



**MECÂNICO DE MOTOR CICLO  
DIESEL**

**SUMÁRIO**

|    |                                  |    |
|----|----------------------------------|----|
| 1- | MOTOR DIESEL                     | 3  |
| 2- | CONTROLE DIMENSIONAL             | 13 |
| 3- | SISTEMA INTERNACIONAL DE MEDIDAS | 15 |
| 4- | INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO          | 31 |
| 5- | GRANDEZAS E UNIDADES ELÉTRICAS   | 34 |
| 6- | CIRCUITOS ELÉTRICOS              | 42 |

REFERÊNCIAS

### 1- MOTOR DIESEL

O **motor Diesel** ou **motor de ignição por compressão** é um motor de combustão interna inventado pelo engenheiro alemão Rudolf Diesel (1858-1913), em que a combustão se faz pelo aumento da temperatura provocado pela compressão do ar.

Em 23 de fevereiro de 1893 o engenheiro alemão Rudolf Diesel recebeu a patente para o seu motor de autoignição. O motor Diesel destaca-se ainda hoje pela economia de combustível.

#### História



Rudolf Diesel

Rudolf Diesel nasceu em Paris em 1858, filho de um artista que trabalhava cabedal<sup>[carece de fontes]</sup> e de uma governanta que também era professora de línguas. Aos 12 anos de idade foi admitido na *Ecole Primaire Superieure*, que era então a melhor escola de Paris. Quando rebentou a guerra Franco-Prussiana (19 de Julho de 1870 — 10 de Maio de 1871), a família de Rudolf foi considerada inimiga da França, sendo deportados para a cidade de Londres. Mais tarde, um primo ajudou-o a voltar para a cidade natal do seu pai, Augsburg, onde frequentou a *Royal County Trade School* e ganhou uma bolsa para a Universidade Técnica de Munique, onde conheceu Carl von Linde, pioneiro na área da refrigeração, que fez de Rudolf seu protegido.

Após a sua graduação, muda-se para Winterthur, Suíça onde é maquinista e designer durante dois anos. Paris foi o destino seguinte, onde esteve empregado na *Linde Refrigeration Enterprises* e também onde se tornou um apreciador de arte e política.

Em 1885 montou sua primeira loja-laboratório em Paris, onde desenvolveu o seu motor a tempo inteiro. Mais tarde mudou-se para Berlim onde continuou seu trabalho, ficando sempre associado à *Linde Enterprises*.

Em 1893, patenteou seu invento, apresentando o primeiro automóvel da história equipado com motor a diesel (e o primeiro movido por um biocombustível) em Augsburg, Alemanha, no dia 10 de Agosto.<sup>[1]</sup>

Regressou dos Estados Unidos após conflitos sobre registros de patentes, especulações financeiras mal sucedidas e teve problemas psicológicos. Esteve à beira da falência. Diesel regressa à Europa para prosseguir as suas pesquisas. Faleceu a 30 de setembro de 1913, ao cruzar o canal da Mancha numa viagem à Inglaterra. Diesel pretendia expor às autoridades navais daquele país novas possibilidades para o uso do seu motor. A cabine do navio onde viajava chegou vazia à Inglaterra. Os motivos e acontecimentos que levaram à sua morte, continuam um mistério ainda hoje. Dias depois da sua morte, o seu corpo foi encontrado a boiar no Mar do Norte.

Os marinheiros que o acharam guardaram os seus documentos e pertences e devolveram o corpo ao mar (prática comum naquele tempo). Só em terra é que viram tratar-se do famoso inventor alemão Rudolf Diesel.

### Tecnologia

---

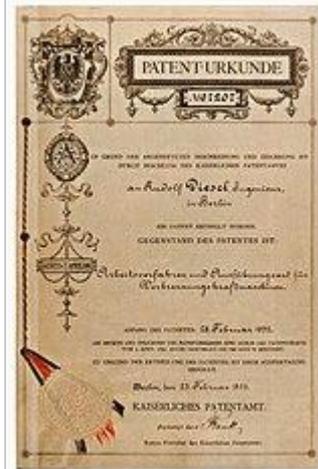
Quando o tempo está frio, o ar ao ser comprimido poderá não atingir a temperatura suficiente para a primeira ignição, mas esses obstáculos têm vindo a desaparecer em virtude das injeções electrónicas directas e a maior rotação do motor de partida. Nos modelos antigos ou lugares muito frios costuma-se usar velas de incandescência no tubo de admissão para minimizar esse efeito sendo que alguns motores estacionários ainda usam buchas de fogo e a partida é feita com manivelas.

As principais diferenças entre o motor a gasolina e o motor diesel são as seguintes:

- Enquanto o motor a gasolina funciona com a taxa de compressão que varia de 8:1 a 12:1, no motor diesel esta varia de 15:1 a 25:1. Daí a robustez de um relativamente a outro.
- Enquanto o motor a gasolina admite (admissão - primeiro tempo do ciclo de quatro tempos de um motor Ciclo Otto) a mistura ar/combustível para o cilindro (injeção indireta, com o combustível sendo diretamente despejado no coletor de admissão), o motor Diesel aspira apenas ar, com o diesel sendo despejado diretamente no topo do cilindro (todavia, os motores a gasolina com injeção direta, mais similares ao ciclo diesel, estão a se popularizar graças aos ganhos em eficiência e economia que tal sistema possibilita).<sup>[2][3]</sup>
- A ignição dos motores a gasolina dá-se a partir de uma faísca elétrica fornecida pela vela de ignição antes da máxima compressão na câmara de *explosão* (> a 400 °C). Já no motor Diesel a *combustão* ocorre quando o combustível é injetado e imediatamente inflamado pelas elevadas temperaturas (> a 600 °C) devido ao ar fortemente comprimido na câmara de combustão. O Engenheiro Rudolf Diesel, chegou a esse método quando aperfeiçoava máquinas a vapor.



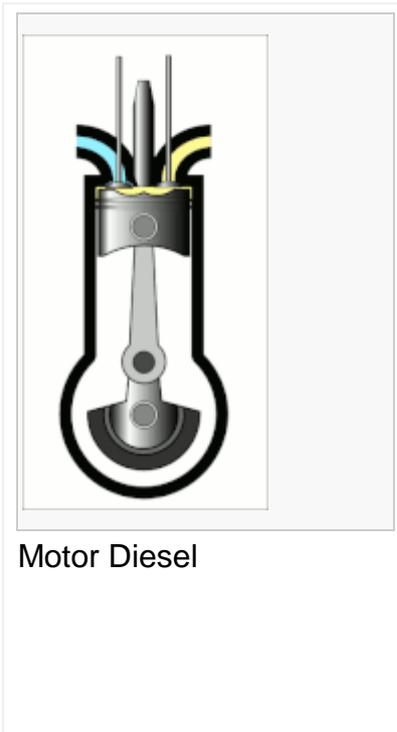
Primeiro Motor Diesel de  
1893



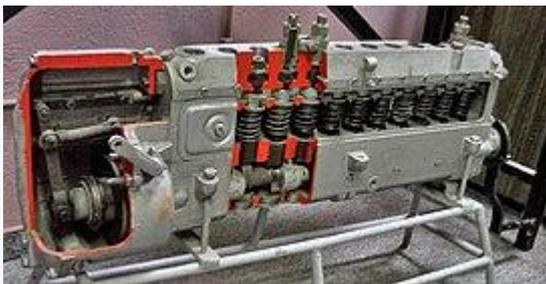
A patente sobre o motor de Rudolf Diesel, em 23 de fevereiro de 1893.



Motor a diesel, em aplicação estacionária, acoplado a um gerador.



### Combustível



Bomba injetora de um motor a diesel de 12 cilindros.

O primeiro protótipo de motor diesel foi alimentado com óleo vegetal (óleo de amendoim),<sup>[4]</sup> porém o combustível utilizado desde então pelos motores diesel é o óleo diesel (gasóleo em Portugal), um hidrocarboneto obtido a partir da refinação do petróleo a temperaturas de 250°C e 350 °C. Recentemente no Brasil, por lei, o diesel de petróleo é vendido após receber uma adição percentual de biodiesel, pois esse é produzido de óleo vegetal e/ou animal (fontes de energia renovável) através do processo de transesterificação sendo, portanto, um éster<sup>[5]</sup> e não um hidrocarboneto como o diesel de origem fóssil. Há pesquisas desde 1920 para aprimorar a produção de diesel sintético através de tecnologias de conversão (Processo de Fischer-Tropsch) utilizando como insumo substâncias que

contém carbono e hidrogênio (ver: Combustível sintético). Na década de 2010, pesquisa-se a produção de biodiesel a partir de cana-de-açúcar que, como o diesel derivado do petróleo, também é um hidrocarboneto.<sup>[6]</sup>

### Funcionamento

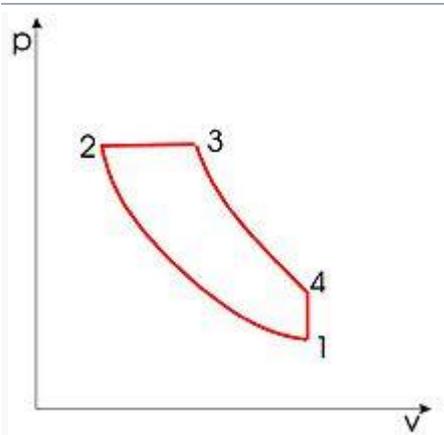


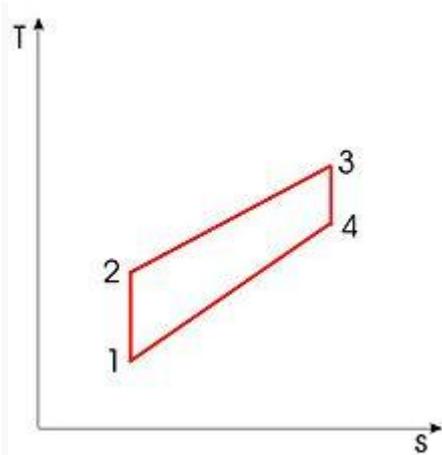
Fig. 1: Ciclo diesel num diagrama p-v.

Para explicar o funcionamento de um motor Diesel, é preciso conhecer algumas características termodinâmicas referentes à teoria de máquinas térmicas, mais concretamente aos ciclos térmicos. O ciclo Diesel representa, em teoria, o funcionamento do motor com o mesmo nome. A realidade não difere muito deste modelo teórico, mas devido a variados factores, o ciclo térmico não passa mesmo disso. Na prática, o funcionamento possui algumas diferenças.

Para o ciclo teórico, estão representadas nas figuras, as evoluções consoante as propriedades analisadas. A figura 1 mostra a evolução segundo a pressão e o volume específico, a figura 2, a relação entre a temperatura e a entropia.

Em ambos os casos, a evolução é:

- **1 → 2** : Compressão isentrópica →
- **2 → 3** : Fornecimento de calor a pressão constante (isobárico) →
- **3 → 4** : Expansão isentrópica →
- **4 → 1** : Cedência de calor a volume constante →



Figv.2: Ciclo diesel num diagrama T-s.

Trabalho de ciclo:

Rendimento do ciclo:

Razão de compressão:

### Funcionamento mecânico

Na maioria das aplicações os motores Diesel funcionam como um motor quatro tempos. O ciclo inicia-se com o êmbolo no ponto morto superior (PMS). A válvula de admissão está aberta e o êmbolo ao descer aspira o ar para dentro do cilindro.

O êmbolo atinge o Ponto Morto Inferior (PMI), a válvula de admissão fecha, e inicia-se então a compressão. A temperatura do ar dentro do cilindro aumenta substancialmente devido à diminuição do volume.

Pouco antes do PMS o combustível começa a ser pulverizado pelo ejetor em finas gotículas, misturando-se com o ar quente até que se dá a combustão. A combustão é controlada pela taxa de injeção de combustível, ou seja, pela quantidade de combustível que é injectado. O combustível começa a ser injectado um pouco antes do PMS devido ao facto de atingir a quantidade suficiente para uma perfeita mistura (ar + combustível) e conseqüentemente uma boa combustão.

A expansão começa após o PMS do êmbolo com a mistura (ar + combustível) na proporção certa para a combustão espontânea, onde o combustível continua a ser pulverizado até momentos antes do PMI.

O ciclo termina com a fase de escape, onde o embolo retorna ao PMS, o que faz com que os gases de combustão sejam expulsos do cilindro, retomando assim o ciclo.

No caso dos motores a dois tempos, o ciclo é completado a cada volta, a admissão não é feita por válvulas mas sim por janelas.

### Usos

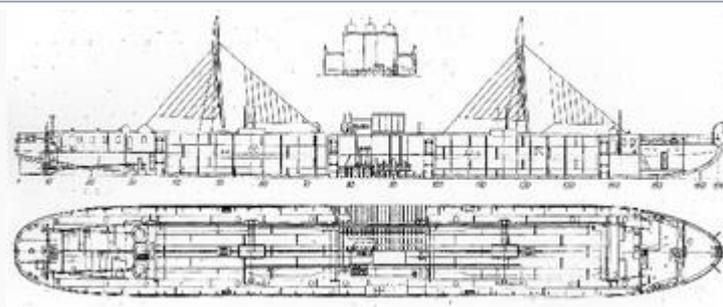


Diagrama do petroleiro russo *Vandal*.

Seu primeiro uso prático foi no campo da propulsão naval. As primeiras embarcações a usá-lo foram o petroleiro Vandal (Rússia, 1903)<sup>[7]</sup> e o submarino Aigrette (França, 1904).<sup>[8]</sup> Em 1912, surge a primeira locomotiva a diesel (Suíça).<sup>[9]</sup> O primeiro trator e o primeiro caminhão a diesel surgiram, respectivamente em 1922 e 1923 (ambos na Alemanha).<sup>[10] [11]</sup> No começo dos anos 1930, automóveis com este propulsor disputaram de competições automobilísticas nos Estados Unidos.<sup>[12]</sup> A produção em série de automóveis leves dotados de motor a diesel, só teve início na década de 1930, por iniciativa de fabricantes da França e Alemanha.<sup>[12]</sup>

### Gama de velocidade



### Motor aeronáutico a diesel SMA SR305-230.

Industrialmente, estes motores são divididos segundo a sua velocidade de rotação (rpm), existem três tipos: altas, médias e baixas velocidades.

- Altas velocidades - (acima de 1000rpm) - São mais utilizados em inúmeras aplicações (automóveis, caminhões, barcos, compressores, bombas, entre outros). Geralmente motores a quatro tempos com a combustão a dar-se rapidamente.
- Médias velocidades - (variam entre as 500 e 1000rpm) - Na indústria, estes motores são utilizados em aplicações de "grande porte", tais como locomotivas, grandes compressores e bombas, grupos geradores diesel-elétricos e alguns navios (ver: propulsão naval).
- Baixas velocidades - (variam entre 60 e 200rpm) - Em grandes navios, os maiores motores (em dimensão) quando comparados com os outros dois, estes motores diferenciam-se não só pela potência que são capazes de desenvolver (cerca de 85 MW), como pelas propriedades do combustível - normalmente óleo combustível pesado - e a velocidade de explosão e serem motores dois tempos, como o maior motor a combustão interna do mundo<sup>[13]</sup> o Wärtsilä-Sulzer RT-flex96C.

### Galeria

#### Veículos com motorização diesel



R101



Motocicleta a diesel



## 2- CONTROLE DIMENSIONAL

### **A qualidade da inspeção do controle dimensional**

*O inspetor de controle dimensional deve possuir os conhecimentos teóricos e práticos para avaliar a qualidade no nivelamento de bases de máquinas e equipamentos, balanceamento de máquinas rotativas, rotores e turbinas, medir rotação de eixos de motores, realizar alinhamento de eixos, inspecionar peças, equipamentos e acessórios destinados à indústria mecânica, através de conceitos metrológicos que visam a garantir as características dimensionais de roscas, engrenagens, acoplamentos, polias, acabamentos superficiais, tolerâncias geométricas, e ajustes para acoplamentos com folgas e com interferências forçadas.*

A metrologia se aplica a todas as grandezas determinadas e, em particular, às dimensões lineares e angulares das peças mecânicas. Nenhum processo de usinagem permite que se obtenha rigorosamente uma dimensão prefixada. Por essa razão, é necessário conhecer a grandeza do erro tolerável, antes de se escolherem os meios de fabricação e controle convenientes.

No fundo, o controle não tem por fim somente reter ou rejeitar os produtos fabricados fora das normas; destina-se, antes, a orientar a fabricação, evitando erros. Representa, por conseguinte, um fator importante na redução das despesas gerais e no acréscimo da produtividade.

Um controle eficaz deve ser total, isto é, deve ser exercido em todos os estágios de transformação da matéria, integrando-se nas operações depois de cada fase de usinagem. Todas as operações de controle dimensional são realizadas por meio de aparelhos e instrumentos.

O que faz um Inspetor de Controle Dimensional?

Considerada uma mão de obra rara e bem requisitada no mercado, o inspetor de Ensaio Não Destrutivos (ENDs) de Controle Dimensional é o profissional responsável por verificar, através da metrologia dimensional, as características de peças, subconjuntos e/ou equipamentos completos, com o objetivo de garantir a montagem, o bom funcionamento e a intercambialidade de peças e componentes de equipamentos e estruturas.

Uma das modalidades bem aplicadas dessa técnica é a Caldeiraria e Tubulação, os técnicos aplicam o controle dimensional aos equipamentos de origem em processos de fabricação de caldeiraria, como vasos de pressão, tanques de armazenamento, juntas tubulares e segmentos de tubulação, estruturas metálicas para as mais diversas aplicações, etc. Como cada equipamento é fabricado de maneira quase que única, a exigência é que cada procedimento de controle dimensional seja específico. Lembrando que, o controle dimensional aplica-se também nas modalidades de mecânica, topografia industrial e montagem de máquinas.

As empresas buscam a aplicação dessa técnica porque ela promove a preservação do meio ambiente, ajuda a garantir a qualidade de bens e serviços, aumenta a confiabilidade operacional de equipamentos e reduz custos e riscos.

No entanto, encontrar profissionais experientes e capacitados é uma dificuldade para muitos gestores que precisam desse serviço. A solução para esse problema está na terceirização de mão de obra, por meio de empresas confiáveis que executam todo o processo de admissão do funcionário. Pensando nisso, a Russel Serviços, no mercado há mais de 12 anos, disponibiliza esse profissional em até 48h. A contratação é feita através de uma plataforma digital, otimizando tempo e burocracias.

### 3- SISTEMA INTERNACIONAL DE MEDIDAS

**Sistema Internacional de Unidades** (sigla **SI**, do francês *Système international d'unités*)<sup>[1]</sup> é a forma moderna do sistema métrico e é geralmente um sistema de unidades de medida concebido em torno de sete unidades básicas e da conveniência do número dez. É o sistema de medição mais usado do mundo, tanto no comércio todos os dias e na ciência.<sup>[2][3]</sup> O SI é um conjunto sistematizado e padronizado de definições para unidades de medida, utilizado em quase todo o mundo moderno, que visa a uniformizar e facilitar as medições e as relações internacionais daí decorrentes.<sup>[4]</sup>

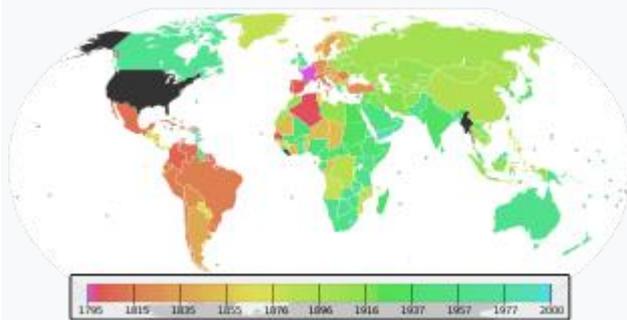
O antigo sistema métrico incluía vários grupos de unidades. O SI foi desenvolvido em 1960 do antigo sistema metro-quilograma-segundo, ao invés do sistema centímetro-grama-segundo, que, por sua vez, teve algumas variações. Visto que o SI não é estático, as unidades são criadas e as definições são modificadas por meio de acordos internacionais entre as muitas nações conforme a tecnologia de medição avança e a precisão das medições aumenta.

O sistema tem sido quase universalmente adotado. As três principais exceções são a Myanmar, a Libéria e os Estados Unidos. O Reino Unido adotou oficialmente o Sistema Internacional de Unidades, mas não com a intenção de substituir totalmente as medidas habituais.

#### História



Os países que adotaram oficialmente o [sistema métrico \(verde\)](#). Apenas três das 203 nações não adotaram oficialmente o Sistema Internacional de Unidades como seu [sistema principal ou único de medição](#): [Mianmar](#), [Libéria](#) e [Estados Unidos](#).<sup>[5]</sup> Os Estados Unidos é o único país industrializado do mundo que têm uma aversão ao uso do Sistema Internacional de Unidades como o sistema predominante de medida.<sup>[6]</sup>



Países por data de adoção do sistema métrico ou do SI. As cores do verde ao vermelho mostram o padrão do sistema métrico entre 1795-1998. A cor preta identifica os países que não adotaram o sistema métrico como o seu sistema primário de medição. A cor branca identifica os países que já utilizavam o sistema métrico no momento em que conquistaram a sua independência.

Para efetuar medidas é necessário fazer uma [padronização](#), escolhendo unidades para cada grandeza. Antes da instituição do Sistema Métrico Decimal, as unidades de medida eram definidas de maneira arbitrária, variando de um país para outro, dificultando as transações comerciais e o intercâmbio científico entre eles. As unidades de comprimento, por exemplo, eram quase sempre derivadas das partes do corpo do rei de cada país: a [jarda](#), o [pé](#), a [polegada](#) e outras. Até hoje, estas unidades são usadas nos [Estados Unidos](#), embora definidas de uma maneira menos individual, mas através de padrões restritos às dimensões do meio em que vivem e não mais as variáveis desses indivíduos.

Em [1585](#), o matemático flamengo [Simon Stevin](#) publicou um pequeno panfleto chamado *La Thiende*, no qual ele apresentou uma conta elementar e completa de frações decimais e sua utilização diária. Embora ele não tenha inventado as frações decimais e sua notação, ele estabeleceu seu uso na matemática do dia-a-dia. Ele declarou que a introdução universal da cunhagem decimal, medidas e pesos seria

apenas uma questão de tempo. No mesmo ano, ele escreveu *La Disme* sobre o mesmo assunto.<sup>[7]</sup>

Há registros de que a primeira ideia de um sistema métrico seja de John Wilkins, primeiro secretário da [Royal Society](#) de [Londres](#) em [1668](#), porém a ideia não vingou e a [Inglaterra](#) continuou com os diferentes sistemas de pesos e medidas.<sup>[8][9][10]</sup>

Foi na [França](#) onde a ideia de um sistema unificado saiu do papel. A proliferação dos diferentes sistemas de medidas foi uma das causas mais frequentes de litígios entre comerciantes, cidadãos e cobradores de impostos. Com o país unificado com uma moeda única e um mercado nacional havia um forte incentivo econômico para romper com essa situação e padronizar um sistema de medidas. O problema inconsistente não era as diferentes unidades, mas os diferentes tamanhos das unidades. Ao invés de simplesmente padronizar o tamanho das unidades existentes, os líderes da [Assembleia Nacional Constituinte Francesa](#) decidiram que um sistema completamente novo deveria ser adotado.

O Governo Francês fez um pedido à [Academia Francesa de Ciências](#) para que criasse um sistema de medidas baseadas em uma constante não arbitrária. Após esse pedido, um grupo de investigadores franceses, composto de físicos, astrônomos e agrimensores, deu início a esta tarefa, definindo assim que a unidade de comprimento **metro** deveria corresponder a uma determinada fração da circunferência da Terra e correspondente também a um intervalo de graus do meridiano terrestre. Em 22 de junho de [1799](#) foi depositado, nos Arquivos da República em Paris, dois protótipos de platina iridiada, que representam o metro e o quilograma, ainda hoje conservados no Escritório Internacional de Pesos e Medidas (Bureau international des poids et mesures) na França.<sup>[11]</sup>

Em [20 de maio](#) de [1875](#)<sup>[11]</sup> um [tratado internacional](#) conhecido como *Convention du Mètre* ([Convenção do Metro](#)), foi assinado por 17 [Estados](#). Este tratado estabeleceu as seguintes organizações para conduzir as atividades internacionais em matéria de um sistema uniforme de medidas:

- [Conférence Générale des Poids et mesures](#) (CGPM), uma conferência intergovernamental de delegados oficiais dos países membros e da autoridade suprema para todas as ações;

- [Comité international des poids et mesures](#) (CIPM), composta por cientistas e metrologistas, que prepara e executa as decisões da CGPM e é responsável pela supervisão do Bureau Internacional de Pesos e Medidas;
- [Bureau International des Poids et mesures](#) (BIPM), um laboratório permanente e centro mundial da metrologia científica, as atividades que incluem o estabelecimento de normas de base e as escalas das quantidades de capital físico e manutenção dos padrões protótipo internacional.

Em [1889](#), a 1ª CGPM definiu os protótipos internacionais de metro e quilograma<sup>[11]</sup> e as próximas conferências definiram as demais unidades que hoje são as bases do SI. A partir da criação destas organizações todo e qualquer assunto relacionado a medição são de sua responsabilidade. Mais tarde, a CGPM estabeleceu que o sistema métrico internacional seria designado *Sistema Internacional*, com abreviatura SI em todos os idiomas.<sup>[11]</sup> O SI foi adotado globalmente por praticamente todos os países. As três exceções são [Myanmar](#), [Libéria](#) e os [Estados Unidos](#). Com o passar do tempo outras unidades foram adicionadas ao SI nas posteriores CGPMs: ampère (corrente elétrica) em 1946, kelvin (temperatura absoluta) e candela (luminosidade) em 1954 e mol (quantidade de matéria) em 1971.<sup>[11]</sup>

### Unidades do SI

#### Básicas

Definiram-se sete grandezas físicas postas como básicas ou fundamentais. Por conseguinte, passaram a existir sete unidades básicas correspondentes — as unidades básicas do SI — descritas na tabela, na coluna à esquerda. A partir delas, podem-se derivar todas as outras unidades existentes. As unidades básicas do SI — posto que [dimensionalmente axiomáticas](#) — são dimensionalmente independentes entre si.

| <u>Grandeza</u>    | <u>Unidade</u> | <u>Símbolo</u> |
|--------------------|----------------|----------------|
| <u>Comprimento</u> | <u>metro</u>   | <u>m</u>       |

|                                  |                   |                           |
|----------------------------------|-------------------|---------------------------|
| <u>Massa</u>                     | <u>quilograma</u> | <u>kg</u>                 |
| <u>Tempo</u>                     | <u>segundo</u>    | <u>s</u>                  |
| <u>Corrente elétrica</u>         | <u>ampere</u>     | <u>A</u>                  |
| <u>Temperatura termodinâmica</u> | <u>kelvin</u>     | <u>K</u>                  |
| <u>Quantidade de substância</u>  | <u>mol</u>        | <u>mol<sup>[12]</sup></u> |
| <u>Intensidade luminosa</u>      | <u>candela</u>    | <u>cd</u>                 |

### Derivadas

Consideram-se unidades derivadas do SI apenas aquelas que podem ser expressas através das unidades básicas do SI e sinais de multiplicação e divisão.<sup>[13]</sup> Desse modo, há apenas uma unidade do SI para cada grandeza. Contudo, para cada unidade do SI pode haver várias grandezas. Às vezes, dão-se nomes especiais para as unidades derivadas.

Segue uma tabela com as unidades SI derivadas que recebem um nome especial e símbolo particular:

| <u>Grandeza</u>             | <u>Unidade</u>                    | <u>Símbolo</u> | <u>Dimensional analítica</u>  | <u>Dimensional sintética</u>       |
|-----------------------------|-----------------------------------|----------------|---|------------------------------------|
| <u>Ângulo plano</u>         | <u>radiano</u>                    | <u>rad</u>     | <u>1</u>  | <u>m/m</u>                         |
| <u>Ângulo sólido</u>        | <u>esferorradiano<sup>1</sup></u> | <u>sr</u>      | <u>1</u>  | <u>m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup></u> |
| <u>Atividade catalítica</u> | <u>katal</u>                      | <u>kat</u>     | <u>mol/s</u>  | ---                                |
| <u>Atividade radioativa</u> | <u>becquerel</u>                  | <u>Bq</u>      | <u>1/s</u>  | ---                                |
| <u>Capacitância</u>         | <u>farad</u>                      | <u>F</u>       | <u>A<sup>2</sup>·s<sup>2</sup>·s<sup>2</sup>/(kg·m<sup>2</sup>)</u> | <u>A·s/V</u>                       |
| <u>Carga elétrica</u>       | <u>coulomb</u>                    | <u>C</u>       | <u>A·s</u>  | ---                                |

|                                       |                     |           |  |                         |
|---------------------------------------|---------------------|-----------|--|-------------------------|
| <u>Condutância</u>                    | <u>siemens</u>      | <u>S</u>  | <u><math>A^2 \cdot s^3 / (kg \cdot m^2)</math></u> | <u>A/V</u>              |
| <u>Dose absorvida</u>                 | <u>gray</u>         | <u>Gy</u> | <u><math>m^2/s^2</math></u>                        | <u>J/kg</u>             |
| <u>Dose equivalente</u>               | <u>sievert</u>      | <u>Sv</u> | <u><math>m^2/s^2</math></u>                        | <u>J/kg</u>             |
| <u>Energia</u>                        | <u>joule</u>        | <u>J</u>  | <u><math>kg \cdot m^2/s^2</math></u>               | <u>N·m</u>              |
| <u>Fluxo luminoso</u>                 | <u>lúmen</u>        | <u>lm</u> | <u>cd</u>  | <u>cd·sr</u>            |
| <u>Fluxo magnético</u>                | <u>weber</u>        | <u>Wb</u> | <u><math>kg \cdot m^2 / (s^2 \cdot A)</math></u>   | <u>V·s</u>              |
| <u>Força</u>                          | <u>newton</u>       | <u>N</u>  | <u><math>kg \cdot m/s^2</math></u>                 | ---                     |
| <u>Frequência</u>                     | <u>hertz</u>        | <u>Hz</u> | <u>1/s</u>   | ---                     |
| <u>Indutância</u>                     | <u>henry</u>        | <u>H</u>  | <u><math>kg \cdot m^2 / (s^2 \cdot A^2)</math></u> | <u>Wb/A</u>             |
| <u>Intensidade de campo magnético</u> | <u>tesla</u>        | <u>T</u>  | <u><math>kg / (s^2 \cdot A)</math></u>             | <u>Wb/m<sup>2</sup></u> |
| <u>Luminosidade</u>                   | <u>lux</u>          | <u>lx</u> | <u>cd/m<sup>2</sup></u>                            | <u>lm/m<sup>2</sup></u> |
| <u>Potência</u>                       | <u>watt</u>         | <u>W</u>  | <u><math>kg \cdot m^2/s^3</math></u>               | <u>J/s</u>              |
| <u>Pressão</u>                        | <u>pascal</u>       | <u>Pa</u> | <u><math>kg / (m \cdot s^2)</math></u>             | <u>N/m<sup>2</sup></u>  |
| <u>Resistência elétrica</u>           | <u>ohm</u>          | <u>Ω</u>  | <u><math>kg \cdot m^2 / (s^3 \cdot A^2)</math></u> | <u>V/A</u>              |
| <u>Temperatura em Celsius</u>         | <u>grau Celsius</u> | <u>°C</u> | ---  | ---                     |
| <u>Tensão elétrica</u>                | <u>volt</u>         | <u>V</u>  | <u><math>kg \cdot m^2 / (s^3 \cdot A)</math></u>   | <u>W/A</u>              |

<sup>1</sup> Em Portugal: esterradiano.

Até 1995, havia duas unidades *suplementares*: o radiano e o esferorradiano (*esterradiano*, em Portugal). Uma resolução da CGPM (Conferência Geral de Pesos e Medidas) de então tornou-as *derivadas*.

É fácil de perceber que, em tese, são possíveis incontáveis (por extensão, "infinitas") unidades derivadas do SI (por exemplo;  $m^2$ ,  $m^3$ , etc.), tantas quantas se possam imaginar com base nos princípios constitutivos fundamentais. As tabelas que se seguem não pretendem ser uma lista exaustiva. São, tão somente, uma apresentação organizada, tabelada, das unidades do SI das principais grandezas, acompanhadas dos respectivos nomes e símbolos. Na primeira tabela, unidades que não fazem uso das unidades com nomes especiais:

| <b>Grandeza</b>              | <b>Unidade</b>                       | <b>Símbolo</b>              |
|------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|
| <u>Área</u>                  | <u>metro quadrado</u>                | <u><math>m^2</math></u>     |
| <u>Volume</u>                | <u>metro cúbico</u>                  | <u><math>m^3</math></u>     |
| <u>Número de onda</u>        | <u>por metro</u>                     | <u><math>1/m</math></u>     |
| <u>Densidade de massa</u>    | <u>quilograma por metro cúbico</u>   | <u><math>kg/m^3</math></u>  |
| <u>Concentração</u>          | <u>mol por metro cúbico</u>          | <u><math>mol/m^3</math></u> |
| <u>Volume específico</u>     | <u>metro cúbico por quilograma</u>   | <u><math>m^3/kg</math></u>  |
| <u>Velocidade</u>            | <u>metro por segundo</u>             | <u><math>m/s</math></u>     |
| <u>Aceleração</u>            | <u>metro por segundo ao quadrado</u> | <u><math>m/s^2</math></u>   |
| <u>Densidade de corrente</u> | <u>ampere por metro ao quadrado</u>  | <u><math>A/m^2</math></u>   |
| <u>Campo magnético</u>       | <u>ampere por metro</u>              | <u><math>A/m</math></u>     |

Na segunda tabela, as que fazem uso na sua definição das unidades com nomes especiais.

| <b>Grandeza</b>   | <b>Unidade</b>     | <b>Símbolo</b> | <b><u>Dimensional</u> analítico</b> | <b><u>Dimensional</u> sintético</b> |
|-------------------|--------------------|----------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| <u>Velocidade</u> | <u>radiano por</u> | <u>rad/s</u>   | <u><math>1/s</math></u>             | <u>Hz</u>                           |

|                                |  |                          |  |                       |
|--------------------------------|--|--------------------------|--|-----------------------|
| <u>angular</u>                 | <u>segundo</u>                         |                          |  |                       |
| <u>Aceleração angular</u>      | <u>radiano por segundo por segundo</u> | <u>rad/s<sup>2</sup></u> | <u>1/s<sup>2</sup></u>                     | <u>Hz<sup>2</sup></u> |
| <u>Momento de força</u>        | <u>newton metro</u>                    | <u>N·m</u>               | <u>kg·m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup></u>      | ----                  |
| <u>Densidade de carga</u>      | <u>coulomb por metro cúbico</u>        | <u>C/m<sup>3</sup></u>   | <u>A·s/m<sup>3</sup></u>                   | ----                  |
| <u>Campo elétrico</u>          | <u>volt por metro</u>                  | <u>V/m</u>               | <u>kg·m/(s<sup>3</sup>·A)</u>              | <u>W/(A·m)</u>        |
| <u>Entropia</u>                | <u>joule por kelvin</u>                | <u>J/K</u>               | <u>kg·m<sup>2</sup>/(s<sup>2</sup>·K)</u>  | <u>N·m/K</u>          |
| <u>Calor específico</u>        | <u>joule por quilograma por kelvin</u> | <u>J/(kg·K)</u>          | <u>m<sup>2</sup>/(s<sup>2</sup>·K)</u>     | <u>N·m/(K·kg)</u>     |
| <u>Condutividade e térmica</u> | <u>watt por metro por kelvin</u>       | <u>W/(m·K)</u>           | <u>kg·m/(s<sup>3</sup>·K)</u>              | <u>J/(s·m·K)</u>      |
| <u>Intensidade de radiação</u> | <u>watt por esferorradian o</u>        | <u>W/sr</u>              | <u>kg·m<sup>2</sup>/(s<sup>3</sup>·sr)</u> | <u>J/(s·sr)</u>       |

#### Unidades aceitas pelo SI

O SI aceita várias unidades que **não** pertencem ao sistema. As primeiras unidades deste tipo são unidades muito utilizadas no cotidiano:

| Grandeza   | Unidade         | Símbolo              | Relação com o SI   |
|--|-----------------|----------------------|--|
| <u>Tempo</u>   | <u>minuto</u>   | min                  | 1 min = 60 <u>s</u>                                      |
| <u>Tempo</u>   | <u>hora</u>     | <u>h</u>             | 1 <u>h</u> = 60 min = 3600 <u>s</u>                      |
| <u>Tempo</u>   | <u>dia</u>      | <u>d</u>             | 1 <u>d</u> = 24 <u>h</u> = 86 400 <u>s</u>               |
| <u>Ângulo plano</u>  | <u>grau</u>     | <u>°</u>             | 1 <u>°</u> = $\pi/180$ <u>rad</u>                        |
| <u>Ângulo plano</u>  | <u>minuto</u>   | <u>'</u>             | 1 <u>'</u> = (1/60) <u>°</u> = $\pi/10\ 800$ <u>rad</u>  |
| <u>Ângulo plano</u>  | <u>segundo</u>  | <u>"</u>             | 1 <u>"</u> = (1/60) <u>'</u> = $\pi/648\ 000$ <u>rad</u> |
| <u>Volume</u>  | <u>litro</u>    | <u>l</u> ou <u>L</u> | 1 <u>l</u> = 0,001 <u>m</u> <sup>3</sup>                 |
| <u>Massa</u>   | <u>tonelada</u> | <u>t</u>             | 1 <u>t</u> = 1000 <u>kg</u>                              |
| <u>Argumento logarítmico</u><br>ou <u>Ângulo hiperbólico</u> | <u>neper</u>    | <u>Np</u>            | 1 <u>Np</u> = <u>1</u>                                   |
| <u>Argumento logarítmico</u><br>ou <u>Ângulo hiperbólico</u> | <u>bel</u>      | <u>B</u>             | 1 <u>B</u> = <u>1</u>                                    |

A relação entre o neper e o bel é: 1 B = 0,5 ln(10) Np. Outras unidades também são aceitas pelo SI, mas possuem uma relação com as unidades do SI determinada apenas por experimentos:

| Grandeza           | Unidade                         | Símbolo   | Relação com o SI   |
|--------------------|---------------------------------|-----------|--|
| <u>Energia</u>     | <u>elétron-volt</u>             | <u>eV</u> | 1 <u>eV</u> = 1,602 176 487(40) x 10 <sup>-19</sup> <u>J</u>   |
| <u>Massa</u>       | <u>unidade de massa atômica</u> | <u>u</u>  | 1 <u>u</u> = 1,660 538 782(83) x 10 <sup>-27</sup> <u>kg</u>   |
| <u>Comprimento</u> | <u>Unidade astronômica</u>      | <u>ua</u> | 1 <u>ua</u> = 1,495 978 706 91(30) x 10 <sup>11</sup> <u>m</u> |

Por fim, tem-se unidades que são aceitas temporariamente pelo SI. Seu uso é desaconselhado.

| Grandeza           | Unidade                         | Símbolo    | Relação com o SI  |
|--------------------|---------------------------------|------------|---|
| <u>Comprimento</u> | <u>milha</u><br><u>marítima</u> | ----       | 1 <u>milha marítima</u> = 1852 <u>m</u>                               |
| <u>Velocidade</u>  | <u>nó</u>                       | ----       | 1 <u>nó</u> = 1 <u>milha marítima</u> por hora = 1852/3600 <u>m/s</u> |
| <u>Área</u>        | <u>are</u>                      | <u>a</u>   | 1 <u>a</u> = 100 <u>m<sup>2</sup></u>                                 |
| <u>Área</u>        | <u>hectare</u>                  | <u>ha</u>  | 1 <u>ha</u> = 10 000 <u>m<sup>2</sup></u>                             |
| <u>Área</u>        | <u>acre</u>                     | ----       | 40,47 <u>a</u>  |
| <u>Área</u>        | <u>barn</u>                     | <u>b</u>   | 1 <u>b</u> = 10 <sup>-28</sup> <u>m<sup>2</sup></u>                   |
| <u>Comprimento</u> | <u>ångström</u>                 | <u>Å</u>   | 1 <u>Å</u> = 10 <sup>-10</sup> <u>m</u>                               |
| <u>Pressão</u>     | <u>bar</u>                      | <u>bar</u> | 1 <u>bar</u> = 100 000 <u>Pa</u>                                      |

### Prefixos oficiais do SI

Os **prefixos do SI** permitem escrever quantidades sem o uso da notação científica, de maneira mais clara para quem trabalha em uma determinada faixa de valores. Os prefixos oficiais são:

| <u>Prefixos do SI</u> |           |                 |                     |                     |  |                                      |
|-----------------------|-----------|-----------------|---------------------|---------------------|--|--------------------------------------|
| <u>v</u>              |           |                 |                     |                     |  |                                      |
| <u>d</u>              |           |                 |                     |                     |  |                                      |
| <u>e</u>              |           |                 |                     |                     |  |                                      |
| Prefixo               | 1000<br>m | 10 <sup>n</sup> | <u>Escala curta</u> | <u>Escala longa</u> | Equivalente <u>numér</u><br><u>ico</u> | Desde <sup>[n</sup><br><u>ota 1]</u> |
| Nom                   | Símbol    |                 |                     |                     |  |                                      |
|                       |           |                 |                     |                     |  |                                      |

| e             | o  |               |           |                   |                   |                                      |      |
|---------------|----|---------------|-----------|-------------------|-------------------|--------------------------------------|------|
| <u>iota</u>   | Y  | $1000^8$      | $10^{24}$ | <u>Septilhão</u>  | <u>Quadrilhão</u> | 1 000 000 000 000<br>000 000 000 000 | 1991 |
| <u>zeta</u>   | Z  | $1000^7$      | $10^{21}$ | <u>Sextilhão</u>  | Milhar<br>trilhão | de 1 000 000 000 000<br>000 000 000  | 1991 |
| <u>exa</u>    | E  | $1000^6$      | $10^{18}$ | <u>Quintilhão</u> | <u>Trilhão</u>    | 1 000 000 000 000<br>000 000         | 1975 |
| <u>peta</u>   | P  | $1000^5$      | $10^{15}$ | <u>Quadrilhão</u> | Milhar<br>bilião  | de 1 000 000 000 000<br>000          | 1975 |
| <u>tera</u>   | T  | $1000^4$      | $10^{12}$ | <u>Trilhão</u>    | <u>Bilião</u>     | 1 000 000 000 000                    | 1960 |
| <u>giga</u>   | G  | $1000^3$      | $10^9$    | <u>Bilhão</u>     | Milhar<br>milhão  | de 1 000 000 000                     | 1960 |
| <u>mega</u>   | M  | $1000^2$      | $10^6$    | <u>Milhão</u>     | <u>Milhão</u>     | 1 000 000                            | 1960 |
| <u>quilo</u>  | k  | $1000^1$      | $10^3$    | <u>Mil</u>        | <u>Milhar</u>     | 1 000                                | 1795 |
| <u>hecto</u>  | h  | $1000^{2/3}$  | $10^2$    | <u>Cem</u>        | <u>Centena</u>    | 100                                  | 1795 |
| <u>deca</u>   | da | $1000^{1/3}$  | $10^1$    | <u>Dez</u>        | <u>Dezena</u>     | 10                                   | 1795 |
| <i>nenhum</i> |    | $1000^0$      | $10^0$    | <u>Unidade</u>    | <u>Unidade</u>    | 1                                    |      |
| <u>deci</u>   | d  | $1000^{-1/3}$ | $10^{-1}$ | <u>Décimo</u>     | <u>Décimo</u>     | 0,1                                  | 1795 |
| <u>centi</u>  | c  | $1000^{-2/3}$ | $10^{-2}$ | <u>Centésimo</u>  | <u>Centésimo</u>  | 0,01                                 | 1795 |

| 2/3                 |   |                    |                   |                               |                               |                                   |      |
|---------------------|---|--------------------|-------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|------|
| <b><u>mili</u></b>  | m | 1000 <sup>-1</sup> | 10 <sup>-3</sup>  | <b><u>Milésimo</u></b>        | <b><u>Milésimo</u></b>        | 0,001                             | 1795 |
| <b><u>micro</u></b> | μ | 1000 <sup>-2</sup> | 10 <sup>-6</sup>  | <b><u>Milionésimo</u></b>     | <b><u>Milionésimo</u></b>     | 0,000 001                         | 1960 |
| <b><u>nano</u></b>  | n | 1000 <sup>-3</sup> | 10 <sup>-9</sup>  | <b><u>Bilionésimo</u></b>     | Milésimo de milionésimo       | 0,000 000 001                     | 1960 |
| <b><u>pico</u></b>  | p | 1000 <sup>-4</sup> | 10 <sup>-12</sup> | <b><u>Trilionésimo</u></b>    | <b><u>Bilionésimo</u></b>     | 0,000 000 000 001                 | 1960 |
| <b><u>femto</u></b> | f | 1000 <sup>-5</sup> | 10 <sup>-15</sup> | <b><u>Quadrilionésimo</u></b> | Milésimo de bilionésimo       | 0,000 000 000 000 001             | 1964 |
| <b><u>atto</u></b>  | a | 1000 <sup>-6</sup> | 10 <sup>-18</sup> | <b><u>Quintilionésimo</u></b> | <b><u>Trilionésimo</u></b>    | 0,000 000 000 000 000 001         | 1964 |
| <b><u>zepto</u></b> | z | 1000 <sup>-7</sup> | 10 <sup>-21</sup> | <b><u>Sextilionésimo</u></b>  | Milésimo de trilionésimo      | 0,000 000 000 000 000 000 001     | 1991 |
| <b><u>yocto</u></b> | y | 1000 <sup>-8</sup> | 10 <sup>-24</sup> | <b><u>Septilionésimo</u></b>  | <b><u>Quadrilionésimo</u></b> | 0,000 000 000 000 000 000 000 001 | 1991 |

1. ↑ O [sistema métrico](#) foi introduzido em 1795 com seis prefixos. As outras datas estão relacionadas ao reconhecimento pela resolução da [Conferência Geral de Pesos e Medidas](#) (CGPM).

Para utilizá-los, basta juntar o prefixo aportuguesado e o nome da unidade, sem mudar a acentuação, como em nanossegundo, microssegundo, miliampere e deciwatt. Para formar o símbolo, basta juntar os símbolos básicos: nm, μm, mA e dW.

### Exceções

- Unidades **segundo** e **radiano**: é necessário dobrar o r e o s. Exemplos: **milissegundo**, **deciradiano**, etc.
- Especiais: múltiplos e submúltiplos do metro: quilômetro (quilómetro), hectômetro (hectómetro), decâmetro, decímetro, centímetro e milímetro; também nanômetro (nanómetro), picômetro (picómetro) etc..

### Observações

- O k usado em "quilo", em unidades como quilômetro (km) e quilograma (kg), deve ser grafado em letra minúscula. É errado escrevê-lo em maiúscula.
- Em [informática](#), os símbolos "K", "M", "G" que podem preceder as unidades [bits](#) e [bytes](#), provavelmente não se referem ao fator multiplicativo 1000, mas sim a 1024 unidades da grandeza citada (para correção a [IEC](#) definiu o chamado [prefixo binário](#) onde 1:1024 e o uso dos prefixos da SI passaram a valer 1:1000). O uso desses prefixos se trata na verdade de uma incorreção, já que os prefixos corretos seriam "Ki", "Mi", "Gi" (kibibyte, mebibyte, gibibyte, etc.), conforme a [tabela oficial](#).
- Em unidades como  $\text{km}^2$  e  $\text{km}^3$  é comum ocorrerem erros de conversão.  $1 \text{ km}^2 = 1\,000\,000 \text{ m}^2$ , porque  $1 \text{ km} \times 1 \text{ km} = 1 \text{ km}^2$ ,  $1 \text{ km} = 1000 \text{ m}$ ,  $1000 \text{ m} \times 1000 \text{ m} = 1\,000\,000 \text{ m}^2$ . Para fazer conversões nesses casos, devem-se colocar mais dígitos por casa numérica: em metros, cada casa tem um dígito (exemplo: 1 0 0 0 m = 1 km); em metros quadrados (2), cada casa numérica tem dois dígitos (exemplo: 1000 m  $\times$  1000 m = 01 00 00 00  $\text{m}^2$  = 1  $\text{km}^2$ ); em metros cúbicos (3), cada casa numérica tem três dígitos (exemplo: 1000 m  $\times$  1000 m  $\times$  1000 m = 001 000 000 000  $\text{m}^3$  = 1  $\text{km}^3$ ).

### Escrita correta de unidades SI

---

#### Nome de unidade

O nome das unidades deve ser sempre escrito em letra minúscula.

Exemplos:

- Correto: quilograma, newton, metro cúbico.
- Exceção: quando o nome estiver no início da frase e em "grau Celsius".

#### Somente o nome da unidade aceita o plural

É importante saber que somente o nome da unidade de medida aceita o plural. As regras para a formação do plural (no Brasil) para o nome das unidades de medida seguem a Resolução Conmetro 12/88,<sup>[14]</sup> conforme ilustrado abaixo:

Para a pronúncia correta do nome das unidades, deve-se utilizar o acento tônico sobre a **unidade** e não sobre o **prefixo**.

- Exemplos: microm**etro**, hectol**itro**, milis**segundo**, centig**rama**, nanom**etro**.
- Exceções: quilô**metro**, hectô**metro**, decâ**metro**, decí**metro**, centí**metro** e milí**metro**

Ao escrever uma unidade composta, não se deve misturar o nome com o símbolo da unidade.

|                     | <b>Certo</b> | <b>Errado</b>         |
|---------------------|--------------|-----------------------|
| quilômetro por hora | km/h         | quilômetro/h; km/hora |
| metro por segundo   | m/s          | metro/s; m/segundo    |

### **Símbolo de unidade**

As unidades do SI podem ser escritas por seus nomes ou representadas por meio de símbolos.

### **Símbolo não é abreviatura**

Símbolo não é abreviatura. É um sinal convencional e invariável utilizado para facilitar e universalizar a escrita e a leitura de significados — no caso, as unidades SI; logo, jamais deverá ser seguido de "ponto".

|                   | <b>Certo</b> | <b>Errado</b>    |
|-------------------|--------------|------------------|
| <u>segundo</u>    | <u>s</u>     | s. ; seg.        |
| <u>metro</u>      | <u>m</u>     | m. ; mtr. ; mts. |
| <u>quilograma</u> | <u>kg</u>    | kg.; kgr.        |
| <u>litro</u>      | <u>L</u>     | l.;lts.          |
| <u>hora</u>       | <u>h</u>     | h. ; hr.         |

### **Símbolo não admite plural**

Símbolo não admite plural. Como sinal convencional e invariável que é, utilizado para facilitar e universalizar a escrita e a leitura de significados, nunca será seguido de "s".

|                  | <b>Certo</b> | <b>Errado</b> |
|------------------|--------------|---------------|
| cinco metros     | 5 m          | 5 ms ou mts   |
| dois quilogramas | 2 kg         | 2 kgs         |
| oito horas       | 8 h          | 8 hs          |

### **Representação**

O resultado de uma medição deve ser representado com o valor numérico da medida, seguido de um espaço de até um caractere e, em seguida, o símbolo da unidade em questão.

Exemplo:

Valor numérico    prefixo da unidade  
 |                            |  
**240,2 cm**  
 |                            |  
 espaço de até um caractere    símbolo da unidade

Para a unidade de temperatura grau Celsius, haverá um espaço de até um caractere entre o valor e a unidade, porém não se porá espaço entre o símbolo do grau e a letra C para formar a unidade "grau Celsius".

Exemplo:

Valor numérico    símbolo da unidade grau Celsius  
 |                            |  
**25 °C**  
 |  
 espaço de até um caractere

Os símbolos das unidades de tempo hora (h), minuto (min) e segundo (s) são escritas com um espaço entre o valor medido e o símbolo. Também há um espaço entre o símbolo da unidade de tempo e o valor numérico seguinte. [\[15\]](#)

Exemplo:

**8 h 35 min 20 s**  
 espaços de até um caracter

### Exceções

- Para os símbolo da unidade de ângulo plano grau (°), minuto (') e segundo ("), não deve haver espaço entre o valor medido e as unidades, porém, deve haver um espaço entre o símbolo da unidade e o próximo valor numérico.

**109° 28' 1"**  
 espaços de até um caracter

### Comércio internacional

Um dos objetivos da União Europeia (UE) é a criação de um mercado único para o comércio. Para atingir este objetivo, a UE estabeleceu como padrão o uso do SI como unidades legais de medida. A partir de 2009, foram emitidas duas [diretivas](#) de [unidades de medida](#) que catalogaram as unidades de medida que podem ser usadas para, dentre outras coisas, o comércio: a primeira foi a Diretiva 71/354/CEE<sup>[16]</sup> publicada em 1971, que exigia dos estados-membros que padronizassem no SI, em vez de utilizar a variações dos sistemas [CGS](#) e [MKS](#) então em uso. A segunda foi a Diretiva 80/181/CEE<sup>[17][18][19][20][21]</sup> publicada em 1979, que substituiu a primeira e deu ao Reino Unido e à República da Irlanda um número de derrogações à diretiva original.

#### 4- INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO

Um **polígrafo**, ou **instrumento de medida**, é um tipo de instrumento que efetua a medida simultânea de vários valores físicos, e que registra em papel, ou através meios eletrônicos, a evolução dos mesmos. Dependendo do tamanho do objeto a ser medido, são necessários aparelhos ou métodos diferentes. É possível medir com precisão adequada desde insetos pequenos até o diâmetro da Lua e dos planetas ou, então, distâncias entre dois sulcos de um disco a laser até a distância entre a Terra e a Lua.

As réguas, fitas métricas, trenas, são instrumentos adequados para medir a largura e o comprimento de uma folha de papel, o comprimento de uma sala e o tamanho de uma sala, assim como a sua orientação magnética. A menor unidade de medição de uma fita métrica comum é de um milímetro.

##### **Instrumentos delicados e precisos**

Existem instrumentos delicados e precisos, apropriados para se medir dimensões bem pequenas. Por exemplo, o paquímetro e o micrômetro. O paquímetro é adequado para se medir o diâmetro de uma agulha fina, o diâmetro de esferas de rolamento, profundidade de sulcos em peças de aparelhos que requerem alta precisão. O micrômetro é utilizado para medir espessuras de folhas, fios e diâmetros de tubos com a mais alta precisão.

##### **Distâncias**

Para distâncias e objetos de dimensões ainda menores são necessários métodos indiretos de medida, como através de difração da luz, ou então microscópios especiais, devidamente calibrados. Já para distâncias muito grandes como, por exemplo, diâmetro da Lua, altura de uma montanha são utilizados métodos que usam relações simples de trigonometria ou então de triângulos semelhantes. Esse método é conhecido como triangulação.

##### **Áreas**

Para a medição de áreas foi importante a evolução do teodolito.

### Precisão necessária

Dependendo da precisão necessária a uma determinada medida é que escolhemos o aparelho mais adequado para efetuá-la. Tem que ser usado o conhecimento e o bom senso. Não tem sentido usar um aparelho de alta precisão para medir objetos nitidamente não-uniformes. Se o objeto a ser medido é muito menor que a menor divisão do instrumento usado, obviamente não se pode obter precisão alguma na medida.

### Exemplos de instrumentos de medida

---

- Altímetro
- Ampulheta
- Anemógrafo
- Anemómetro
- Astrolábio
- Balança
- Balão volumétrico
- Barômetro
- Contador Geiger
- Ecobatímetro
- Esfigmomanômetro
- Frequencímetro
- Galvanômetro
- Kamal
- Manômetro
- Multimedidor
- Multímetro
- Nocturlábio
- Ohmímetro
- Osciloscópio
- Pluviômetro
- Pirômetro

- Réqua
- Sextante
- Taqueômetro
- Goniômetro
- Taxímetro
- Teodolito
- Termopar
- Termorresistência
- Termistor
- Termômetro
- Transferidor
- Velocímetro
- Voltímetro
- Detector de metais
- Relógio comparador
- Trena
- Escalímetro
- Tacômetro

## 5- GRANDEZAS E UNIDADES ELÉTRICAS

### **Conceitos Básicos de Elétrica – as grandezas elétricas básicas**

As grandezas fundamentais em eletricidade são a **tensão elétrica**, a **corrente elétrica**, a **resistência elétrica** e a **potência elétrica**. Essas grandezas sempre estão presentes em qualquer circuito elétrico e não podem ser dissociadas.

Veja também os conceitos luminotécnicos básicos.

### **Potência Elétrica – Watt/Watts – W**

Você já deve ter ouvido muitas propagandas sobre produtos eletrônicos nas quais é destacada a potência desses equipamentos. Bons exemplos são os aparelhos de som, os chuveiros e lavadoras que sempre apresentam em destaque sua potência de trabalho.

Esses aparelhos necessitam de energia elétrica para funcionar e, ao receberem essa energia elétrica, transformam-na em outra forma de energia. No caso do chuveiro, por exemplo, a energia elétrica é transformada em energia térmica, nas lâmpadas a energia é transformada em luz, e assim por diante.

Quanto mais energia for transformada em um menor intervalo de tempo, maior será a potência do aparelho. Dessa forma temos que a potência elétrica é a razão entre a energia elétrica transformada e o intervalo de tempo dessa transformação.

Na utilização de uma lâmpada você pode observar que ele esquenta durante seu funcionamento. Esse aquecimento é chamado de efeito Joule e ocorre por causa das colisões entre os elétrons. A energia que é drenada nesse aquecimento é chamada de energia dissipada.

Tire todas as suas dúvidas sobre lâmpadas:

### **Potência ativa e potência reativa**

A potência é o produto da tensão pela corrente. Sua unidade de medida é o volt-ampère (VA) e a grandeza é representada pela letra P. Essa potência é também chamada de potência aparente.

A potência aparente é composta por duas parcelas: a potência ativa e a potência reativa. Pode-se fazer uma analogia das potências com um copo de cerveja onde a parte líquida representa a potência ativa, ou seja, é aquela efetivamente consumida, e a espuma representa a potência reativa, parte necessária para manter a temperatura da parte líquida.



### *grandezas elétricas básicas: potência ativa e reativa*

A potência ativa é aquela efetivamente transformada em potência mecânica, potência térmica e potência luminosa. Sua unidade de medida é o watt (W).

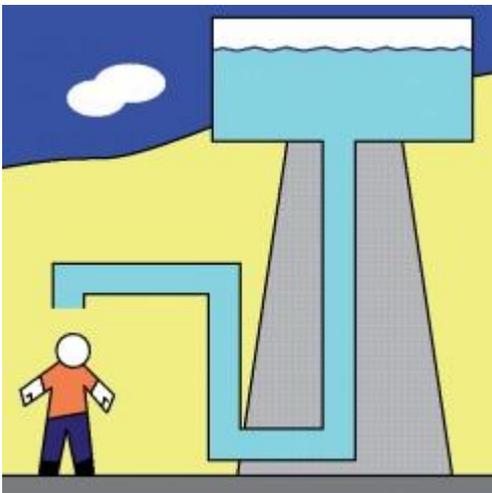
A soma entre potência ativa e reativa gera a potência aparente, medida em kilovolt amperes (VA), também chamada fator de potência ou energia total. É esta medida que pode indicar se a energia consumida é o suficiente para um ou outro abastecimento elétrico, assim como apontar onde há a necessidade de melhoria no fornecimento.

**Veja também:** Como fazer instalação elétrica? Confira o passo a passo completo!

### **Tensão Elétrica – Volt/Volts – V**

A tensão elétrica é a diferença do potencial elétrico gerada entre dois pontos quaisquer. Essa diferença é responsável por colocar em movimento ordenado as cargas elétricas livres do meio condutor.

O conceito de tensão elétrica pode ser exemplificado fazendo analogia com um reservatório de água. O reservatório de água encontra-se em um ponto muito mais alto do que o ponto onde está o homem. Quanto mais alto estiver o reservatório, maior será a força com a qual a água irá fluir em direção ao homem.



O potencial elétrico funciona do mesmo modo. O reservatório seria o ponto onde haveria a maior concentração de elétrons, e o ponto onde o homem está seria onde há menor concentração de elétrons. Quanto maior for essa diferença de elétrons entre os dois pontos, maior será a diferença da potência.

A tensão equivale à espessura do cano ou corrente. Ao aumentar a tensão (ou seja, alargar o cano) você pode fazer com que mais energia flua mantendo a mesma corrente e vice-versa. A tensão e a corrente podem ser usadas para calcular o consumo máximo de diferentes dispositivos quando ele não for informado.

Por exemplo, usar a tensão nominal 220V permite que os fios que vão transportar a energia pela residência sejam de calibre menor, isto é, mais finos do que os usados para 127V, 110V e 12V.

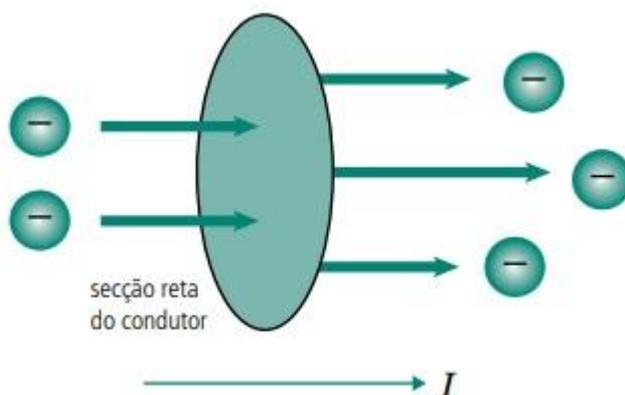
A unidade de tensão elétrica é o volt (V) e a grandeza é representada pela letra V, em maiúsculo, para sinais contínuos e v, em minúsculo, para sinais alternados.

**Veja também:** Entenda o que é Diagrama Unifilar e por que ele é essencial na instalação elétrica

### **Corrente Elétrica – Ampere/Amperes – A**

Continuando com a analogia do reservatório de água, podemos comparar a corrente elétrica com o fluxo de água que flui de um ponto ao outro. A corrente elétrica é o fluxo ordenado de elétrons em um meio que surge a partir de uma diferença de potencial elétrico.

A intensidade da corrente elétrica depende diretamente do número de elétrons que passam por uma unidade de tempo através de uma região do condutor.



### *grandezas elétricas básicas: corrente elétrica*

Nos metais existe grande quantidade de elétrons livres em movimento desordenado. Quando se cria no interior de um movimento no corpo metálico, esses movimentos passam a ser ordenados no sentido oposto ao do campo elétrico, constituindo a Corrente Elétrica.

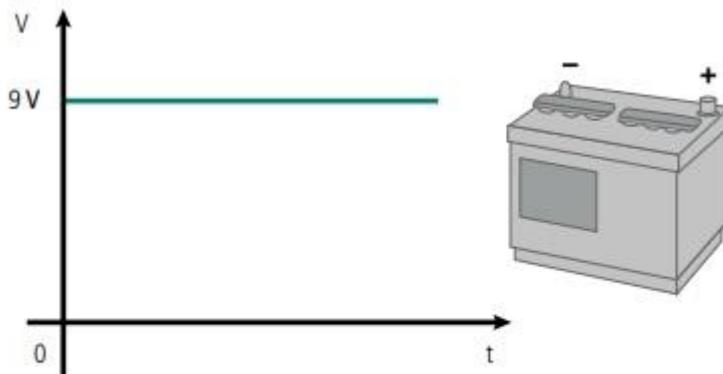
A unidade de corrente elétrica é o ampère (A) e a grandeza é representada pela letra I, em maiúsculo, para sinais contínuos e i, em minúsculo, para sinais alternados.

**Veja também:** Saiba tudo sobre a [NBR 5410](#) e evite acidentes elétricos

### **Corrente Contínua e Alternada**

O conceito de sinal envolve a observação e a medida de um fenômeno físico com o passar do tempo. Qualquer registro que se utilize de números pode facilmente se tornar um sinal, como exemplo o desempenho de uma máquina, a gravação de um som, a captura de uma imagem, entre outros.

Um sinal é contínuo se seu valor e polaridade (positiva ou negativa) não variam no tempo, ou seja, em qualquer momento em que você observar esse sinal, ele apresentará o mesmo valor e polaridade. Exemplo: a tensão de uma bateria.



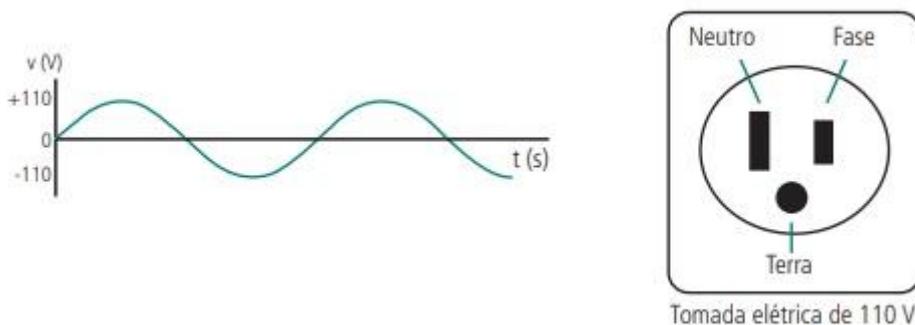
*grandezas elétricas básicas – corrente contínua e alternada: a bateria tem sinal contínuo*

Muitos equipamentos elétricos funcionam a partir de sinais contínuos, porém o sinal das tomadas residenciais é alternado. Para garantir seu funcionamento, os circuitos desses equipamentos utilizam componentes elétricos que convertem o sinal alternado em contínuo.

Quando a fonte de tensão que alimenta o circuito elétrico é contínua, dizemos que o circuito opera em corrente contínua (CC).

A principal desvantagem do sinal contínuo é que ele não pode ter seu nível elevado ou reduzido. Na transmissão de um sinal contínuo a longa distância, grande parte do sinal se perde durante o transporte (no condutor por efeito Joule) e não poderá ser recuperado.

Já um sinal alternado é aquele muda de polaridade periodicamente e varia sua intensidade no tempo. Exemplo: o sinal alternado da tomada residencial de 110 V.



*grandezas elétricas básicas – corrente contínua e alternada: tomada residencial tem sinal alternado*

A forma de onda alternada mais importante é a senoidal porque as concessionárias de energia utilizam essa forma para transmitir a energia gerada para os consumidores. Outros exemplos de forma de sinal alternado são: quadrada, triangular e dente de serra.

A forma de onda senoidal é utilizada tanto para a geração quanto para a distribuição de energia elétrica porque permite que ela seja elevada ou reduzida por meio de transformador.

Quando o circuito é alimentado por uma fonte de sinal alternado, diz-se que ele está em corrente alternada (CA).

Os geradores de corrente alternada são construtivamente menos complexos que os geradores de corrente contínua. Isto é uma grande vantagem, pois reduz custos e cuidados com a manutenção.

Já fitas e luminárias de led utilizam corrente contínua DC, por isso são equipamentos que necessitam do uso de equipamentos periféricos para fazer a conversão da tensão de rede 127V ou 220V em 12V e alterar de corrente alternada (Ac) para corrente contínua (DC).

Corrente alternada e corrente contínua no Brasil: o que é melhor, 127V ou 220V?

O Brasil é um país com dimensões continentais, e durante seu processo histórico foram implantadas diversas usinas de energia. Quando era utilizado geradores americanos da GE o sistema era feito em 110V tensão utilizada nos EUA.

Já em regiões que eram usados geradores europeus foi estabelecida uma rede 220V. Somos o único país do mundo que utiliza dois tipos de corrente. Isso gera um problema enorme para indústria fazer uma padronização de equipamentos e para os brasileiros que provavelmente em algum momento da vida já queimou um equipamento 127V que por engano foi ligado em uma rede 220V.

De maneira bem simplista, podemos dizer que um cabo de 1mm pode conduzir 1.000W em 220V por até 50 metros. E o mesmo cabo de 1mm pode conduzir apenas 500W em 127V por até 50 metros. Até aí a rede 220V se mostra mais eficiente e econômica pois reduz material.

Contudo um sistema 220V necessita do dobro de isolamento, mas todo material elétrico comercializado no Brasil o Inmetro já padroniza para que possa atender a tensão 220V. Logo o sistema 220V é superior ao 110V, e por isso é utilizado em instalações comerciais mesmo em locais onde o padrão é 127V e em equipamentos de alta potência.

Outro mito é que o choque em 220V é mais forte que em 127V. Isso é MITO, o que define a intensidade de um choque é a corrente o que significa ampères não volts. Logo um choque em 12V pode ser letal!

### ***A especificação na planta***

Agora que estão todos os conceitos ilustrados, recomendamos especificar na legenda a potência em watts e a tensão em volts. Mesmo equipamentos que são bivolt indique que é bivolt na legenda para não gerar dúvidas. A corrente não é necessária ser indicada, isso é calculado por circuito no projeto elétrico que deve ser feito posterior e ter como base um projeto de iluminação bem detalhado.

## 6- CIRCUITOS ELÉTRICOS

Um **circuito elétrico** é a ligação de elementos elétricos,<sup>[1]</sup> tais como resistores, indutores, capacitores, diodos, linhas de transmissão, fontes de tensão, fontes de corrente e interruptores, de modo que formem pelo menos um caminho fechado para a corrente elétrica.<sup>[2]</sup> Um circuito elétrico simples, alimentado por pilhas, baterias ou tomadas, sempre apresenta uma fonte de energia elétrica, um aparelho elétrico, fios ou placas de ligação e um interruptor para ligar e desligar o aparelho. Estando ligado, o circuito elétrico está fechado e uma corrente elétrica passa por ele. Esta corrente pode produzir vários efeitos: óticos, cinéticos, térmicos, acústicos, mecânicos, etc. Circuitos elétricos são conjuntos formados por um gerador elétrico, um condutor em circuito fechado e um elemento capaz de utilizar a energia produzida pelo gerador.

### Definições

---

- **Nó** - Ponto do circuito ao qual estão ligados dois ou mais elementos.
- **Nó essencial** - Ponto do circuito ao qual estão ligados três ou mais elementos.
- **Caminho** - Sequência de elementos ligados entre si na qual nenhum elemento é incluído mais de uma vez.
- **Ramo** - Caminho que liga dois nós.
- **Ramo essencial** - Caminho que liga dois nós essenciais, sem passar por outro nó essencial.<sup>[3]</sup>
- **Malha** - Caminho cujo último nó coincide com o primeiro.
- **Malha essencial** - Malha que não inclui nenhuma outra malha.
- **Circuito planar** - Circuito que pode ser desenhado em um plano sem que os ramos se cruzem.

### Circuitos Elétricos em Série e Paralelo

---

- **Circuito em Série:** É o circuito onde todos os elementos se encontram interligados em série com a fonte de energia. No circuito em série a corrente

elétrica é a mesma em todos os pontos do circuito e a tensão é dividida proporcionalmente.

- **Circuitos em Paralelo:** No circuito elétrico paralelo todos os elementos se encontram em paralelo com a fonte de energia. O circuito paralelo apresenta vários caminhos para a corrente, em um circuito em paralelo a tensão é a mesma em todos os pontos do circuito, porém a corrente varia de acordo com a resistência.<sup>[4]</sup>

Expressões para diferença de potencial em elementos de circuito



- **Resistores:** Para resistores  $e$ , usando a convenção usual de corrente de portadores positivos (corrente convencional).
- Fontes de força eletromotriz (FEM): As fontes de força eletromotriz são dispositivos capazes de trocar energia com os portadores de cargas que as atravessam. Uma fonte de FEM pode fornecer energia aos portadores e aí a chamamos **gerador** ou receber energia dos portadores, caso em que as chamamos **receptor**.
- **Capacitores:** Nos capacitores a ddp aparece por causa da carga elétrica armazenada no elemento.
- **Indutores:** Indutores são elementos complexos de circuito. Eles podem ser classificados em:
  - **Auto-Indutores-** Quando apenas o fluxo magnético produzido pelo próprio indutor o atravessa.
  - **Transformador ou Indutor Mútuo-** Quando o fluxo magnético gerado em outros indutores também influencia o indutor em questão.

Leis elétricas

Uma série de leis se aplicam aos circuitos elétricos. Entre elas:

- **Leis de Kirchhoff:**

**Lei das Correntes ou Lei dos Nós:** A soma de todas as correntes que entram num nó é igual à soma de todas as correntes que saem do nó.

**Lei das Tensões ou Lei das Malhas:** A soma de todas as tensões geradas menos a soma de todas as tensões consumidas numa malha é igual a zero.<sup>[5]</sup>

- **Lei de Ohm:** A tensão entre as duas pontas de um resistor é igual ao produto da resistência e a corrente que flui através do mesmo.<sup>[3]</sup>
- **Teorema de Thévenin:** Qualquer circuito elétrico formado por fontes de tensão, fontes de correntes e resistores com dois terminais possui um circuito equivalente formado por uma fonte de tensão em série com um resistor.
- **Teorema de Norton:** Qualquer circuito elétrico formado por fontes de tensão, fontes de correntes e resistores com dois terminais possui um circuito equivalente formado por uma fonte de corrente em paralelo com um resistor.

Existe também um circuito simples, é composto de três elementos, um condutor ou rota (fio elétrico), uma fonte de energia (bateria), e um resistor elétrico (lâmpada), que é qualquer objeto que precise de eletricidade para funcionar.

Circuitos de corrente contínua



Circuitos Eletrônicos sobre a Protoboard.

Os elementos de circuitos são produzidos com um tamanho padrão para facilitar sua montagem. Uma forma rápida de montar circuitos é usar uma placa de teste. Para construir circuitos mais duradouros, pode-se usar uma placa de circuito (Protoboard), que é constituída de um material isolador com furos e com pistas paralelas de cobre em um dos lados; o contato entre diferentes componentes é feito inserindo os terminais em furos que estejam na mesma pista, tal como na placa de teste, mas é preciso soldar os terminais sobre o cobre. Outro método que permite construir circuitos mais compactos, são as placas de circuito impresso (PCB). Um PCB é

semelhante a uma placa de circuito, mas as pistas de cobre e os furos são desenhados sob medida para cada circuito específico.

Um circuito de corrente contínua, ou circuito c.c. (em inglês, *Direct Current*, d.c.), é um circuito em que todas as fontes de tensão têm força eletromotriz constante e todas as resistências são constantes. Caso se ligue condensadores no circuito, a corrente mudará em função do tempo (resposta transitória do circuito), mas passado algum tempo a carga e tensão nos condensadores atingirão os seus valores finais.

### Fontes de tensão

As fontes de tensão CC são divididas em três categorias: baterias; geradores; e fontes de alimentação.



Pilhas Alcalinas (Baterias de células primárias alcalinas).

### Baterias

A bateria (usa reações químicas) é considerada por muitos a fonte CC mais comum. A bateria é a combinação de duas ou mais células compatíveis; a célula é uma unidade que converte a energia química ou solar em energia elétrica. As células são classificadas como primárias ou secundárias. A célula primária não pode ser carregada, mas a secundária pode, pois as reações químicas que ocorrem no seu interior são reversíveis. Portanto é muito mais vantajoso usar a célula recarregável, que não necessita de substituições frequentes.<sup>[3]</sup>



Gerador de Corrente Contínua(O Dínamo é o tipo mais comum de gerador elétrico).

## Geradores

O gerador CC converte a energia mecânica em energia elétrica.<sup>[6]</sup> Sua construção e operação diferem muito da bateria, sua capacidade de potência e tensão também na maioria das vezes são maiores que a da bateria. A indução eletromagnética é a base do funcionamento dos geradores elétrico e cada gerador produz uma corrente alternada.<sup>[3]</sup>

### Fontes de alimentação

Uma fonte de tensão é constituída basicamente de quatro partes: o retificador, a parte transformadora, o regulador de tensão e o filtro capacitivo. As fontes mais usadas em laboratórios com o intuito de se obter uma tensão de corrente contínua estável são as que utilizam o processo de retificação e filtragem.

Mesmo que ocorra variação na tensão, uma fonte de corrente ideal fornece uma corrente fixa a qualquer sistema eletroeletrônico.<sup>[3]</sup>

### Diagramas de circuito

Para poder estudar um circuito mais facilmente, convém representá-lo por um diagrama de circuito. Por exemplo, a figura abaixo mostra o diagrama de circuito de um divisor de voltagem. Os pontos A, B e C são os 3 terminais de um potenciômetro (lado direito da figura), que é formado por um arco de círculo de um material condutor, entre os terminais nos dois extremos, A e C, e um contato móvel, ligado ao terminal central B, que pode ser deslocado sobre o arco condutor, rodando o eixo do potenciômetro. Assim, entre A e C temos uma resistência constante,  $R_p$ , e entre A e B temos uma resistência que pode ser modificada, entre 0 e  $R_p$ , rodando o eixo.<sup>[7]</sup>

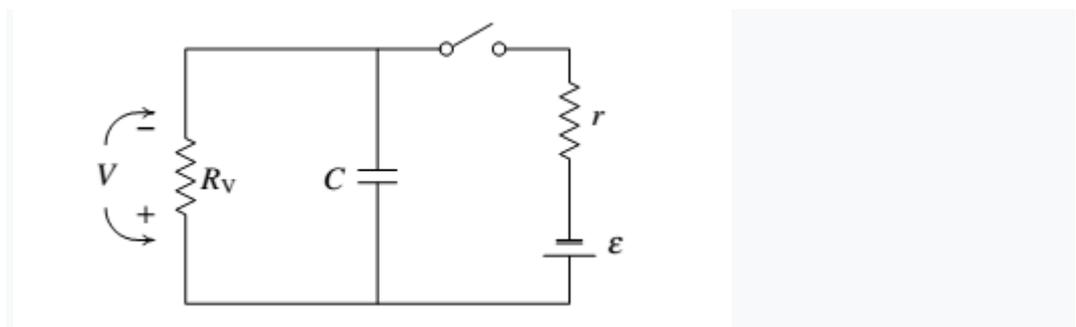


Diagrama de circuito de um divisor de voltagem e fotografia de um potenciômetro.

Entre os pontos A e C do potenciômetro foi ligada uma pilha com fem  $\epsilon$  e resistência interna  $r$ . As saídas do divisor de voltagem são os pontos **A** e **B** onde foi ligada uma resistência  $R$ . Quando o contato móvel, **B**, do potenciômetro é deslocado entre **A** e **C**, a diferença de potencial na resistência  $R$  será a mesma que nos pontos A e B, que é diretamente proporcional à resistência do potenciômetro entre A e B. Assim, consegue-se obter em  $R$  uma diferença de potencial que pode ser ajustada entre 0 e um valor máximo.

Outro exemplo de diagrama de circuito é a montagem usada para carregar um condensador e a seguir observar como diminui a diferença de potencial quando o condensador é descarregado através de um voltímetro. O diagrama do circuito é apresentado na figura abaixo.<sup>[7]</sup>

Como a pilha é ligada por alguns instantes, para carregar o condensador, e é logo desligada, foi desenhado um interruptor que no estado fechado corresponde ao caso em que a pilha está ligada, e no estado aberto representa o caso em que a pilha está desligada.



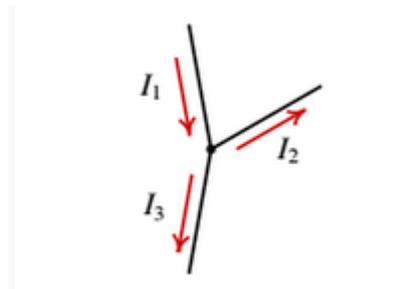
Carga e descarga de um condensador.

O voltímetro foi representado no diagrama por meio da sua resistência interna. Geralmente, admite-se que o voltímetro não interfere com o circuito, sendo representado apenas pelas setas com sinais positivo e negativo, que indicam os pontos onde foram ligados os terminais positivo e negativo do voltímetro. Neste caso a resistência do voltímetro sim é

importante e, por isso, foi desenhada. Um voltímetro ideal teria uma resistência infinita, que não permitiria que o condensador descarregasse, permanecendo a sua diferença de potencial constante. Num voltímetro real, a carga no condensador produz uma corrente através do voltímetro, que faz com que a carga diminua e, conseqüentemente, a diferença de potencial decresça.

### Leis dos circuitos

A análise de um circuito consiste em calcular a corrente ou diferença de potencial em cada resistência e a carga ou diferença de potencial em cada condensador. Com essas grandezas podemos também determinar a potência que está a ser dissipada nas resistências e a energia armazenada nos condensadores. Para analisar os circuitos é conveniente usar duas regras gerais designadas de leis de Kirchhoff.<sup>[8]</sup>



Lei das correntes.

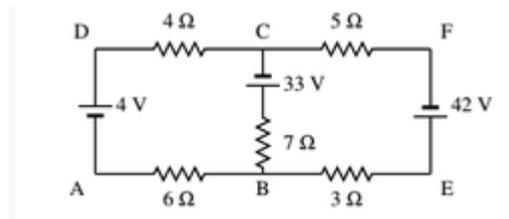
A primeira lei, a *lei dos nós*, ou *lei das correntes*, consiste em que em qualquer ponto de um circuito onde exista separação da corrente (nó), a diferença entre a soma das correntes que entram no ponto e a soma das correntes que saem é igual a zero. Por exemplo, no nó representado na

figura ao lado, há uma corrente  $I_1$  a entrar no nó, e duas correntes

$I_2$  e  $I_3$  a sair.

A lei das correntes implica:

Essa lei será válida sempre que as correntes sejam estacionárias; nomeadamente, quando a densidade da nuvem de cargas de condução permaneça constante dentro do condutor, sem existir acumulação de cargas em nenhum ponto; nesse caso, toda a carga que entra por um condutor, por unidade de tempo, deverá sair por outros condutores.<sup>[8]</sup>



Circuito com duas malhas

A segunda lei, designada de lei das malhas, ou lei das tensões, estabelece que a soma das diferenças de potencial, em qualquer caminho fechado (malha) num circuito, é sempre nula.

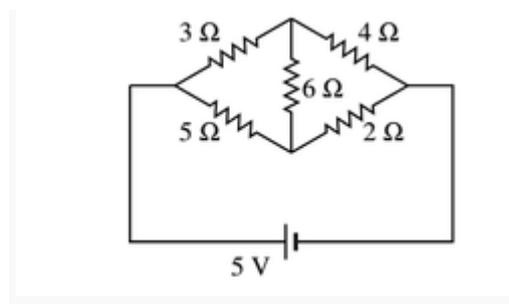
Por exemplo, no circuito da figura, podemos identificar 3 caminhos fechados (malhas): **ABCD**, **BEFC** e **ABEFCDA**.

Por cada uma dessas malhas existe uma equação associada, obtida pela lei das malhas, mas unicamente duas dessas equações serão independentes.<sup>[8]</sup>

No caso da malha **ABCD**, a lei das malhas é:

É fácil conferir que o resultado é nulo, tendo em conta que

**Método das malhas**



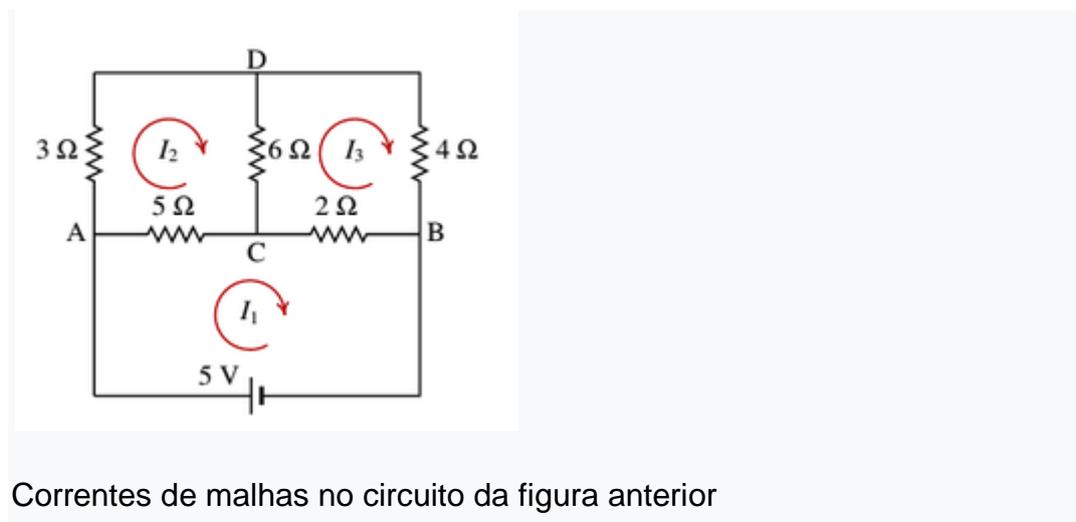
Circuito com cinco resistências em que nenhuma delas está em série ou em paralelo com outra.

Nos circuitos com várias resistências foi sempre possível substituir as resistências por uma única resistência equivalente, permitindo assim calcular a corrente fornecida pela fonte e todas as outras correntes nas resistências.

Nos casos em que existem várias fontes ou quando não é possível associar resistências, ou capacitores, em série e em paralelo até obter uma única resistência (ou capacitor) equivalente, será útil usar o método das malhas. Por exemplo, no circuito da figura ao lado nenhuma das resistências está nem em série nem em paralelo com nenhuma outra.

Conseqüentemente, não é possível associar as resistências até obter uma única resistência equivalente.

Usaremos esse circuito da figura à direita para mostrar o fundamento do **método das malhas**. Na resolução de problemas não será preciso realizar a mesma análise que vamos fazer a seguir, mas bastará com aplicar as regras enunciadas no fim da seção, para escrever a matriz do circuito.<sup>[7]</sup>



Começamos por identificar que existem 3 malhas no circuito e a cada malha atribuímos as **correntes de malha** e , como se mostra na figura ao lado.

Nessa figura, embora as malhas tenham sido desenhadas com forma retangular, continuam a ser equivalentes às malhas do circuito na figura acima.<sup>[7]</sup>

É conveniente escolher o mesmo sentido para todas as correntes de malha; no caso da figura abaixo, as três correntes foram definidas no sentido horário.

Nas resistências que se encontram entre duas malhas vizinhas, a corrente será a soma algébrica das correntes nas duas malhas.

Por exemplo, na figura ao lado a corrente que circula pela resistência de entre os pontos A e C, será , no sentido de A para C (ou no sentido oposto).<sup>[7]</sup>

Com este método a regra dos nós é garantida em cada nó e basta aplicar a regra das malhas a cada uma das três malhas para calcular as três correntes.

As diferenças de potencial nas várias partes do circuito da figura acima, em função das correntes de malha, são as seguintes (unidades SI):

[\[Expandir\]](#) **Demonstração**

substituindo esses valores, as três equações das malhas serão:

[\[Expandir\]](#) **Demonstração**

Agrupando os termos que dependem de cada uma das correntes, podemos escrever o sistema de forma matricial:

O sistema matricial acima foi obtido calculando primeiro as diferenças de potencial nas secções do circuito e aplicando a regra das malhas. No entanto, observe que é possível escrever o sistema matricial imediatamente olhando para o circuito (figura de correntes de malhas) e usando as seguintes regras:

- Cada linha da matriz do circuito corresponde a uma das malhas.
- Na linha  $i$  o número na coluna  $j$  será positivo e igual à soma de todas as resistências que houver na malha  $j$ .
- O número na linha  $i$  e coluna  $j$  (com  $i \neq j$ ) será negativo e com valor absoluto igual à soma de todas as resistências que existirem no segmento de circuito que demarca a fronteira entre as malhas  $i$  e  $j$ .
- Cada linha  $i$  na matriz com uma coluna no lado direito da equação acima é igual à soma algébrica de todas as  $V$  que houver na malha  $i$ . Essa soma algébrica, serão consideradas positivas todas as fontes em que o sentido arbitrado para a corrente passe do elétrodo negativo para o positivo (aumento de potencial) e negativas todas

as fontes em que o sentido arbitrado para a corrente passe do elétrodo positivo para o negativo (diminuição de potencial).<sup>[7]</sup>

Assim, a matriz do circuito será sempre simétrica, com os elementos na diagonal positivos e todos os restantes elementos negativos. As 3

correntes de malha são a solução do sistema, que pode ser obtida usando algum dos métodos para resolver sistemas lineares de equações, por exemplo, a regra de Cramer:

Neste caso, todas as correntes obtidas são positivas, o que indica que o sentido das correntes de malha coincide com os sentidos que arbitramos na figura **corrente das malhas**. Nos elementos do circuito que não estão entre duas malhas, a corrente real é igual à corrente da respectiva malha.<sup>[7]</sup>

Nomeadamente, a corrente que passa pela fonte é igual à corrente de malha  $i_1$  a corrente na resistência de  $R_1$  é igual a  $i_1$  e a corrente na resistência de  $R_2$  é igual a  $i_2$ .

Nos elementos que estão na fronteira entre duas malhas será preciso combinar as correntes dessas duas malhas para obter a corrente real.

Por exemplo, na resistência de  $R_3$  passa a corrente de malha  $i_1$  para a direita e a corrente  $i_2$  para a esquerda; portanto, a corrente nessa resistência será para a direita e com intensidade  $i_1 - i_2$ .

Circuitos de corrente e tensões alternadas senoidais[

---

A corrente alternada, ou CA (em inglês AC - alternating current) é uma corrente elétrica cuja magnitude e direção da corrente varia ciclicamente, ao contrário da corrente contínua cuja direção permanece constante e que possui pólos positivo e negativo definidos. A forma de

onda usual em um circuito de potência CA é senoidal por ser a forma de transmissão de energia mais eficiente. Entretanto, em certas aplicações, diferentes formas de ondas são utilizadas tais como triangular ou ondas quadradas.

Cada forma de onda é uma forma de onda alternada fornecida por geradores de sinais disponíveis comercialmente. O termo alternada indica apenas que o valor da tensão ou da corrente se alterna, ao longo do tempo o sinal mais importante é a forma de onda alternada senoidal, com esse tipo de sinal encontrado na grande maioria das aplicações, as frases abreviadas como tensão CA e corrente CA sempre se referem a esse tipo de forma de onda, outra razão para dar atenção à tensão alternada senoidal é que esse tipo de tensão é gerado nas usinas de energia elétrica em todo o mundo. Outras razões incluem seu uso em diversos sistemas elétricos, eletrônicos, de comunicação e industriais. Além disso, esta forma de onda tem diversas características que resultam em uma resposta exclusiva quando a aplicamos aos componentes elétricos básicos.

Os diversos teoremas e métodos introduzidos para circuitos de corrente contínua também serão aplicados a circuitos de corrente alternada senoidal. Embora a aplicação de sinais senoidais aumente o nível de complexidade matemática para sua descrição muitos dos conceitos sobre corrente contínua poderão ser aplicados a circuitos CA ser geradas. As tensões alternadas senoidais podem ser geradas por diversas fontes, a mais comum é aquela que obtemos nas tomadas residenciais, que fornecem tensão alternada cuja origem é uma usina geradora, essas usinas são em geral alimentadas por quedas de água, óleo, gás ou fissão nuclear, em cada caso de um gerador de corrente alternada (também denominado alternador) é o componente mais importante no processo de conversão de energia.

### **História**

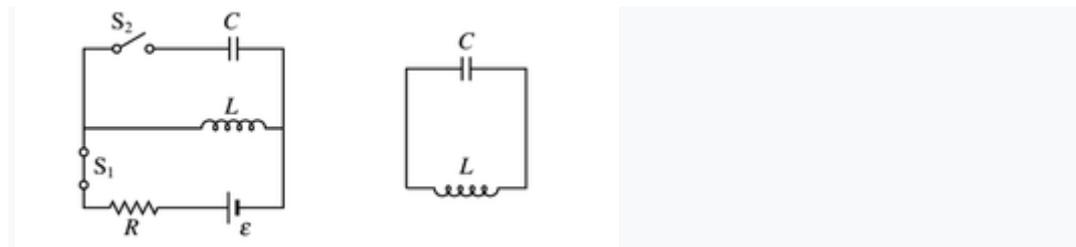


Gustav Kirchhoff.

Em 1845, quando ainda era um estudante, Gustav Kirchhoff contribuiu muito no campo dos circuitos elétricos, na espectroscopia, na emissão de radiação dos corpos negros e na teoria da elasticidade. É o autor de duas leis fundamentais da teoria clássica dos circuitos elétricos pois formulou as leis dos nós e das malhas Leis de Kirchhoff. Propôs a lei da emissão de radiação térmica em 1859, comprovando-a em 1861. Em 1854 transferiu-se para a Universidade de Heidelberg, onde colaborou em trabalhos sobre espectroscopia com Robert Bunsen, descobrindo juntamente com este os elementos césio e rubídio em 1861, estudando a composição química do Sol através do seu espectro.<sup>[9]</sup>

No fim da década de 1880 viveu-se nos Estados Unidos um período conhecido como a Guerra das Correntes. Nessa época já existia uma rede elétrica pública, usada principalmente para acender lâmpadas incandescentes e alimentar motores elétricos. A exploração dessa rede elétrica revertia grandes benefícios a Thomas A. Edison que tinha obtido várias patentes pela invenção da lâmpada e outros dispositivos para gerar corrente contínua. Outras pessoas tentaram entrar nesse novo negocio milionário com as suas inovações; George Westinghouse, quem já tinha tido sucesso comercializando as suas próprias patentes, contratou Nikola Tesla, um cientista brilhante, imigrante da Croácia. Tesla obteve uma patente pelo dispositivo na figura acima, para produzir e distribuir corrente alternada. A guerra das correntes acabaria por ser ganha pelo sistema de corrente alternada de Tesla e Westinghouse; uma das principais vantagens sobre o sistema de corrente contínua de Edison é a facilidade de poder aumentar ou diminuir a tensão por meio de transformadores.

**Circuito LC**



Circuito LC, em  $t < 0$  (lado esquerdo) e circuito equivalente para  $t > 0$  (lado direito) em que S1 está aberto e S2 fechado.

No circuito do lado esquerdo da figura abaixo, o interruptor  $S_1$  tem estado fechado durante muito tempo e o interruptor  $S_2$  aberto. Num instante  $t = 0$  que designamos abre-se o interruptor  $S_1$  e, simultaneamente, fecha-se o interruptor  $S_2$ . Assim, para  $t > 0$  o circuito equivalente é o que aparece no lado direito da figura. A impedância do condensador é  $Z_C = \frac{1}{j\omega C}$  e a do indutor é  $Z_L = j\omega L$ . A lei de Ohm generalizada,  $V = ZI$ , deixa de ser válida para o indutor, porque no instante  $t = 0$  a sua corrente não era nula.

Lembrando que a lei de Ohm foi obtida transformando a expressão para os indutores:

vemos que, para os indutores, a forma mais geral da **lei de Ohm** seria:

Com o condensador não há problema, porque neste caso admitimos que a sua carga inicial é nula, assim que a transformada da sua tensão é

Outra diferença com os circuitos estudados anteriormente é que, quando não há fontes, os condensadores e indutores deixam de ser elementos passivos que respondem às mudanças na fonte; neste caso em cada instante um dos elementos será passivo (perde energia) e o outro será ativo (absorve energia). Conseqüentemente, as tensões no condensador e o indutor serão iguais em valor absoluto, mas com sinais opostos e a equação do circuito será:

esta equação algébrica é a transformada da equação diferencial do circuito:

A equação diferencial mostrada acima é a equação de um oscilador harmónico simples.



Corrente e Carga no Circuito LC

A matriz jacobiana dessa equação linear tem valores próprios (...)

... imaginários e a solução da equação é:

em que  $\omega$  é a frequência angular do circuito :

A carga no condensador, em função do tempo, será:

Assim, a corrente e a carga oscilam com frequência , desfasadas de forma que quando uma delas for nula, a outra terá o seu valor absoluto máximo (figura ao lado).

A corrente é designada corrente alternada e a carga é uma carga alternada. Em geral, uma função alternada é qualquer função periódica com valor médio igual a zero. Estes 3 exemplos são um caso particular em que a forma da função é como na função seno ou cosseno.

### **Potência dissipada nos circuitos**

Em qualquer ponto num circuito de corrente alternada, a corrente é uma função sinusoidal. Em cada período de oscilação, a mudança de sinal da função sinusoidal indica que o sentido da corrente muda. O integral da função, em cada período é nulo. Isso quer dizer que a carga transferida é nula; durante metade do período há transporte de carga num sentido, mas no restante meio período a mesma carga é transportada no sentido inverso.<sup>[7]</sup>

Não existe transferência efetiva de carga nos circuitos de corrente alternada. As cargas de condução simplesmente oscilam à volta de uma posição de equilíbrio. Apesar de não existir transferência efetiva de cargas, existirá dissipação efetiva de energia, porque a oscilação das cargas está a ser contrariada pela resistência dos condutores e existe efeito Joule, independentemente do sentido da corrente.<sup>[7]</sup>

Em qualquer dispositivo passivo dentro de um circuito com uma fonte de tensão alternada, após uma possível resposta transitória inicial, a tensão e a corrente serão funções sinusoidais com a mesma frequência da fonte:<sup>[7]</sup>

A **potência instantânea** , é a potência no dispositivo em qualquer instante  $t$  :

Usando uma relação trigonométrica para o produto de dois cossenos e o facto de que (equação do circuito LC) , a expressão anterior é equivalente a:

Observe que o primeiro cosseno dentro dos parêntesis retos acima é uma função senoidal, mas o segundo cosseno não é função sinusoidal mas sim uma função constante. Consequentemente, o resultado de ter multiplicado duas funções sinusoidais não é outra função sinusoidal, mas uma função sinusoidal (com o dobro da frequência) deslocada no eixo das ordenadas.<sup>[7]</sup>

A potência instantânea na equação anterior poderá ser positiva e negativa em alguns intervalos e nula em alguns instantes. Como está entre o deslocamento estará entre 0 e 1. Se a reatância for nula (dispositivo resistivo), e, portanto, a potência instantânea será sempre positiva, indicando que o dispositivo está sempre a dissipar energia. Se a resistência for nula (dispositivo reativo), , e, portanto, os intervalos em que a potência instantânea é positiva (dissipação de energia) são do mesmo comprimento que os intervalos em que é negativa (fornecimento de energia) e a potência média será nula. No caso

geral, e os intervalos em que há dissipação de energia são mais compridos que os intervalos em que há fornecimento de energia.

O valor médio da potência, , calcula-se integrando a função usando uma relação trigonométrica para o produto de dois cossenos, durante um período e dividindo pelo período. O integral do primeiro termo, durante um período, é nulo, enquanto o valor médio do termo constante será igual a si próprio.

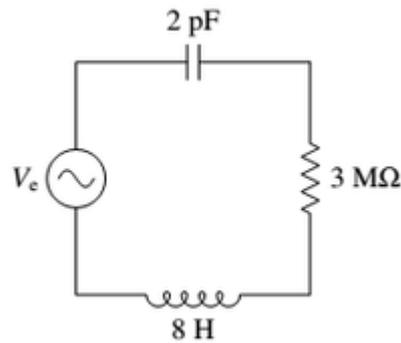
Conseqüentemente, a **potência média** é igual a:

e será sempre positiva ou nula, indicando que, em média o dispositivo passivo não pode fornecer energia. O termo que estará entre 0 e 1, designa-se de **fator de potência**.

É também habitual definir a **tensão eficaz** e a **corrente eficaz**:

Assim, a potência média também pode ser calculada com a expressão: . A tensão máxima de 325 V usada na União Europeia corresponde a uma tensão eficaz de 230 V. No continente americano usa-se tensão máxima de 170 V, a 60 Hz, que corresponde a uma tensão eficaz de 120 V.<sup>[7]</sup>

### **Ressonância**



A frequência de ressonância do circuito e a potência média máxima que pode fornecer uma fonte com tensão máxima .

A reatância equivalente num circuito varia com a frequência. Se o circuito inclui condensadores e indutores, a reatância será uma função da frequência. Quando a reatância for elevada, o módulo da impedância será elevado e o fator de potência baixo. Isso implica corrente máxima e potência média muito baixas. Nas frequências em que a reatância for menor, o módulo da impedância será menor e a potência dissipada maior. Em alguns casos (indutores em série com condensadores) poderá existir uma frequência intermédia, para a qual a reatância equivalente é nula. Nesse caso o módulo da impedância será mínimo, o fator de potência será máximo e as fases da tensão e da corrente serão iguais (fasores na mesma direção e sentido). Quando isso acontece, diz-se que a tensão de entrada está em ressonância com o circuito. A frequência para a qual a reatância é nula é um valor característico do circuito, designado de **frequência de ressonância**.<sup>[7]</sup>

**Exemplo:** Calculando a frequência de ressonância do circuito e a potência média máxima, temos: Com a resistência em e a capacidade em convém usar s para a unidade de tempo e, portanto, *MHz* para a frequência e *H* para a indutância.

A **impedância total** do circuito será a soma das 3 impedâncias:

No sistema de unidades que estamos a usar, a frequência de ressonância é . Se a fonte tivesse essa frequência, teríamos , corrente máxima e potência média máxima , se estiver em volts .

No circuito do exemplo anterior, a tensão de entrada carrega e descarrega o condensador. Inicialmente, a carga no condensador oscila com a frequência de oscilação da tensão na fonte; mas quando a carga no condensador for elevada, a diferença de potencial do condensador poderá contrariar a tensão da fonte, impedindo a entrada de mais carga.

A situação é semelhante a uma massa pendurada de uma mola elástica, na qual atua outra força externa que tenta manter a massa oscilando para cima e para baixo. Se a força externa não oscilar com a mesma frequência própria de oscilação da mola elástica, haveria momentos em que a força externa está a tentar fazer subir a massa, enquanto a mola elástica empurra em sentido oposto.<sup>[7]</sup>

No caso do circuito, se a fonte não existisse mas o condensador tivesse uma carga inicial, começaria a descarregar, produzindo uma corrente. No momento em que o condensador descarrega completamente, o indutor faz com que a corrente persista por alguns instantes, recarregando o condensador com cargas de sinais opostos à carga inicial. O ciclo repete-se, com uma frequência própria do circuito. No entanto, a resistência faz com que em cada ciclo a carga do condensador seja menor, até acabar por desaparecer (equilíbrio estável). Existe ressonância quando a fonte oscilar com a mesma frequência própria do circuito.<sup>[7]</sup>

Se quando a frequência da fonte fosse a frequência de ressonância a resistência fosse nula,

seria nula, e aparentemente seria infinita.

No entanto, a corrente não aumenta instantaneamente até esse valor, mas aumenta gradualmente com as oscilações da carga no condensador. Quando essa carga máxima se tornar muito elevada, ocorrerá a ruptura do dielétrico no condensador ou a corrente elevada acabará por queimar o indutor.

### Processamento de sinais

---

Uma aplicação importante dos circuitos elétricos é no processamento de sinais. Os sinais a serem processados são tensões elétricas variáveis em função do tempo. Essas tensões podem ser produzidas, por exemplo, num microfone ou em diversos tipos de transdutores que são usados para medir pressões, temperaturas e outras propriedades físicas. O sinal elétrico produzido pelo transdutor constitui uma fonte de tensão ou corrente variável no circuito elétrico usado para o seu processamento.

Nesta seção designaremos por (sinal) qualquer grandeza que varie em função do tempo em alguma parte de um circuito. Por exemplo, uma

tensão , uma corrente ou a carga num capacitor .

Usando um til para designar as respectivas transformada de Laplace,

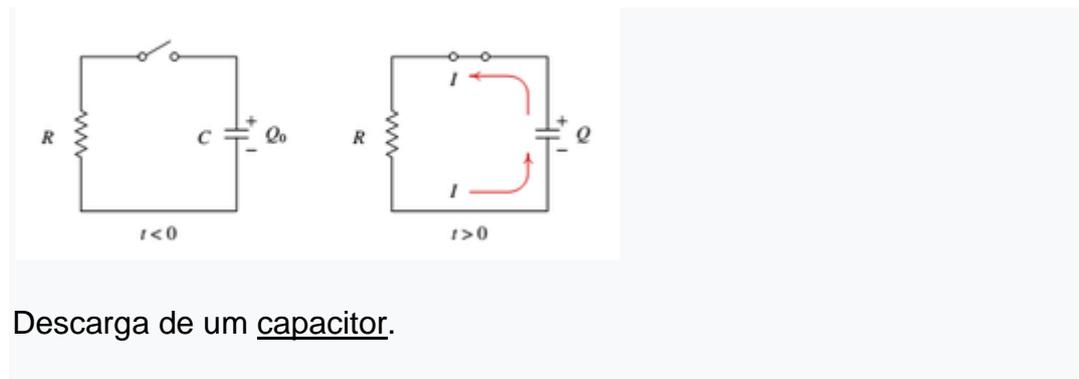
nomeadamente, , e .

Quando for claro que estamos a referir-nos a um sinal, por vezes

escreveremos apenas ou , ficando implícito que são funções

que dependem do tempo e da frequência .

### Circuito RC



Descarga de um capacitor.

A figura ao lado mostra o diagrama de circuito para um capacitor, com carga inicial  $Q_0$ , que é descarregado ligando-o a uma resistência  $R$ .

Esse circuito é designado de circuito RC. O instante  $t = 0$  em que o capacitor é ligado à resistência corresponde ao instante em que é fechado o interruptor no diagrama de circuito da figura abaixo. Quando o capacitor começa a descarregar, a corrente nele será igual à taxa de diminuição da sua carga,  $i = -\frac{dQ}{dt}$ .

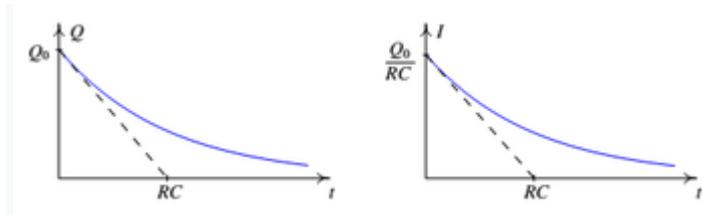
Em qualquer instante  $t$ , a corrente e a diferença de potencial no condensador serão iguais à corrente  $i$  e a diferença de potencial  $V_C$

na resistência:

Combinando as duas equações anteriores obtemos uma equação diferencial para a carga em função do tempo:

Calculando a transformada de Laplace nos dois lados da equação obtemos:

e, portanto,



Carga e corrente num capacitor a descarregar.

A transformada inversa dessa expressão dá a carga em função do tempo:

Assim, a carga no capacitor decresce de forma exponencial. A corrente obtém-se dividindo a carga por  $RC$  e, portanto, também decresce de forma exponencial.

Os gráficos da carga e da corrente, em função do tempo, são apresentados na figura ao lado.<sup>[7]</sup>

A constante  $RC$ , com unidades de tempo, designa-se de **constante de tempo**.

É o tempo que demoraria a descarregar o capacitor se a corrente mantivesse o seu valor inicial  $I_0$ .<sup>[7]</sup>

A constante de tempo  $RC$  é também igual ao intervalo de tempo em que a carga, e a corrente, diminuem até  $37\%$  vezes os seus valores iniciais; nomeadamente, o tempo que demoram em diminuir até  $37\%$  dos valores iniciais.

Quanto maior for a constante de tempo, mais lentamente decrescerão a carga e a corrente no capacitor.

## **REFERÊNCIAS**

[https://pt.wikipedia.org/wiki/Motor\\_a\\_diesel](https://pt.wikipedia.org/wiki/Motor_a_diesel)>acesso em 10/06/2020

<https://www.revistaadnormas.com.br/2018/11/06/a-qualidade-da-inspecao-do-controle-dimENSIONAL>>acesso em 10/06/2020

<https://russelservicos.com.br/blog/o-que-faz-um-inspetor-de-controle-dimENSIONAL/>>acesso em 10/06/2020

[https://pt.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_Internacional\\_de\\_Unidades](https://pt.wikipedia.org/wiki/Sistema_Internacional_de_Unidades)>acesso em 10/06/2020

[https://pt.wikipedia.org/wiki/Instrumento\\_de\\_medida#:~:text=As%20r%C3%A9guas%20fitas%20m%C3%A9tricas%20trenas,comum%C3%A9%20de%20um%20mil%C3%ADmetro.](https://pt.wikipedia.org/wiki/Instrumento_de_medida#:~:text=As%20r%C3%A9guas%20fitas%20m%C3%A9tricas%20trenas,comum%C3%A9%20de%20um%20mil%C3%ADmetro.)>acesso em 10/06/2020

<https://www.vivadecora.com.br/pro/iluminacao/grandezas-eletricas-basicas/>>acesso em 10/06/2020

[https://pt.wikipedia.org/wiki/Circuito\\_el%C3%A9trico](https://pt.wikipedia.org/wiki/Circuito_el%C3%A9trico)>acesso em 10/06/2020