



# ELETRICIDADE E MAGNETISMO

para o ensino fundamental

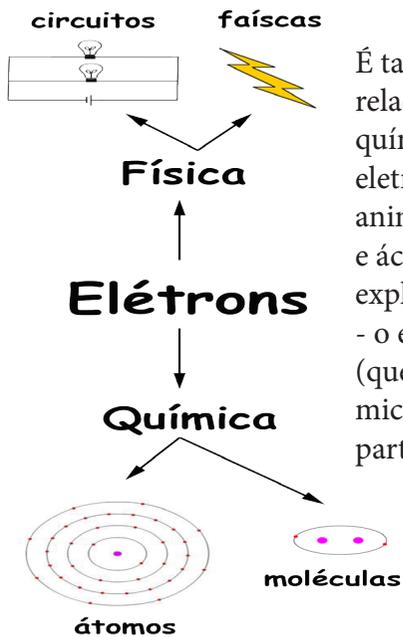
Ricardo Esplugas de Oliveira

# ELETRICIDADE

O capítulo eletricidade e magnetismo coloca novos desafios pois são introduzidas ideias e grandezas abstratas, ou seja, que não podem ser diretamente vistas ou sentidas como nos capítulos de física previamente estudados que incluem Leis de Newton, pressão, gases e temperatura.

É também muito interessante a oportunidade para relações interdisciplinares, em particular com a química e a biologia. Sabe-se, por exemplo, que a eletricidade é essencial para o funcionamento dos animais e as baterias são construída usando metais e ácidos. Essa conexão com a química será aqui explorada desde o início, pois a mesma partícula - o elétron - é essencial no estudo da eletricidade (que é apenas uma parte da física) e de toda a química. Em física estudaremos o elétron como uma partícula que se move geralmente dentro de fios (circuitos) enquanto em química estudaremos o elétron como a partícula que constitui o átomo e pula de um átomo para outro em reações químicas.

Em ambos casos o estudo é abstrato e vocês entenderão como é que podemos saber tanto sobre algo que não pode ser visto, como um a partícula microscópica chamada elétron (que aliás não pode ser vista nem no microscópio). Afinal, eletricidade transformou o nosso mundo desde que cientistas conseguiram dominar este fantástico poder da natureza. Hoje em dia é difícil imaginar como se poderia viver sem eletricidade.

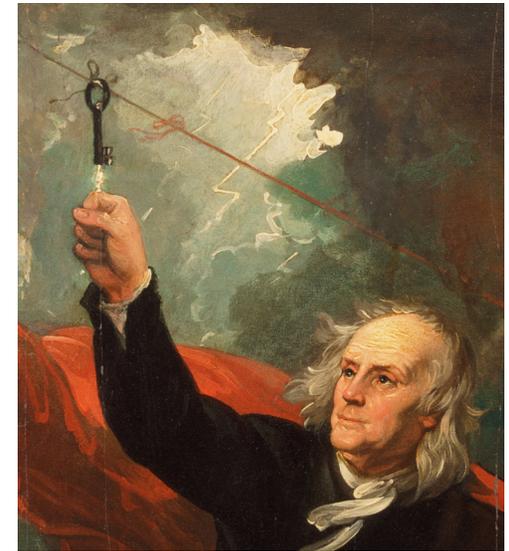


**Mapa 1** - Perceba que no caso da molécula existem 2 núcleos (pontos lilás) e 2 elétrons (pontos menores vermelhos) enquanto no átomo apenas 1 núcleo. Isto indica que os 2 elétrons estão mantendo 2 núcleos juntos e portanto formando uma molécula !

## Um pouco de história

Durante muitos séculos a eletricidade foi tratada apenas como uma curiosidade, algo que fascinava as pessoas. Era explorada por mágicos e artistas de rua que produziam faíscas e outros truques (tipo daquele do pente de plástico que atrai penas) que assustavam e impressionavam o público.

A partir do século XVIII cientistas passaram a se dedicar mais à eletricidade e o fenômeno passou a ser entendido melhor. Em 1750 Benjamin Franklin idealizou o seu famoso experimento da pipa e provou que os raios nas tempestades são a mesma “coisa” que a eletricidade das experiências dos humanos, ou seja, apenas uma grande faísca. Dessa forma houve uma grande conexão entre os céus e o seu poder mais assustador (raios e trovões) e a física desenvolvida por pessoas. Basicamente o experimento consistia de usar uma pipa em uma tempestade de modo que ela fosse atingida por um raio e a eletricidade “andasse” pelo fio até as mãos de Franklin.



Franklin em seu famoso experimento com a pipa em uma tempestade com raios

Os descobrimentos seguintes foram relacionados à biologia. Cavendish estudou peixes elétricos como a arraia, porque havia fatos que intrigavam as pessoas. Como um animal poderia produzir tanta eletricidade, a ponto de derrubar um homem adulto? Essa eletricidade animal era a mesma que a produzida artificialmente pelo homem? O que mais intri-

gava era o fato de a eletricidade da arraia não produzir faíscas, embora fosse forte o suficiente para derrubar um homem. Cavendish descobriu que não havia faísca porque a eletricidade da arraia demorava um certo tempo pra descarregar, diferentemente das faíscas estudadas até então, que se acabavam em frações de segundo. Isso será explicado em detalhes nas seções de eletricidade estática e dinâmica. A arraia usa a eletricidade também como sensor do ambiente, já que sua visão é pobre.

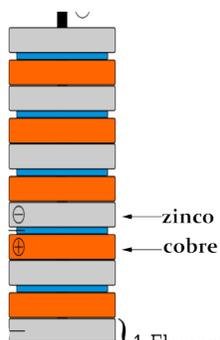


Frankenstein é considerado um dos melhores filmes de ficção científica de todos os tempos

Em 1780 Luigi Galvani descobriu que os músculos de sapos mortos se moviam quando ela aplicava faíscas nos nervos correspondentes. Isto demonstrou que não apenas peixes elétricos, mas todos os animais usam a eletricidade, ou seja, a bioeletricidade. Seguiram-se experimentos com outros animais incluindo humanos, abrindo a esperança de que eletricidade poderia ressuscitar os mortos. Este panorama serviu de inspiração para a famosa obra de Mary Shelley: Frankenstein (1818).

Alessandro Volta, em 1800, inventou a bateria, que consistia de discos de cobre e de zinco alternados. Com ela era possível criar faíscas que duravam bastante tempo ( ganharam o nome de arco elétrico) e eram usados para a iluminação de ruas. Foi a primeira vez que se produziu

luz sem queimar nada. A bateria foi imediatamente aplicada ao estudo da química permitindo a descoberta de novos elementos da tabela periódica e fundando o ramo da eletroquímica que inclui processos de muita importância industrial como por exemplo a corrosão. Com a bateria de Volta pôde-se também, pela primeira vez, quebrar uma molécula de água em seus gases componentes, hidrogênio e oxigênio! (você pode observar esse processo (eletró-



Pilha de Volta, com discos de cobre e zinco intercalados

lise da água) facilmente, mergulhando uma bateria de 9 V - aqueles em forma de paralelepípedo- em um copo d'água: as bolhas que sobem são os gases!).

## Eletromagnetismo

A bateria quando conectada a um fio metálico cria uma corrente de elétrons no mesmo, pois a bateria empurra os elétrons. Faraday descobriu que um fio percorrido por elétrons cria magnetismo! Essa descoberta iria revolucionar o mundo pois possibilitaria, além da fabricação de eletroímãs (ímãs feitos de fios elétricos), a fabricação de motores elétricos e a geração de energia elétrica em grandes quantidades. O magnetismo pode também movimentar os elétrons em um fio, portanto criando uma corrente de elétrons. Dessa forma a eletricidade e o magnetismo foram unificados em uma só teoria: o eletromagnetismo.

Em 1833 houve a primeira aplicação da eletricidade que iria mudar o mundo: a invenção do telégrafo. O telégrafo inicialmente consistia de um aparelho que mandava sinais elétricos, na forma de código Morse, para outro aparelho receptor por meio de um cabo elétrico. Isso foi uma revolução porque até então a velocidade máxima de transmissão de informações era a de um cavalo com um mensageiro encima. Trocas de informação rápidas permitem a manutenção de grandes impérios e grandes empresas que atuem em diferentes continentes.

O uso de baterias trouxe ainda mais descobertas. A aplicação da eletricidade das baterias em tubos de vidro contendo diferentes gases é capaz de produzir diversas cores. Isto é usado até hoje por artistas e por cartazes comerciais. São as chamadas luzes de



Luzes de neon usadas em cartaz em Las Vegas\_EUA

neon (neon é um dos gases usados nestes tubos).

Embora houvesse diversos progressos em eletricidade, ninguém sabia o que era a eletricidade, até que em 1890 William Crookes teve a ideia de aplicar eletricidade em um tubo de vidro vazio (sem os gases que produziam cores diversas). Nesta época era muito difícil remover todo o ar de dentro do tubo para que houvesse o vácuo. Este experimento permitiu a descoberta de minúsculas partículas que produziam um leve brilho azul na parede do tubo e foram chamadas de elétrons. Portanto, descobriu-se o que é a eletricidade : um fluxo de elétrons.

### Válvulas e Transistores

Além de permitir a descoberta do elétron, estes tubos vieram a se transformar no aparelho de televisão (embora hoje em dia os tubos tenham sido substituídos por tecnologias como LCD ou plasma), telas de radares e nas válvulas, que podiam ser usadas como componentes eletrônicos como diodos e transistores e portanto iniciando a engenharia eletrônica. A aplicação de transistores para construir computadores é talvez a maior revolução trazida pelo estudo da eletricidade até agora, mas com certeza muito mais está ainda por aparecer....

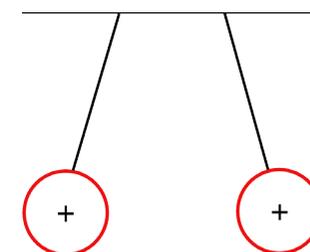
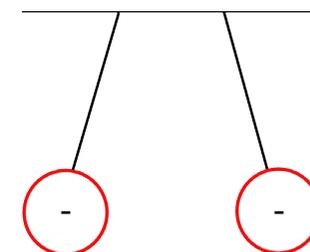
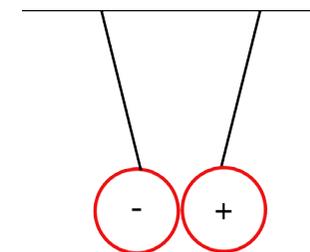


As válvulas, tubos de vidro em que elétrons podiam se mover pelo vácuo, foram substituídas por dispositivos feitos de semicondutores

## O que é carga elétrica?

Até agora nós estudamos apenas uma propriedade da matéria: a massa. Sabemos que toda objeto possui massa e que esta propriedade está relacionada à força que precisamos usar para movê-lo, de acordo com as Lei de Newton  $F = ma$  (força = massa x aceleração). Sabemos também que todas as massas estão submetidas à força da gravidade embora esta só seja notada quando existem massas muito grandes, do tamanho de planetas e estrelas.

A carga elétrica é outra propriedade da matéria. Ela existe em 2 tipos, que chamamos de positiva (+) e negativa (-). A força elétrica repele partículas ou objetos com cargas de mesmo sinal (positivo repele negativo e negativo repele negativo) e atrai partículas ou objetos com cargas de sinais opostos. Perceba que isto difere da força de gravidade, que é sempre atrativa. Além do mais, a força elétrica pode ser observada entre objetos pequenos (pouca massa) e com pouca carga, diferentemente da força da gravidade que é sentida apenas quando existem massas gigantescas, como a massa da Terra, do Sol e outras estrelas. Por exemplo, você não sente a força da gravidade entre você e seu colega ou entre sua mão e o lápis. No entanto, não era muito comum observarmos forças elétricas no nosso dia a dia (na época antes da introdução das máquinas elétricas), porque a maioria dos objetos que usamos são eletricamente neutros, isto é, possuem carga total zero. Embora eles sejam feitos de partículas com cargas positivas e negativas, estas se anulam quando existe a mesma quantidade de ambas e portanto



Cargas de mesmo sinais se atraem e de sinais opostos se repelem

existe um balanço perfeito (é como na matemática:  $-1+1 = 0$ ). As partículas que formam a matéria são os elétrons (com carga negativa), os prótons (com carga positiva) e os nêutrons (com carga neutra)\*. Se você estivesse à distância de um braço, de uma pessoa, e ambos tivessem 1% mais prótons do que elétrons, a força entre vocês seria gigantesca: seria suficiente para levantar o peso do planeta Terra inteiro! (ref. Feynman)



Uma formiga presa no âmbar. No filme “Jurassic Park”, dinossauros foram recriados usando DNA encontrado em um inseto que picou um dinossauro e foi preservado em âmbar

Fenômenos elétricos foram observados pela primeira vez no século VI a.C., na Grécia, quando o âmbar (a resina de uma árvore) foi esfregado em lã de animais. O âmbar ficou “eletrizado” e passou a atrair outros objetos, como penas por exemplo (âmbar em grego chama-se elektron e por isso o fenômeno passou a ser chamado de eletricidade). O que acontece é que a lã possui elétrons relativamente soltos, que são capturados pelo âmbar durante o esfregamento. Tendo adquirido elétrons,

o âmbar se torna eletricamente carregado (porque possui mais cargas negativas - elétrons - do que positivas) e portanto pode exercer a força elétrica e atrair certos objetos (faça experiências com um pente de plástico ou uma bexiga - esfregue estes objetos no seu cabelo e veja o que podem atrair: verifique que eles podem atrair um fiozinho de água saindo da torneira!

Este “tipo” de eletricidade se chama eletrostática (estática quer dizer parada), embora os elétrons se movam um pouco (por exemplo, da lã para o âmbar, ou do cabelo para o pente) eles se movem apenas em um instante. É diferente do caso da eletricidade dinâmica (eletrodinâmica) que se move continuamente (como aquela que percorre um fio elétrico para acender uma lâmpada durante horas).

## Materiais condutores e isolantes

Materiais condutores são aqueles em que os elétrons podem viajar facilmente, ou seja, são aqueles que conduzem a eletricidade. Estes são tipicamente os metais, especialmente cobre, prata e ouro (metais são também excelentes condutores de calor). Cobre é o escolhido para fazer fios porque conduz bem a eletricidade e não é tão caro como prata ou ouro. Materiais condutores incluem também o grafite, certos polímeros (plásticos) e soluções aquosas de eletrólitos (por exemplo sal de cozinha dissolvido em água). A água destilada não é um bom condutor e isto será verificado em um de nossos experimentos. O corpo humano é também um bom condutor de eletricidade.



É mais fácil uma linha de transmissão levar a eletricidade a centenas de quilômetros do que um pedaço de madeira levá-la a alguns centímetros.

Materiais isolantes se comportam de maneira oposta: não conduzem a eletricidade ou conduzem com muita dificuldade (quando é aplicada uma voltagem muito alta apenas). Esta categoria inclui madeira, vidro, papel, cerâmica (usada em velas de ignição em motores) a maioria dos plásticos e borrachas.

### Semicondutores

Existem também materiais que não são classificados nem como condutores nem como isolantes: eles são os semicondutores. Quer dizer que às vezes conduzem, às vezes não. Depende das condições. E isto pode ser explorado a nosso favor. É o caso do silício e do germânio, que são isolantes no seus estados cristalinos puros, mas podem se tornar condutores em certas situações. Por exemplo quando eles são dopados, isto é,

recebem uma pequena quantidade de impurezas cuidadosamente escolhidas para remover ou adicionar elétrons nas suas estruturas. Materiais semicondutores são utilizados principalmente na fabricação de componentes eletrônicos como transistores, que são os principais componentes dos computadores.

O selênio, por exemplo, é um material semicondutor que se torna condutor quando exposto à luz, e portanto pode ser utilizado como célula-fotoelétrica (aparato que detecta luz, usado por exemplo em portas de elevadores que as impede de fechar quando uma pessoa está entrando) e o silício é usado, entre muitas outras coisas, na construção de painéis solares usados em geração de energia elétrica a partir da luz do sol.

## corrente e voltagem

A eletrostática trata de fenômenos como faíscas em geral (como aquela que se vê no escuro quando se tira a malha de lã (acompanhada de sons como estalos), raios em tempestades e tal... Nesses casos os elétrons se movem de um ponto a outro pelo ar, ou seja, não tem nenhum fio. É mais fácil para um elétron viajar por um fio -e por isso estamos acostumados a ver fios por todos os lados - do que viajar pelo ar. Portanto a força que move o elétron pelo ar deve ser maior do que a força que o move pelo fio. Essa força que faz com que elétrons se movam chama-se VOLTAGEM (medida em volts-V). Uma CORRENTE elétrica (medida em amperes-A) é um monte de elétrons que se movem juntos na mesma direção: quanto mais elétrons, e quanto mais rápido eles se movem, maior a corrente.

Por exemplo, uma malha de lã pode produzir uma voltagem de 1000 V mas o choque que sentimos é fraquinho porque a corrente é baixa (poucos elétrons se deslocam). Numa tomada na parede, a voltagem é de 110 V (ou 220 dependendo da região) mas a corrente é alta e portanto o choque elétrico resultante pode matar uma pessoa. Portanto nunca deve-se brincar com tomadas! Portanto, nos casos de eletricidade estática a voltagem é sempre muito alta (da ordem de milhares de volts) e muito maior do que a corrente. Nos casos de eletrodinâmica temos voltagens e

correntes moderadas.

### Exemplos de valores de corrente:

Sistema	corrente elétrica típica
Sistema nervoso humano	20 $\mu$ A
Chuveiro	10 A
Motor de trem	600 A
Raio	10 a 100 kA

### Exemplos de valores de voltagem:

Sistema	voltagem típica
Sistema nervoso humano	70 mV
Bateria AA	1.5 V
Tomada doméstica	230 V ou 110 V
Peixe elétrico	100 a 600 V
Faíscas de uma malha de lã sintética	1 kV
Cerca elétrica	0.7 a 10 kV
Raio	10 a 100 MV

### Prefixos usados nas tabelas:

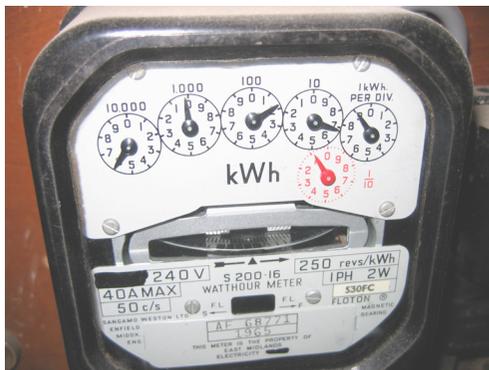
Prefixo	valor numérico
tera - T	um trilhão de vezes
giga - G	um bilhão de vezes
mega - M	um milhão de vezes
kilo - k	mil vezes
mili - m	milésimo
micro - $\mu$	milionésimo
nano - n	bilionésimo
pico - p	trilionésimo

## Energia elétrica e potência

A energia elétrica pode transformar-se em energia térmica, sonora, cinética, luminosa etc... A potência vai depender da rapidez dessas transformações. Por exemplo, quanto mais rápido a energia elétrica se transforma em energia luminosa, em uma lâmpada, maior a potência desta.

Energia elétrica. Como todas as formas de energia, é medida em joules (J). A potência, como já se aprendeu em mecânica, é medida em watts (W).

$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$ , portanto uma lâmpada de 100W transforma 100 J de energia elétrica em energia luminosa a cada segundo!



Medidor de consumo de energia elétrica residencial

### Custo da energia elétrica

A energia elétrica que usamos nos é cobrada em unidades chamadas kWh. Um kW são 1000W (assim como um km são 1000 m).

Se usamos a lâmpada descrita acima, com potência de 100 W, durante 10 h, teremos consumido  $100 \text{ W} \times 10 \text{ h} = 1000 \text{ Wh}$  ou 1 kWh. Cada kWh custa mais ou menos uns 70 centavos.

### Exemplo de cálculo

Um chuveiro elétrico tem uma potência de 4,5kW. Quanto custaria tomar um banho de 20 min neste chuveiro?

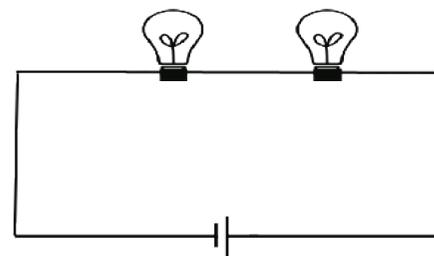
Energia consumida =  $4,5 \text{ kW} \times 1/3 \text{ h} = 1,5 \text{ kWh}$

Custo =  $1,5 \times 0,70 = 1,05 \text{ reais}$

## Circuitos simples

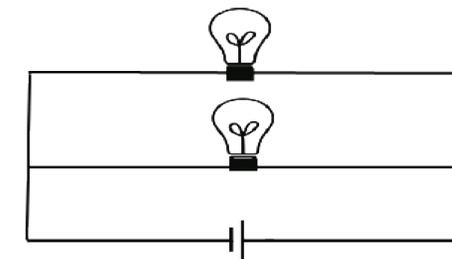
Os experimentos que faremos usarão pilhas. Nunca devemos usar a tomada porque é muito perigoso! Um circuito simples inclui fios, bateria e algo para onde se transfira a energia elétrica, podendo ser uma lâmpada, campainhas, motores, etc... Usaremos lâmpadas aqui.

Abaixo mostramos um circuito com bateria e 2 lâmpadas. Poderíamos colocar mais lâmpadas se quiséssemos. Perceba que se o fio for cortado em qualquer ponto o caminho dos elétrons é interrompido e todas as lâmpadas se apagam.



Circuito em série

Caso uma das lâmpadas se queime e pare de funcionar, o circuito é interrompido porque os elétrons não podem “pular” a lâmpada queimada e ir para a próxima. É o mesmo que cortar o fio e todas as lâmpadas no circuito se apagam. Este é o problema com as pequenas lâmpadas de árvore de natal: se uma delas se queima todas se apagam; a dificuldade é que não sabemos qual é a queimada para trocar... Para evitar este problema, causado por todas as lâmpadas estarem ligadas no mesmo fio, pode-se fazer o circuito da maneira seguinte:



Circuito em paralelo

Caso a lâmpada 1 se queime, os elétrons podem ainda circular pela lâmpada 2. Quando havia duas lâmpadas funcionando os elétrons se dividiam pelo fio da lâmpada 1 e pelo fio da lâmpada 2. Como agora a lâmpada 1 está queimada todos os elétrons passam pela lâmpada 2 e portanto ela se acende com mais inten-

sidade (caso usemos as lâmpadas do tipo incandescente (estilo antigo), pois no caso das lâmpadas novas é mais difícil controlar a intensidade).

Nas instalações elétricas de residência, fábricas e etc. usa-se circuito em paralelo. Imagine que chato se toda a eletricidade de sua casa parasse de funcionar cada vez que uma lâmpada se queimasse...

## **Resistência elétrica**

Quando os elétrons que se movem pelo fio encontram uma lâmpada, motor ou qualquer outro aparelho que transforme a energia deles em outro tipo de energia, existe uma resistência à passagem deles. Cada aparelho oferece uma resistência (R) diferente à passagem dos elétrons, e esta pode ser medida em unidades chamadas ohms ( $\Omega$ ).

A resistência elétrica é similar à fricção. Quando um avião voa, o ar oferece resistência ao seu movimento. Por isso aviões grandes voam o mais alto que podem, pois a altitudes maiores existe menos ar e portanto menos fricção e menor consumo de combustível. Infelizmente não se pode ir alto demais porque o ar é necessário para sustentar o peso do avião!

## **AS FÓRMULAS!!!**

$$U = R I \text{ (Lei de Ohm)}$$

Essa fórmula é muito importante. Perceba que ela relaciona voltagem com resistência e corrente. Como era de se esperar, quanto maior a voltagem maior a corrente (para uma mesma resistência). Já havíamos visto que a voltagem é a força que empurra os elétrons e que a corrente é tanto maior quanto maior o número e velocidade dos elétrons em movimento ordenado. Perceba também que aumentando-se a resistência (para uma mesma voltagem) a corrente diminui, pois é mais difícil para os elétrons se moverem.

### **Exemplo**

Em um circuito simples existe uma abateria de 12 V e uma lâmpada com resistência de 2  $\Omega$ . Qual a corrente no circuito?

$$U=RI \rightarrow 12 = 2I \rightarrow I = 12/2 = 6 \text{ A}$$

**A fórmula para a potência é:  $P = UI$**

Ou seja, quanto maior a corrente e a voltagem, maior a potência.

### **Exemplo**

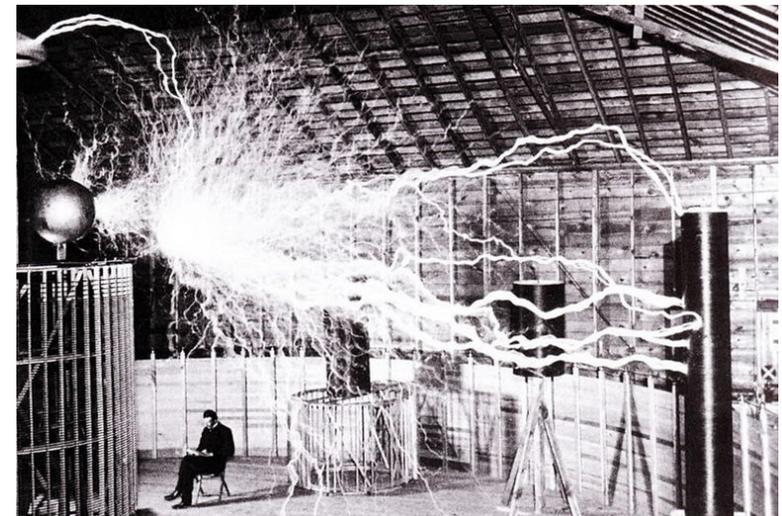
Um chuveiro elétrico funciona com uma potência de 2200W e é ligado em 220V. Qual a corrente usada pelo mesmo?

$$P=UI \rightarrow 2200 = 220I \rightarrow I = 2200/ 220 = 10 \text{ A}$$

## **Os perigos da eletricidade**

**O que é mais perigoso, uma alta voltagem ou uma alta corrente ?**

Resposta: uma alta corrente. Como visto na tabela acima, uma faísca produzida ao se retirar um pulôver pode ter voltagens da ordem de 1000V. No entanto, ninguém morre devido a tais faíscas. A razão é a baixa corrente, ou seja, poucos elétrons são transportados nesse processo, apesar da voltagem ser alta.



Nikola Tesla, o decobridor da corrente alternada, sentado em seu laboratório e sem medo das altas voltagens produzindo faíscas gigantes ao seu redor

O sistema nervoso animal funciona a base de impulsos elétricos, e por isso é perigoso que um organismo seja atravessado por correntes elétricas. Tais correntes podem perturbar o funcionamento de órgãos vitais como o coração ou o cérebro e causar morte instantânea. Além disso, se a corrente for muito alta, queimaduras podem também ocorrer.

A próxima pergunta será sobre que níveis de corrente são perigosos. Uma corrente de 0.001 A pode apenas ser sentida, mas a sensação se transforma em dor por volta de 0.005A. Uma corrente de 0.07 A, se perdurar por 1 s ou mais e cruzar o coração, pode causar a morte.

A corrente que atravessa um corpo humano depende da resistência deste (segundo a lei de Ohm), a qual pode variar. Uma pele seca pode ter uma resistência de até 500.000 ohms enquanto um corpo ensoado tem resistência de apenas 100 ohms. Por isso é muito perigoso lidar com

eletricidade em condições úmidas. Por isso também é muito perigoso levar um choque, de chuveiro elétrico, durante o banho. O corpo molhado oferece baixa resistência e portanto pode ser atravessado por uma corrente bastante alta.

Por outro lado, a eletricidade pode salvar vidas. Ela pode ser aplicada no corpo humano para curar um problema de arritmia (coração batendo fora do ritmo correto) ou taquicardia (coração batendo muito rápido). Para esse fim usa-se um aparelho chamado desfibrilador

que gera uma alta voltagem que é aplicada através de dois eletrodos que são encostados no peito do paciente. Em países desenvolvidos estes aparelhos são encontrados em estações de trem, aeroportos e até mesmo na rua.

### **fusíveis e disjuntores**

Às vezes um aparelho eletrodoméstico apresenta falhas ou requer uma corrente alta para funcionar e passa a sobrecarregar o circuito elétrico da

residência. Como explicamos, a resistência elétrica é similar à fricção e portanto gera calor. No caso de uma corrente demasiadamente alta esse calor pode derreter os fios e causar problemas graves, até mesmo um incêndio.

Os fusíveis eram feitos de um material que derrete mais facilmente que os fios, de modo que se a corrente subir muito o fusível derrete e interrompe o circuito, evitando que os fios e tudo mais também derretam até que se conserte o que está errado. É então necessário trocar o fusível para que o circuito volte a funcionar.

Fusíveis já são algo do passado. Eles foram substituídos por dispositivos chamados disjuntores, que interrompem o circuito quando a corrente é muito alta mas não derretem e portanto podem ser usados por muito tempo. Basta “levantar” o disjuntor que “caiu” devido a um surto de corrente. Peça para ver o quadro de disjuntores na sua casa, mas não mexa!

## **Velocidade de elétrons em um fio**

Devido à temperatura, os elétrons dentro de um condutor estão se movendo em movimento caótico a altas velocidades, de modo similar ao de moléculas em um gás. No entanto, este movimento caótico não os leva a nenhuma parte. Somente quando uma voltagem é ligada no circuito é que os elétrons são obrigados a mover-se de maneira ordenada. O movimento caótico e o movimento ordenado ocorrem simultaneamente mas o movimento ordenado é bastante mais lento.

Existem 2 tipos de correntes elétricas: a contínua e a alternada. No caso da corrente contínua os elétrons movem-se ao longo do fio, sempre na mesma direção, como se fosse água dentro de uma mangueira. No caso das correntes alternadas a corrente move-se em uma direção e em seguida na direção oposta, de modo que os elétrons oscilam em torno da mesma posição e não viajam pelo fio como no caso da corrente contínua. A corrente alternada é tipicamente aquela da tomada e a contínua a das baterias.

No caso de uma corrente contínua, a velocidade dos elétrons para a frente é da ordem de  $\mu\text{m/s}$ . Isto quer dizer que tarda horas para um elétron percorrer 1 metro de fio.



Desfibrilador disponível em rua na França

# MAGNETISMO

O magnetismo é impressionante por ser uma força que age à distância : o imã atrai pregos sem encostar neles. Assim como a força elétrica, que também age à distância, a força magnética pode ser atrativa ou repulsiva. Invés de cargas positivas e negativas, como no caso da eletricidade, temos o polo norte e o polo sul . É interessante perceber que os polos norte e sul nunca se separam, ou seja, não podemos ter um polo sul separado de um polo norte: eles vão sempre juntos. Diferentemente do caso das cargas elétricas, pois podemos ter cargas positivas ou negativas isoladas como por exemplo no caso dos elétrons que são partículas de carga negativa.

O nome magnetismo vem de Magnesia, uma região da Grécia onde foram descobertas pedras que atraíam ferro, cerca de 2 mil anos atrás.



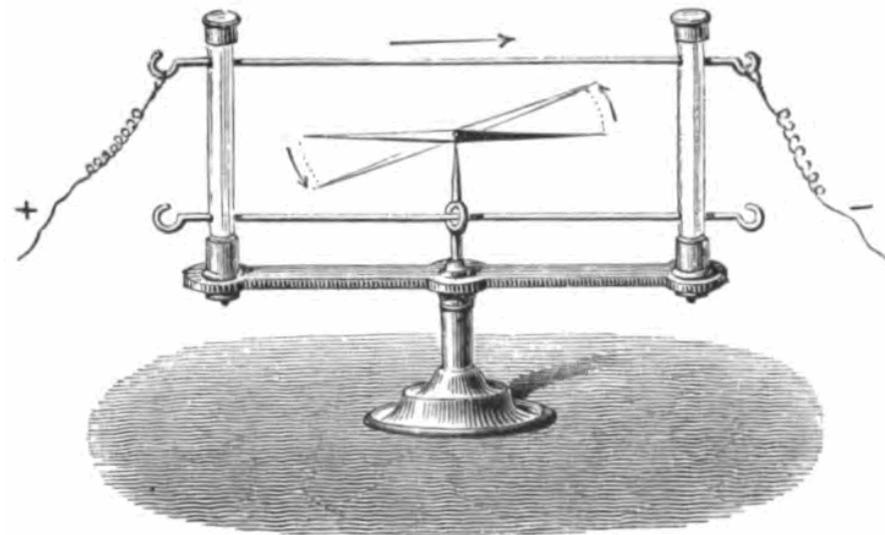
A bússola representou uma revolução na navegação que em breve atingiu todo o planeta

A primeira aplicação do magnetismo transformou o mundo: foi a invenção da bússola. Assim como a primeira aplicação da eletricidade (o telégrafo) a bússola revolucionou as comunicações, pois permitiu um aumento das navegações e das distâncias percorridas.

Os metais que apresentam magnetismo são apenas o ferro, níquel e o cobalto. É interessante testar os metais com um imã. Por exemplo,

uma lata de bebida geralmente é feita de alumínio mas a parte de cima é de ferro e portanto é a única que vai ser atraída pelo imã.

Os metais magnéticos podem ser imantados quando esfregados em um imã, isto é, tornam-se imãs também! Pode-se imantar uma agulha



Experimento de Oersted\_: uma corrente elétrica no fio superior (seta) move a agulha magnética (tipo bússola) abaixo

e grudá-la em uma rolha que flutua em água. Desta forma se tem uma bússola!

Orsted descobriu em 1818 que uma corrente elétrica produz magnetismo. Isto possibilitou a produção de eletroímãs, ou seja, imãs que funcionam a base de correntes elétricas. Você pode comprovar isso usando um fio enrolado num prego grande e ligado a uma bateria pequena: enquanto a bateria estiver ligada, o prego passará a atrair pequenos objetos como cliques de papel.

Eletroímãs apresentam várias aplicações tecnológicas como na fabricação de alto-falantes, campainhas, motores elétricos, trens que flutuam e no levantamento de outros objetos (como carros velhos em um ferrolho). Existem também aplicações importantes na física-médica, como em máquinas de ressonância magnética nuclear que permitem produzir imagens do interior do corpo humano usando imãs muito potentes.

## Vantagens e desvantagens de eletroímãs

A principal desvantagem do eletroímã é que um fornecimento de eletricidade é necessário para que ele funcione. As vantagens são várias:

- 1) eles podem ser muito mais potentes que os imãs naturais (sempre que se necessitam forças magnéticas muito fortes usa-se eletroímãs)
- 2) a força magnética pode ser variada, variando-se a corrente elétrica
- 3) ele pode ser ligado e desligado. Isto é conveniente por exemplo em guinchos que transportam blocos de ferro de um ponto a outro. A força magnética deve ser desligada em um dado momento para que o objeto transportado seja deixado.

Assim como uma corrente elétrica produz magnetismo, um imã em movimento próximo a um fio produz corrente elétrica! Por isto eletricidade e magnetismo sempre andam juntos como parte de um mesmo fenômeno: o eletromagnetismo. James Maxwell em 1865 demonstrou matematicamente que a luz é um fenômeno eletromagnético e isto só foi provado experimentalmente muitos anos depois.

Com a descoberta de que imãs em movimento produzem eletricidade começou-se a produzir máquinas com este fim (geradores de energia elétrica), explorando o movimento giratório. A máquina seria girada por forças produzidas por quedas d'água (como em usinas hidrelétricas) ou pela força do vapor (como em usinas termoelétricas, aquecidas por combustíveis químicos ou nucleares).

A interação entre partículas eletrizadas emitidas pelo sol e o magnetismo da terra produz um espetáculo de incrível beleza, chamado de Aurora



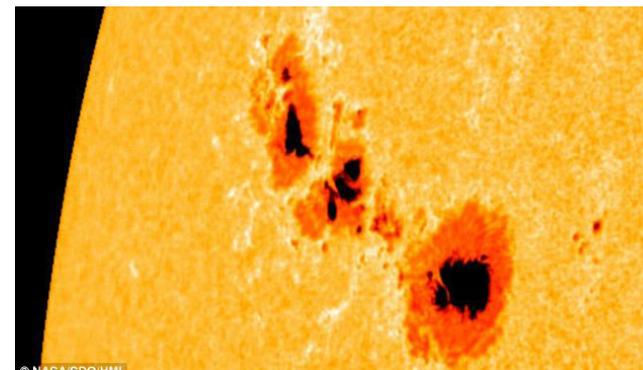
Aurora Boreal: partículas emitidas pelo sol produzem diversas cores nas proximidades dos polos sul e norte

Boreal, onde se observa o movimento de diversas cores no céu. Infelizmente isto só pode ser observado próximo aos polos da terra (e portanto em lugares muito frios e distantes), porque o magnetismo da terra é mais forte próximo aos polos.

A intensidade do magnetismo é medida em unidades chamadas teslas (T). A tabela a seguir dá uma ideia da intensidade do magnetismo em várias situações:

Sistema	Intensidade do magnetismo
correntes elétricas no cérebro	2 pT
planeta terra	50 $\mu$ T
imã de geladeira	10 mT
manchas solares	1 T
máquina de ressonância magnética	1 T
eletroímã mais forte já montado	100 T
estrela de neutron	100 GT

Explicação: manchas solares são causadas por aumentos localizados do campo magnético solar que ocorrem a cada 11 anos aproximadamente. Este aumento de atividade solar causa o aparecimento de Auroras (página anterior) muito intensas. Estrelas de neutron são o que sobra de uma estrela muito grande que “morre”. Quando acaba o combustível de uma estrela muito grande, ela explode como uma supernova e depois ela encolhe, devido a gravidade, e forma uma estrela de neutron.



Manchas temporárias na superfície do sol devido a campos magnéticos intensos

Magnetismo tem sido muito útil também no ramo dos transportes. Os trens mais modernos e velozes usam a força de repulsão magnética para manter-se “flutuando” ou melhor, levitando, no ar. Dessa forma evita-se o desgaste, fricção e ruídos nos trilhos e pode-se alcançar velocidades muito altas. O trem na imagem abaixo alcança velocidades de 400 km/h e no Japão existem outros trens levitantes que atingem velocidades ainda maiores, da ordem de 600 km/h... Esta categoria de trens chama-se MAGLEV (levitação magnética).

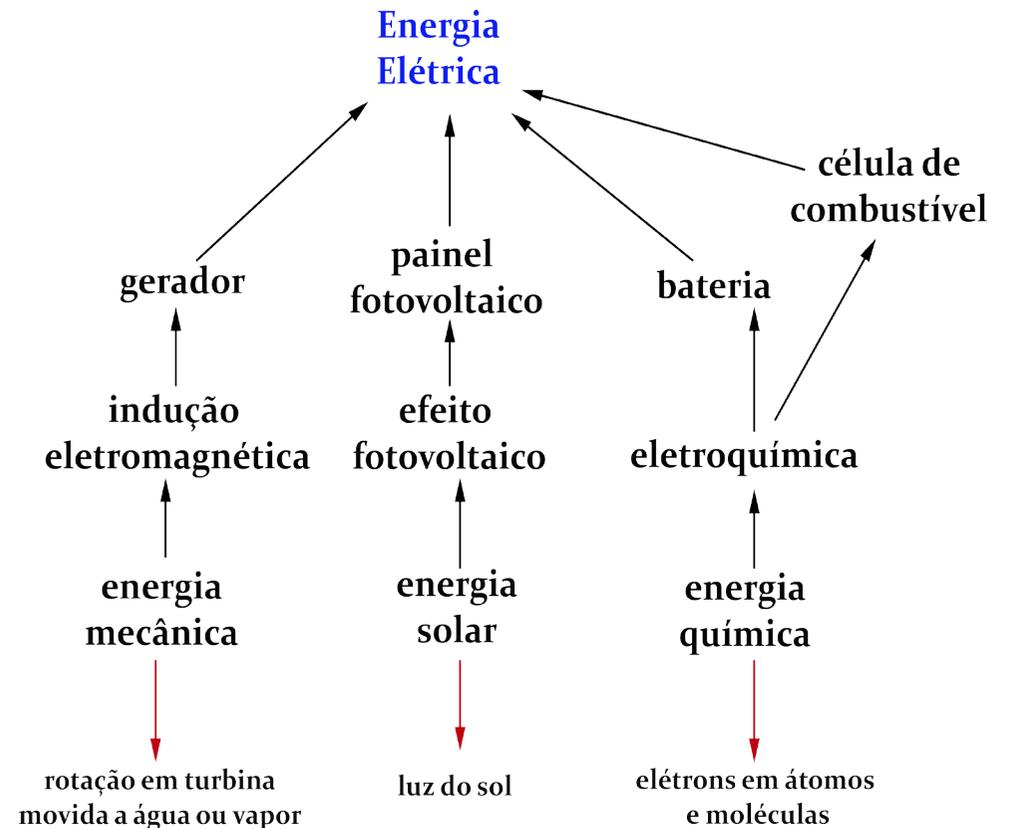


Trem flutuante no campo magnético em Shanghai na China. perceba que não tem rodas e nem trilhos. Perceba também suas formas aerodinâmicas que permitem alcançar altas velocidades.

## Geração de energia elétrica

Quase toda a energia elétrica que usamos é gerada pelo princípio da indução eletromagnética, ou seja, com ímãs ou eletroímãs em movimento. Mesmo os métodos renováveis de geração de energia elétrica como vento, geotérmico e marés utiliza esse mesmo princípio.

O uso da energia solar não depende de movimento e a energia elétrica é gerada a partir de painéis solares localizados em telhados ou no chão. Além da energia solar, a energia química também é usada para produzir energia elétrica, seja por meio de baterias ou de células de combustível. Esta última é uma tecnologia mais nova e que está se desenvolvendo rapidamente. O uso de carros elétricos é ainda pouco viável pela dificuldade de armazenar a eletricidade em baterias, que são pesadas e devem ser recarregadas com frequência. As células de combustível irão revolucionar este cenário!





## Créditos de imagens:

Capa- Tesla coil - public domain - via Wikimedia Commons

Benjamin Franklin - public domain - via Wikimedia Commons

Frankenstein - public domain - via Wikimedia Commons

Pilha de Volta - public domain - via Wikimedia Commons

Neon - public domain - via Wikimedia Commons

Válvulas - public domain - Pixabay

âmbar - uthor Brocken Inaglory CC share alike 3 === By Brocken Inaglory (Own work) [GFDL (<http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html>), CC -BY-SA-3.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>) or CC BY-SA 2.5-2.0-1.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.5-2.0-1.0/>)], via Wikimedia Commons

linha de transmissão - public domain - Pixabay

medidor elétrico - Mike1024 at English Wikipedia [Public domain], via Wikimedia Commons

Tesla lab By Dickenson V. Alley, photographer, Century Magazine [Public domain], via Wikimedia Commons

Desfibirlador by snowdog [Public domain], via Wikimedia Commons

Bússola - By Jaypee (Own work) [GFDL (<http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html>) or CC-BY-SA-3.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>)], via Wikimedia Commons

Experimento de Oersted By Agustin Privat-Deschanel [Public domain], via Wikimedia Commons

Aurora - public domain - Pixabay

Manchas solares - By NASA [Public domain], via Wikimedia Commons

Trem maglev By Andreas Krebs (Picture-4) [CC BY-SA 2.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0/>)], via Wikimedia Commons