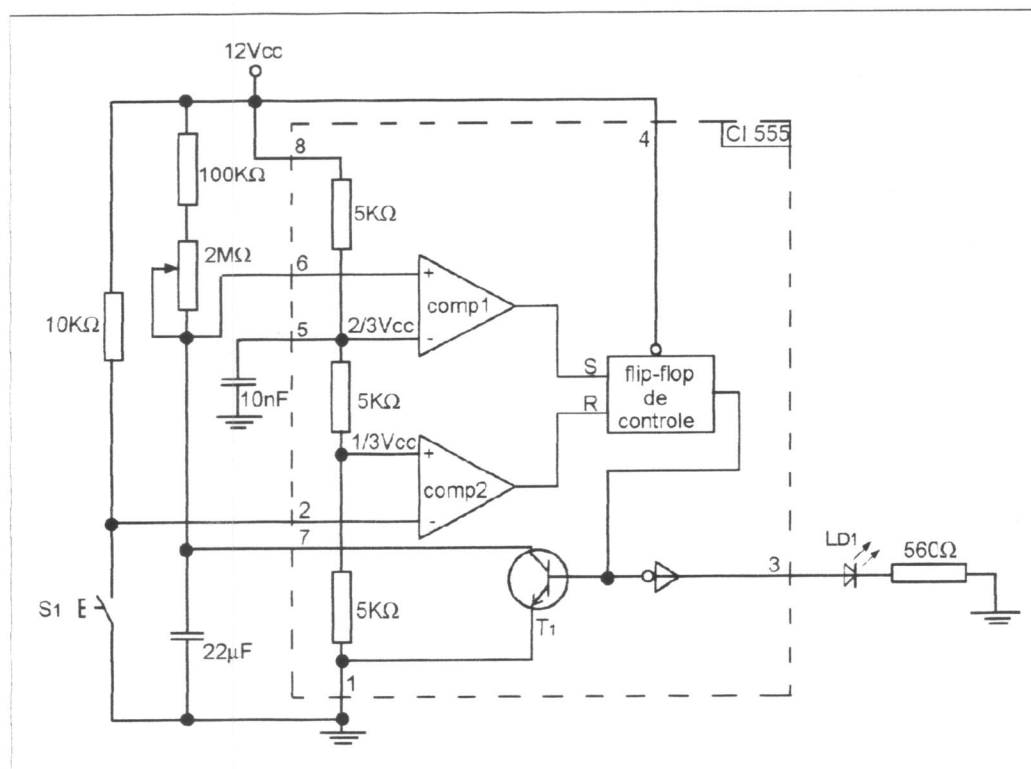
3. Ajuste a fonte simétrica para +15V e -15V e conecte-a ao circuito.
4. Conecte as entradas 1 e 2 ao terra do circuito.
5. Ajuste o osciloscópio (CH) para o modo DC, 5mV/div e conecte a saída do circuito.
6. Acione o potenciômetro  $P_1$  até zerar o sinal de saída observando no osciloscópio.
7. Desconecte as entradas do terra do circuito.
8. Conecte o gerador de funções ao circuito, entrada 1e terra, e ajuste-o para 1Khz; 1,0Vpp; senoidal.
9. Conecte o osciloscópio na entrada 1 (CH<sub>1</sub> em 0,5V em 0,5V/div) e na saída do circuito (CH<sub>2</sub> em 5V/div).
  - a. Qual a relação de fase entre os sinais de entrada e saída?
  - b. Qual é o ganho do amplificador?
10. Substitua o resistor  $R_3$  (10K $\Omega$ ) por  $R_4$  (18K $\Omega$ ) e determine o novo ganho do amplificador.

# Verificar o funcionamento de um multivibrador monoestável

Este ensaio tem como objetivo verificar o funcionamento do CI 555 como multivibrador monoestável.

## Procedimentos

1. Monte o circuito da figura que segue.



2. Ajuste a fonte CC para 12Vcc e conecte-a ao circuito.
3. Ajuste o potenciômetro para resistência mínima.
4. Acione a chave  $S_1$  e cronometre o tempo em que o led permanece aceso.

5. Calcule os tempos mínimo e máximo, possíveis de serem ajustados nesse circuito. Compare o tempo mínimo calculado com o tempo mínimo medido no item 4.
  
6. Ligue o voltímetro em paralelo ao capacitor  $C_1$  e pulse a chave  $S_1$ . O led irá acender e após algum tempo apagar. Qual deverá ser a tensão indicada no voltímetro (aproximadamente) quando o led apagar? Justifique.

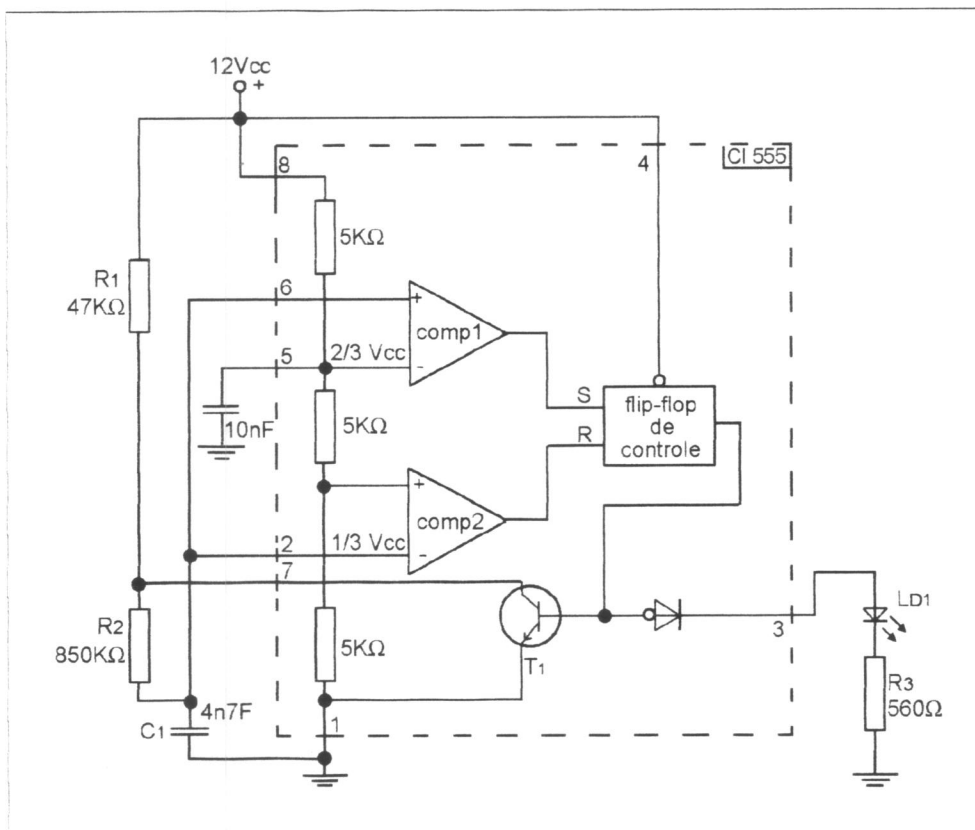


# Verificar o funcionamento de multivibrador astável

Esse ensaio tem como objetivo verificar o funcionamento do CI 555 como multivibrador astável.

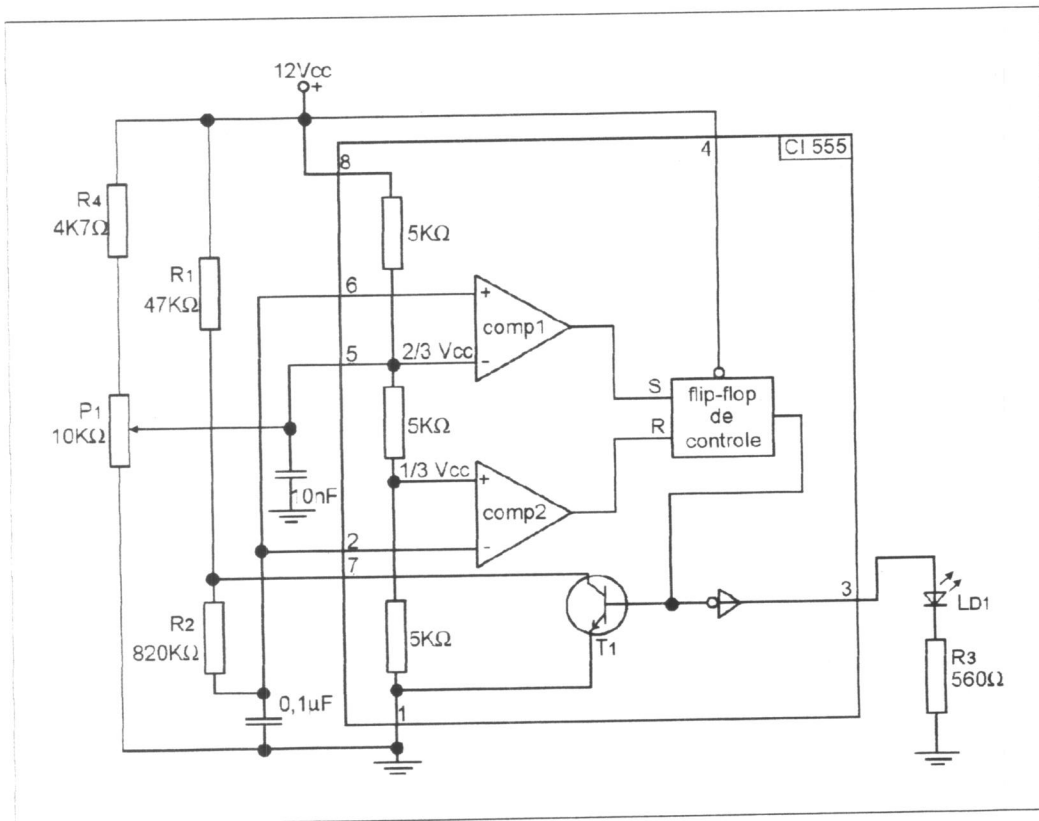
## Procedimentos

1. Monte o circuito da figura abaixo.



2. Ajuste a fonte CC para 12Vcc e conecte-a ao circuito.

3. Conecte o osciloscópio no circuito; canal 1 (CH1, ponta de prova em x10) no capacitor  $C_1$  (pino do 555) e canal 2 (CH2) na saída do circuito (pino 3 do 555).
4. Esboce as formas de onda dos canais 1 e 2, anotando os ajustes do osciloscópio (volts/div e time/div).
5. Determine:
  - a. O tempo de carga.
  - b. O tempo de descarga.
  - c. A frequência do sinal de saída.
6. Desligue o circuito e faça as modificações conforme esquema da figura a seguir.



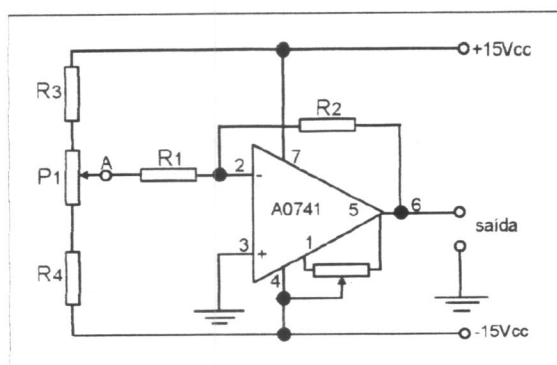
7. Ligue o circuito. Atue no potenciômetro  $P_1$ ; observe, descreva e justifique o que ocorre no sinal de saída.

# Verificar um circuito linear

Esse ensaio tem como objetivo polarizar e verificar o funcionamento do amplificador operacional.

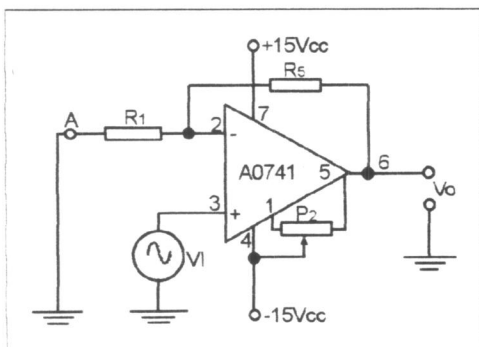
## Procedimentos

1. Monte o circuito conforme o esquema da figura a seguir.

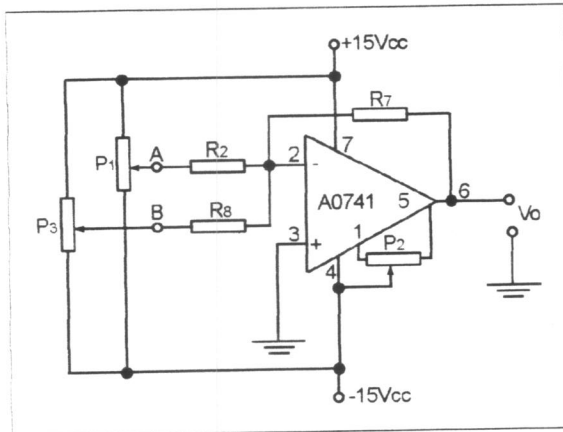


2. Conecte o canal 1 (CH1) do osciloscópio na saída do circuito. Desconecte o ponto "A" do circuito. Coloque um "jump" entre os pinos 2 e 3 do AO e atue no potenciômetro  $P_2$  até que o sinal na saída seja zero volt. Não mexa mais em  $P_2$ . Esse é o ajuste de "offset null".
3. Retire o "jump" entre os pinos do 2 e 3, reconecte o ponto "A".
4. Atue no potenciômetro  $P_1$  até que o amplificador atinja a saturação positiva, ou seja, a tensão e saída seja igual (ou muito próxima) a alimentação positiva do circuito.
5. Com o multímetro digital, sem mexer no circuito, meça a tensão entre ponto "A" (cursor de  $P_1$ ) e o terra do circuito e anote.

6. Repita os itens 4 e 5 para saturação negativa e anote o valor de tensão no ponto "A" do circuito.
7. Com base nos resultados dos itens anteriores esboce o gráfico de característica de transferência do AO, indicando os valores que compreendem a região linear.
8. Desligue o circuito, substitua o resistor  $R_2$  ( $10K\Omega$ ) por  $R_5$  ( $5,6K\Omega$ ); repita os passos 4 a 7 indicando os valores e esboçando o gráfico.
9. Observe os gráficos e descreva suas diferenças e quais as causas de tais diferenças.
10. Desligue o circuito e tomando o cuidado para não mexer no ajuste de offset desfaça as ligações e monte o circuito da figura a seguir.
11. Ajuste o gerador de funções para onda senoidal, 1KHz, 2Vpp.
12. Conecte o osciloscópio ao circuito: canal 1 (CH<sub>1</sub>) no ponto "A", canal 2 (CH<sub>2</sub>) na saída (Vo) e desenhe as formas de onda indicando os anais a qual pertencem.
13. Qual é o tipo de amplificador utilizado no item 10? Por quê?
14. Calcule o ganho do amplificador.
15. Cite duas maneiras de aumentar o ganho do circuito para 10.
16. Altere o circuito conforme o esquema da figura a seguir.



17. Ajuste o gerador de funções para onda senoidal, 1KHz, 2Vpp. Determine o ganho, a relação de fase do circuito e meça a tensão de saída  $V_o$ .
18. Faça as modificações no circuito segundo o esquema da figura que segue tomando cuidado para não mexer no ajuste de offset.



19. Ajuste o potenciômetro  $P_1$  e  $P_3$  de forma a obter os valores de tensão nos pontos A e B (em relação ao terra) conforme a tabela e anote os valores de tensão e saída ( $V_o$ ) para cada situação.

VA (volts)	VB (volts)
0	0
1	1
2	3
3	7
5	3
-5	5
-5	-5
0	-3
9	8

20. Qual a expressão matemática na saída do circuito anterior?
21. O que podemos fazer para que o sinal na saída do circuito anterior seja igual a somatória dos sinais da entrada (sem inversão de fase)?
22. Por que o último item ( $V_o$ ) da tabela não apresenta valor correto?

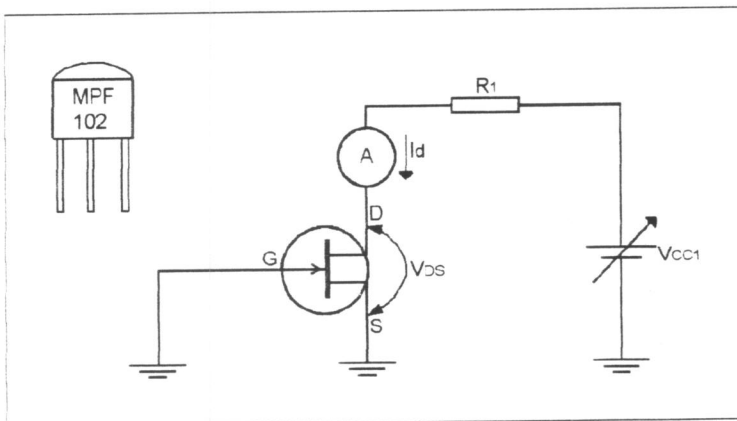


# Polarizar um transistor de efeito de campo

Esse ensaio tem como objetivo verificar o funcionamento e a polarização do transistor de efeito de campo.

## Procedimentos

1. Monte o circuito da figura a seguir. Observe a polarização do FET.



2. Varie a fonte  $V_{cc}$  de modo a obter  $V_{ds}$  conforme a tabela abaixo. Anote os valores de  $I_D$  para cada caso.

$V_{ds}$	$V_{ds}$
0	9
1	10
2	11
3	12
4	13
5	14
6	15
7	16
8	17





---

# Referências bibliográficas

SENAI-SP. **Eletrônica Analógica**. Por Airton Almeida de Moraes e Regina Célia Roland Novaes. São Paulo, 2000.

SENAI-SP. **Prática Profissional II - Eletroeletrônica**. Por Airton Almeida de Moraes e Regina Célia Roland Novaes. São Paulo, 1998.

SENAI-SP. **Eletrônica para Eletricista de manutenção - Eletrônica básica**. Por Norton Pereira et alli. São Paulo, 1991. 429p.

