

Artigos de ciência elementar  
Artigos de diferentes áreas científicas

Como obter Recursos Educativos  
Torne as suas aulas ainda mais interativas

Como aceder ao Banco de Imagens  
Fotos e ilustrações nas suas apresentações

# REVISTA DE CIÊNCIA ELEMENTAR

Volume 1 | Ano 2013

Número 1 | Outubro a Dezembro



# REVISTA DE CIÊNCIA ELEMENTAR

Volume 1 | Ano 2013

Número 1 | Outubro a Dezembro

## Corpo editorial

### Editor-chefe

José Alberto Nunes Ferreira Gomes  
(Dep. Química e Bioquímica - FCUP)

### Coordenação Editorial

Maria João Ribeiro Nunes Ramos  
(Dep. Química e Bioquímica - FCUP)

Pedro Manuel A. Alexandrino Fernandes  
(Dep. Química e Bioquímica - FCUP)

Alexandre Lopes de Magalhães  
(Dep. Química e Bioquímica - FCUP)

### Comissão Editorial

José Francisco da Silva Costa Rodrigues  
(Dep. Matemática - FCUL)

João Manuel Borregana Lopes dos Santos  
(Dep. Física e Astronomia - FCUP)

Jorge Manuel Pataca Leal Canhoto  
(Dep. Botânica - FCTUC)

Luís Vitor da Fonseca Pinto Duarte  
(Dep. Ciências da Terra - FCTUC)

Paulo Emanuel Talhadas Ferreira da Fonseca  
(Dep. Geologia - FCUL)

Paulo Jorge Almeida Ribeiro-Claro  
(Dep. Química - UA)

## Produção

### Diretor de Produção

Manuel Luis da Silva Pinto

### Conceção e Design

Nuno Miguel da Silva Moura Machado

### Suporte Informático

Guilherme de Pinho N. Rietsch Monteiro

### Secretariado

Alexandra Maria Silvestre Coelho

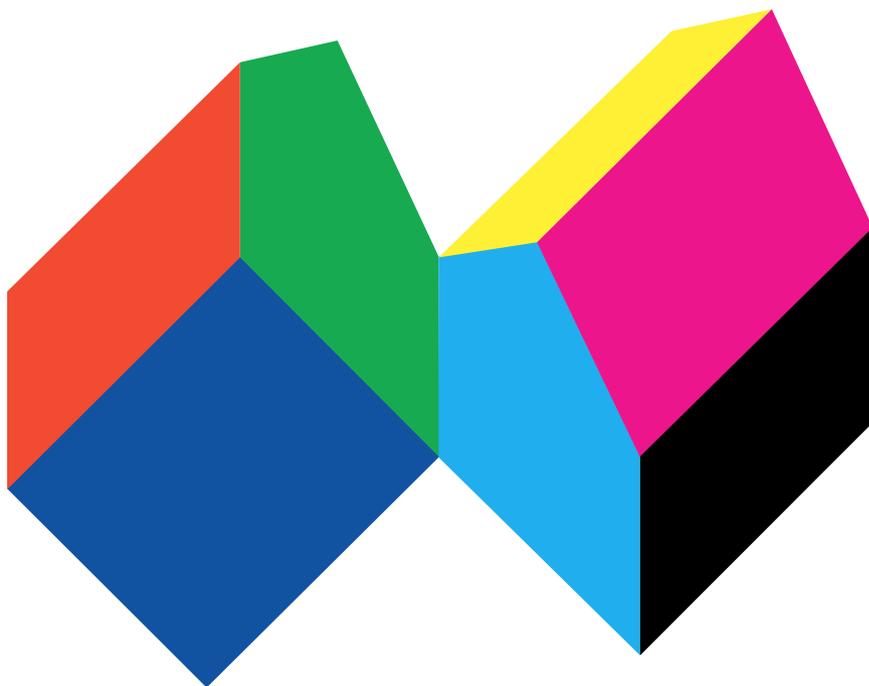
### Apoio Técnico

Diana Raquel de Carvalho e Barbosa

ISSN 2183-1270

Esta revista é uma produção

## Casa das Ciências



Recursos Educativos Digitais  
de professores para professores.

◀ Foto de capa  
Infrutescência de composta  
Rubim Silva



FUNDAÇÃO  
CALOUSTE  
GULBENKIAN

## Notícias

As notícias mais importantes do mundo das ciências.....	4
---	---

## Agenda

Exposições, palestras e formação. Conheça as opções disponíveis!.....	4
---	---

## Editorial

Ciência Elementar - <i>Professor José Ferreira Gomes</i> .....	5
--	---

## Opinião do trimestre

Prémio Nobel da Química 2013 - <i>Professor Pedro Alexandrino Fernandes</i> .....	6
---	---

## Artigos de ciência elementar

Atualize e consolide o seu saber em Ciência.....	9
--	---

### Biologia

Agricultura biológica.....	10
DNA.....	12
Fotossíntese.....	15
Imunidade.....	19
Microscópio ótico.....	22
Neurónio.....	24
Respiração.....	26
Sistemas de transporte nos animais.....	31

### Física

Centro de massa.....	38
Forças conservativas e energia potencial.....	40
Lei da gravitação universal.....	40
Leis da dinâmica de Newton.....	41
Momento de uma força.....	43
Movimento retilíneo uniforme.....	45
Potência elétrica e efeito de Joule.....	47

### Geologia

Estrutura interna da Terra.....	48
Paleomagnetismo.....	48
Sismologia.....	49

### Matemática

Circunferência.....	52
Desvio padrão amostral.....	53
Sondagem.....	55
Tabela de frequências.....	56
Tetraedro.....	58
Triângulo.....	59

### Química

Carbocatiões.....	62
Mistura.....	66
pH.....	67
Processo de Haber-Bosch.....	68
Processos físicos de separação.....	70
Raio atómico.....	71

## Sugestões de recursos educativos

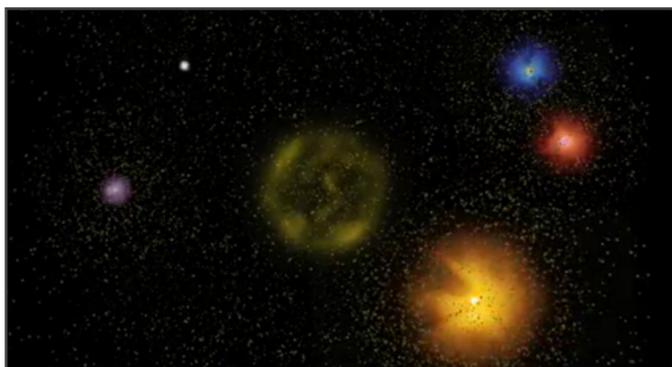
Torne as suas aulas ainda mais interativas.....	73
---	----

## Banco de imagens

Fotos e ilustrações nas suas apresentações.....	77
Biologia.....	78
Geologia.....	80
Astronomia, Física e Química.....	82

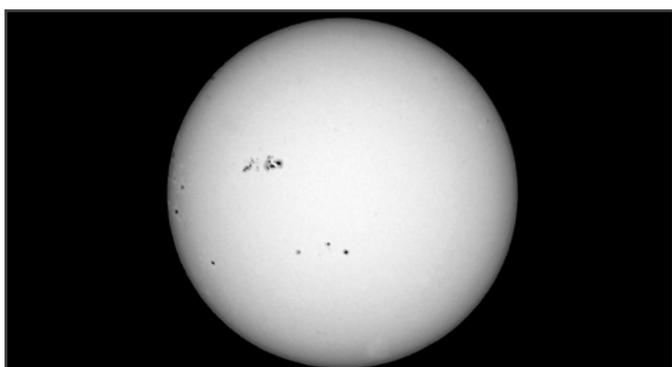
## Correio do leitor

Partilhe connosco as suas impressões a respeito da revista.....	83
---	----



## Nobel da Física para o bóson de Higgs

O Prémio Nobel da Física será este ano entregue a dois cientistas, François Englert e Peter Higgs, que há cerca de 50 anos previram a existência de uma partícula subatómica conhecida como o bóson de Higgs, e cuja existência foi recentemente provada pela equipa do CERN. Para saber mais sobre esta partícula acesse ao vídeo do portal da Casa das Ciências, com o nome '[Partículas fundamentais: o bóson de Higgs](#)'.

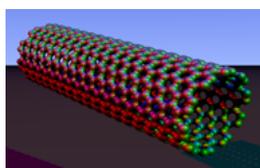


## Projeto Sun4All convida à participação de professores e alunos

O projeto Sun4All, da Universidade de Coimbra, procura envolver as escolas e a comunidade em geral na catalogação do espólio de mais de 30.000 imagens do Sol, obtidas ao longo de mais de 80 anos de observações. À disposição de professores e alunos encontra-se um conjunto de atividades que permitem o estudo da coleção de imagens do Sol e a introdução ao método científico e à investigação.

## Um novo olhar sobre nanotubos de carbono

Investigadores do Departamento de Energia dos Estados Unidos da América e da Universidade da Califórnia desenvolveram uma técnica capaz de identificar a estrutura individual de um nanotubo de carbono e de caracterizar as suas propriedades óticas e eletrónicas. Pela primeira vez é possível obter imagens do espectro individual de nanotubos de carbono, permitindo grandes avanços no seu estudo.



## Há vida no parque! - Briófitas (Musgos)

Fundação de Serralves

23 a 24 de novembro

Percursos pelo jardim de Serralves onde serão explorados os diversos recantos colonizados por briófitas.

## Histórias da Terra e da vida: do Bing Bang ao Homem

Reitoria da Universidade do Porto

23 de novembro às 15h00

*Um olhar sobre a Terra* por Frederico Sodré Borges

*Evolução da vida: dos estromatólitos às trilobites* por Helena Couto

30 de novembro às 15h00

*Evolução das plantas ao longo da história da Terra* por João Pais

*Evolução dos dinossauros e outros vertebrados* por Octávio Mateus

12 de dezembro às 21h30

*A origem das espécies* por António Amorim

*A origem do Homem do ponto de vista da Arqueologia* por João Pedro Ribeiro

## Era uma vez... Ciência para quem gosta de histórias

Pavilhão do Conhecimento - Lisboa

até agosto de 2014

Exposição interativa de ciência e tecnologia que explora fenómenos e conceitos das ciências naturais, como a Física, a Química, a Matemática, a Geologia e a Biologia, mas também das ciências sociais e de outras áreas do saber.

## Visitas à galeria de Zoologia

Museu da Ciência - Universidade de Coimbra

aos sábados, até 28 de dezembro

Exposição com milhares de animais à sua espera. Aves e borboletas com cores deslumbrantes e esqueletos de diferentes animais que certamente desconhece.

## Prémio Casa das Ciências 2014

31 de dezembro

Data final de submissão de materiais, fotografias, desenhos ou ilustrações para candidatura ao Prémio Casa das Ciências 2014.

Clique sobre cada um dos eventos para mais informações.

# Ciência Elementar

José Ferreira Gomes

A Revista de Ciência Elementar é um instrumento de partilha entre a comunidade de falantes de português do conhecimento rigoroso da ciência elementar que se espera poder ser dominada por todos os cidadãos. Ciência Elementar significa a apresentação de conceitos e de conhecimentos científicos bem estabilizados numa linguagem acessível à generalidade das pessoas. A Ciência busca a compreensão do mundo e esta compreensão é partilhada usando a linguagem comum. Esta linguagem vai sendo enriquecida ao longo da história dos grupos humanos à medida que as necessidades o exigem. Muito naturalmente, a comunidade científica desenvolveu uma linguagem própria à medida que sentiu a necessidade de trabalhar com conceitos novos e de precisar bem o significado e o alcance de termos comuns.



*“Esta revista sistematiza o conhecimento científico para benefício do não iniciado. Introduzirá os termos usados e revelará o conhecimento acumulado pela experiência das gerações passadas.”*

de e pratica as artes da pesca. Este processo normal em qualquer comunidade, pode ser levado a um ponto em que a linguagem se torna totalmente hermética. Isto pode ocorrer pela necessidade mas também pelo prazer e para a afirmação de independência do grupo social. Um não iniciado não pode participar na vida social daquele grupo e, mais importante, não pode ir à pesca no grupo sem que seja aceite para uma aprendizagem prévia. Pode ser naturalmente capaz de compreender todos os instrumentos e processos que veja os pescadores usar mas é incapaz de participar por falta da linguagem de interação. Algumas vezes, terá dificuldade em compreender plenamente o funcionamento e o alcance dos instrumentos e bem sabemos que terá extrema dificuldade em ir à pesca sozinho sem beneficiar da longa experiência do grupo. Não é diferente na ciência.

Uma comunidade de pescadores cria a sua linguagem para designar os seus instrumentos e processos e qualquer elemento externo precisa de uma introdução e esses termos específicos. A simples tradução não é possível porque um não iniciado nas artes da pesca nunca precisou de usar os termos e só se pode iniciar no seu uso à medida que aprende

Esta revista sistematiza o conhecimento científico para benefício do não iniciado. Introduzirá os termos usados e revelará o conhecimento acumulado pela experiência das gerações passadas. Reconhecido o domínio do inglês como língua franca da comunicação científica, faz-se o esforço simultâneo de introduzir os conceitos e de fixar os termos em português. É um esforço enciclopédico que só a participação de toda a comunidade permitirá levar por diante. Fica aberto à participação de todos. Também à crítica e à melhoria.

José Ferreira Gomes  
Editor-chefe

## Prémio Nobel da Química 2013

Pedro Alexandrino Fernandes

O prémio Nobel da Química de 2013 foi atribuído a três cientistas, Martin Karplus, Arieh Warshel e Micheal Levitt, a desenvolver investigação essencialmente (mas não exclusivamente) nos Estados Unidos.

Os três cientistas realizaram a sua investigação na área da química teórica e computacional, com ênfase na simulação computacional de proteínas e enzimas.

De acordo com a Academia Sueca, o fundamento do prémio foi “*The development of multiscale models for complex chemical systems*”.

O que é que esta frase quer dizer exatamente? O que são os modelos multiescala? O que são sistemas químicos complexos?

O problema fundamental que se deparava a estes cientistas era a simulação de reações químicas catalisadas por enzimas. As enzimas são os sistemas químicos complexos.

Mas o que têm de complexo as enzimas, do ponto de vista de simulação computacional?

A dificuldade em simular a catálise enzimática reside no facto de as enzimas serem moléculas de muito grande dimensão (geralmente com dezenas de milhares de átomos), possuindo um pequeno local (denominado o centro ativo) onde se dão reações químicas, sendo lá o substrato (o reagente) convertido no produto. O centro ativo e o substrato são compostos por umas meras dezenas/centenas de átomos, sendo que a restante parte da enzima (milhares/dezenas de milhar de átomos) serve para criar interações eletrostáticas que catalisam a reação química no centro ativo.

*“O problema fundamental que se deparava a estes cientistas era a simulação de reações químicas catalisadas por enzimas.”*

interações eletrostáticas do remanescente da enzima não podemos recorrer à mesma mecânica quântica, uma vez que a sua vasta dimensão gera cálculos quase irresolúveis.

A solução encontrada para tratar o remanescente da enzima foi regredir a uma descrição mais simples, à escala do átomo, usando mecânica clássica, para esta vasta região. Felizmente a mecânica clássica consegue prever com sucesso essas mesmas interações eletrostáticas.



Em resumo:

i) Precisamos da mecânica quântica para descrever qualquer fenómeno que implique rearranjos electrónicos significativos (tais como as reações químicas, que envolvem redistribuição dos eletrões de valência), mas a mecânica quântica gera cálculos tão complexos que nem o mais potente computador existente consegue resolver com exatidão para sistemas com mais do que umas centenas de átomos.

ii) Precisamos da mecânica clássica para descrever sistemas de grande dimensão, que podem conter até ao milhão de átomos. A mecânica clássica descreve-os corretamente desde que não tenham lugar rearranjos electrónicos significativos. De facto, na mecânica clássica os eletrões e os núcleos não são individualizados, são tratados em conjunto num átomo indivisível. As interações entre átomos distantes de uma mesma molécula, ou entre moléculas vizinhas, são bem descritos pela mecânica clássica.

Ficamos assim com um sistema multiescala, um sistema com duas escalas neste caso. O centro ativo e substrato, pequenos, são descritos por mecânica quântica e o remanescente da enzima é descrito por mecânica clássica. A figura 1 ilustra esta situação.

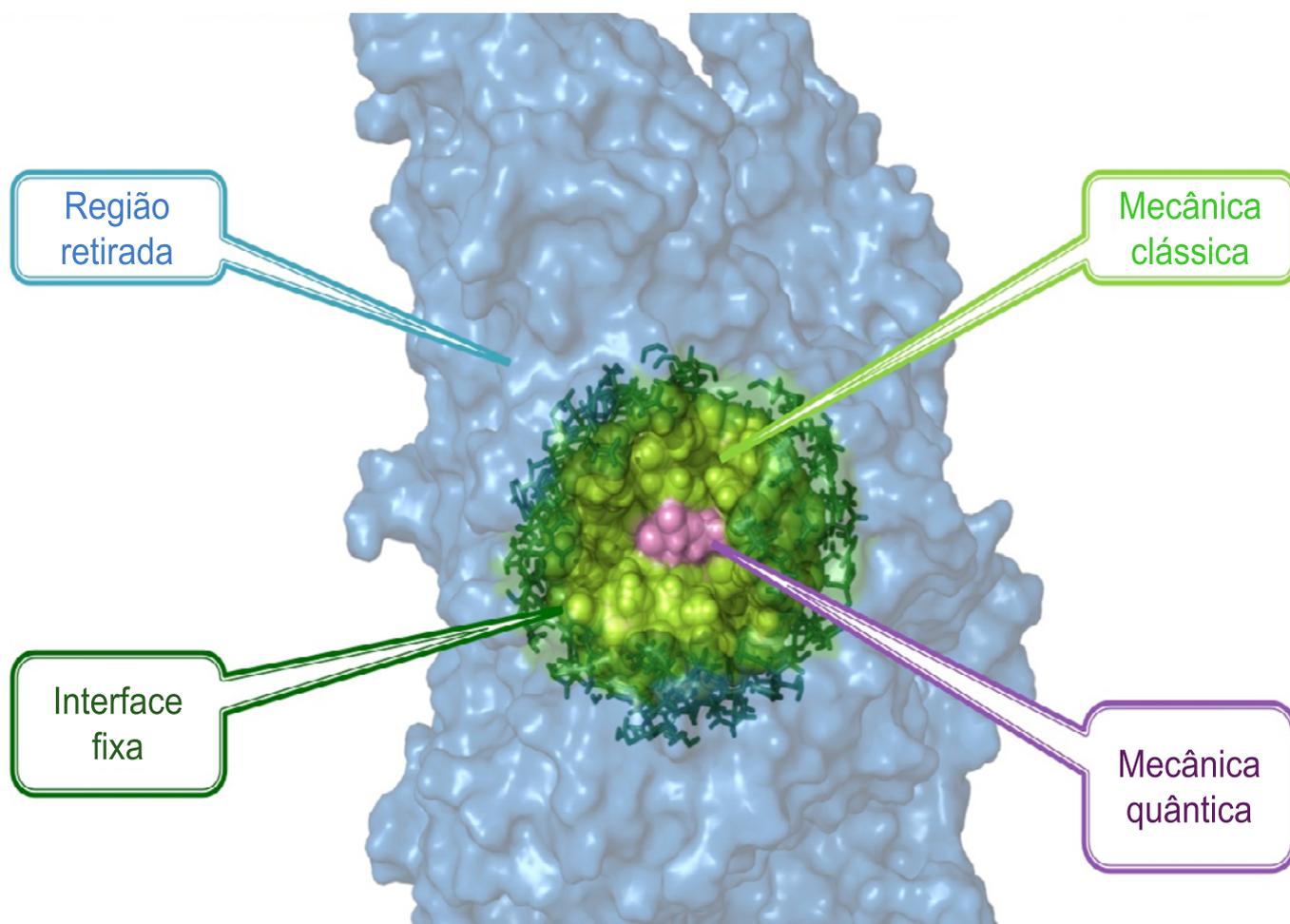


Figura 1 - A figura mostra a modelação multiescala da enzima beta-galactosidase, que converte a lactose em glucose e galactose. A enzima é tão grande (com muitas dezenas de milhares de átomos) que apenas um corte esférico é simulado. A região a azul foi retirada da simulação. A maior parte da enzima simulada é representada por mecânica clássica (a verde) e consiste em cerca de três mil átomos. A região a rosa consiste no substrato e no centro ativo, num total de cerca de 50 átomos, e é simulada através de mecânica quântica. A região de interface consiste num conjunto de resíduos cujas posições no espaço foram fixadas para evitar a desnaturação da enzima por consequência de deleção da região a azul.

Quando se tem um sistema multiescala, o maior problema é a ligação entre as duas escalas. É como fazer a região descrita por mecânica quântica “sentir” e interatuar com a região descrita por mecânica clássica, e vice versa. Esse trabalho teve início no final dos anos 70, levado a cabo pelos laureados, e ainda é uma área de intensa investigação, com vários métodos disponíveis para o mesmo fim, cada um com as suas vantagens e desvantagens. Os métodos desenvolvidos pelos laureados foram os primeiros, os pioneiros, que mostraram que era possível fragmentar uma grande molécula entre duas descrições físicas, clássica e quântica, e fazê-las interatuar de forma exata, que reproduz com precisão a realidade. Por isso lhes foi atribuído o prémio Nobel.

*“Em Portugal existem diversos grupos de investigação a trabalhar nesta área (...)”*

ca em toda a sua extensão, mas cujo fenómeno em estudo esteja essencialmente restrito a uma subregião pequena da mesma molécula.

Em Portugal existem diversos grupos de investigação a trabalhar nesta área, dos quais o grupo de investigação do autor deste artigo é apenas um exemplo.

*“Ficamos assim com um sistema multiescala, um sistema com duas escalas neste caso. O centro ativo e substrato, pequenos, são descritos por mecânica quântica e o remanescente da enzima é descrito por mecânica clássica.”*

O seu trabalho tem aplicação em muitos mais sistemas químicos, para além das enzimas, para os quais foi desenvolvido. De facto aplica-se a qualquer sistema químico que contenha uma molécula de grande dimensão, impossível de simular por mecânica quântica

*Pedro Alexandrino Fernandes*  
Departamento de Química e Bioquímica  
Faculdade de Ciências da Universidade do Porto



## Atualize e consolide o seu saber em Ciência

---

A Revista de Ciência Elementar, publica periodicamente um conjunto de artigos científicos que se enquadram na lógica da Casa das Ciências – Portal Gulbenkian para Professores.

Dirigida em primeira instância a alunos e professores do ensino básico e secundário, existe a preocupação, a exemplo dos outros componentes do portal, de coligir os termos que fazem parte do glossário básico dos programas das áreas científicas. É um acervo que, numa primeira fase deverá em termos acumulados responder à necessidade da clarificação de conceitos dos docentes, sendo esse o objetivo inicial que nos propomos para os primeiros números. A Revista de Ciência Elementar tem acesso livre e todos os artigos publicados são sujeitos a uma avaliação prévia por pares sob a responsabilidade de um editor setorial.

A Revista de Ciência Elementar pretende servir todos os interessados em ciência que usem a língua portuguesa e conta com a colaboração de investigadores, professores e estudantes das nossas Escolas e Universidades para crescer, alargando o seu âmbito a temas mais avançados, sendo desejável que possa abarcar, a prazo, o essencial da ciência elementar que possa servir os estudantes dos primeiros anos do ensino superior. Convidam-se todos os especialistas numa das áreas científicas a registarem-se como colaboradores da Casa e a produzirem os seus artigos.

Todos os artigos alguma vez publicados na Revista de Ciência Elementar ficarão permanentemente disponíveis através da referência completa que identifica cada um, com base no respetivo ISSN e ficam acumulados na base de dados on-line da Revista, sendo passíveis de várias metodologias de pesquisa em [rce.casadasciencias.org](http://rce.casadasciencias.org).



Horta em Moimenta da Beira, com cenouras acabadas de arrancar em primeiro plano. (Fotografia de Alexandra Nobre)

## Agricultura biológica

Segundo a Organização dos Alimentos e Agricultura das Nações Unidas (FAO/WHO, 1999) «A *Agricultura Biológica é um sistema de produção holístico, que promove e melhora a saúde do ecossistema agrícola, ao fomentar a biodiversidade, os ciclos biológicos e a atividade biológica do solo. Privilegia o uso de boas práticas de gestão da exploração agrícola, em lugar do recurso a fatores de produção externos, tendo em conta que os sistemas de produção devem ser adaptados às condições regionais. Isto é conseguido, sempre que possível, através do uso de métodos culturais, biológicos e mecânicos em detrimento da utilização de materiais sintéticos.*»

**Agricultura Biológica** é um modo de produção agrícola, sem recurso a produtos químicos sintéticos (tais como fertilizantes e pesticidas) nem a organismos geneticamente modificados (OGM), respeitando o meio ambiente e a biodiversidade.

A sua prática tem por base uma série de regras e obriga a que as explorações agrícolas que pretendam produzir produtos biológicos tenham que passar, em média, por um período de conversão de 2 anos antes da sementeira das culturas anuais ou de 3 anos antes da colheita de frutas e de outras culturas perenes.

Em vez do recurso aos produtos químicos sintéticos para melhoramento e manutenção do solo, deverão ser utilizadas técnicas de:

- culturas apropriadas e de sistemas de rotação adequados;
- incorporação, nos solos, de matérias orgânicas adequadas, nomeadamente produtos resultantes da compostagem de produtos orgânicos locais.

Em alternativa aos pesticidas e aos parasitas, o controlo de doenças e das infestantes deverá ser através da:

- escolha de espécies e variedades adequadas;
- programas de rotação de culturas;
- processos mecânicos de cultura;
- proteção dos inimigos naturais dos parasitas das plantas;
- combate às infestantes por meio do fogo;
- incorporação, nos solos, de matérias orgânicas adequadas.

Nas explorações dedicadas à criação de animais, deve ser dada preferência a raças autóctones ou a raças particularmente bem adaptadas às condições locais.

Os animais não nascidos nas explorações que praticam o modo de produção biológico, devem ser sujeitos a períodos de conversão específicos para cada raça.

Os animais devem ser mantidos em liberdade e em condições adequadas, sendo proibido conservar os animais amarrados. O número de indivíduos por su-

perície deve ser limitado garantindo uma gestão integrada da produção animal e vegetal na unidade de produção, minimizando-se as formas de poluição, do solo, das águas superficiais e dos lençóis freáticos, entre outras.

Também deve ser política das explorações evitar problemas de erosão e o desgaste excessivo da vegetação e permitir o espalhamento do estrume animal, a fim de evitar prejuízos ambientais.

A Agricultura Biológica é conhecida também por “agricultura orgânica” (no Brasil e em países de língua inglesa), “agricultura ecológica” (em Espanha e na Dinamarca) ou “agricultura natural” (no Japão).

A Agricultura Biológica assenta em três pilares fundamentais:

- **Ecológica**

- » Respeitando o mais possível o funcionamento do ecossistema agrário
- » Recorrendo a práticas como rotações culturais, adubos verdes, consociações
- » Luta biológica contra pragas e doenças que fomentem o seu equilíbrio e biodiversidade
- » Interação dinâmica entre o solo, as plantas, os animais e os humanos, considerados como uma cadeia indissociável, em que cada elo afeta os restantes.

- **Sustentável**

- » Manter e melhorar a fertilidade do solo a longo prazo, preservando os recursos naturais do solo, água e ar e minimizar todas as formas de poluição que possam resultar de práticas agrícolas;
- » Reciclar restos de origem vegetal ou animal de forma a devolver nutrientes à terra, reduzindo o recurso a materiais não-renováveis;
- » Utilizar recursos renováveis em sistemas agríco-

las organizados a nível local, excluindo a quase totalidade dos produtos químicos de síntese como adubos, pesticidas, reguladores de crescimento e aditivos alimentares para animais.

- **Socialmente responsável**

- » Une os agricultores e os consumidores na responsabilidade de:
- » Produzir alimentos e fibras de forma ambiental, social e economicamente sã e sustentável;
- » Preservar a biodiversidade e os ecossistemas naturais;
- » Permitir aos agricultores uma melhor valorização das suas produções e uma dignificação da sua profissão, bem como a possibilidade de permanecerem nas suas comunidades;
- » Garantir aos consumidores a possibilidade de escolherem consumir alimentos de produção biológica, sem resíduos de pesticidas de síntese e, conseqüentemente, melhores para a saúde humana e para o ambiente.

Sem prejuízo do valor destes pilares, a agricultura biológica implica, contudo, uma menor produtividade por unidade de área, levando a custos de produção e preços ao consumidor mais elevados. Alguns dos seus critérios de “pureza biológica” são também questionáveis em termos da sua razoabilidade científica. Igualmente, a produção destes alimentos, por vezes, é bastante longe (milhares de quilómetros) do local de consumo, sendo o seu transporte de longa distância um contra-senso para o lado ecológico a que se propõe.

Em muitos sistemas ensaiam-se agora movimentos de abertura que possam criar zonas de fusão entre práticas “biológicas” e de agricultura convencional/industrial, e que possam trazer a fusão de benefícios das práticas individuais.

## Referências

1. Bioqual, IDRHa – Instituto de Desenvolvimento Rural e Hidráulica e AGROBIO.
2. <http://cjigraciosa.no.sapo.pt/>
3. [http://ec.europa.eu/agriculture/organic/organic-farming/what-organic\\_pt](http://ec.europa.eu/agriculture/organic/organic-farming/what-organic_pt)
4. <http://www.agrobio.pt/>
5. [http://pt.wikipedia.org/wiki/Agricultura\\_org%C3%A2nica](http://pt.wikipedia.org/wiki/Agricultura_org%C3%A2nica)

### Autor

Catarina Moreira

Doutoramento em Biologia pela Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

### Editor

José Feijó

Departamento de Biologia Vegetal da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

Referência: Moreira, C. (2013), Revista de Ciência Elementar, 1(01):0001

## DNA

DNA, ácido desoxirribonucleico (do inglês *Deoxyribo-Nucleic Acid*), é a molécula onde reside toda a informação genética, sob a forma de um código sequencial de quatro bases azotadas (A,T,C,G).

### Um pouco de história

Em 1868 o bioquímico suíço Friedrich Miescher (1844-1895) descobriu compostos desconhecidos ricos em fósforo, carbono, hidrogénio, azoto e oxigénio, em núcleos isolados de células de pus, que designou por **nucleína**.

Em 1928, o médico inglês Frederick Griffith deparou-se com alguns resultados interessantes quando estudava uma bactéria patogénica, os pneumococos, *Streptococcus pneumoniae*. Esta bactéria causadora de pneumonia nos humanos é geralmente letal nos ratinhos. Algumas estirpes de *S. pneumoniae* produzem uma

cápsula de polissacarídeos, produzindo colónias com aspeto liso (estirpe S, a designação S vem do inglês *smooth*, liso) quando cultivadas em laboratório em caixas de Petri; enquanto que as outras estirpes que não produzem cápsula formam colónias com aspeto rugoso (estirpe R, a designação R vem do inglês *rough*, rugoso).

Griffith verificou que as estirpes S eram virulentas, e quando inoculadas em ratinhos provocavam a sua morte, enquanto que as estirpes R não eram patogénicas. Numa outra etapa das suas experiências, Griffith sujeitou bactérias de estirpe S ao calor, provocando a sua morte, inoculou-as em ratinhos e verificou que os animais não morriam. Inoculou também uma mistura de bactérias estirpe S mortas por ação do calor e bactérias vivas de estirpe R e neste caso os ratinhos contraíram pneumonia e morreram (fig.1).

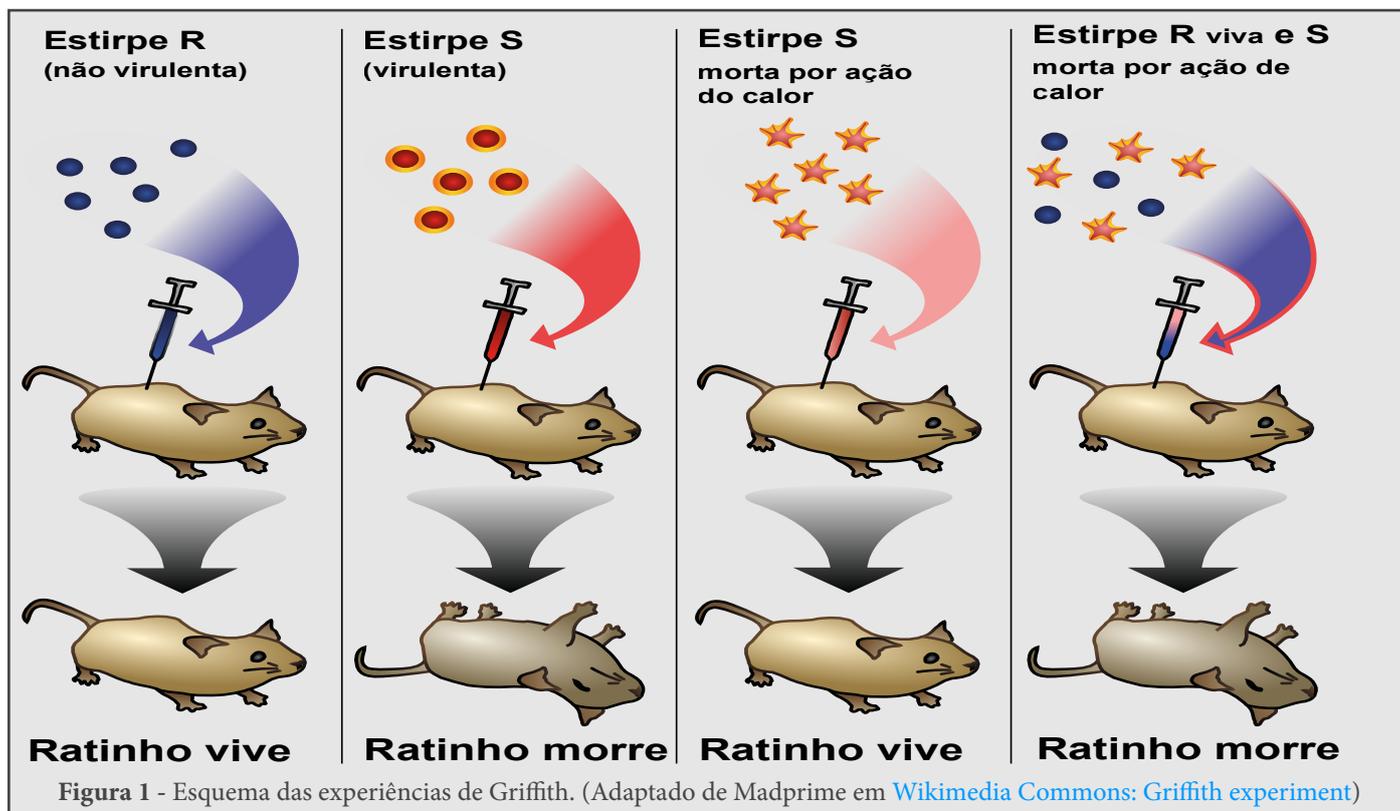


Figura 1 - Esquema das experiências de Griffith. (Adaptado de Madprime em [Wikimedia Commons: Griffith experiment](#))

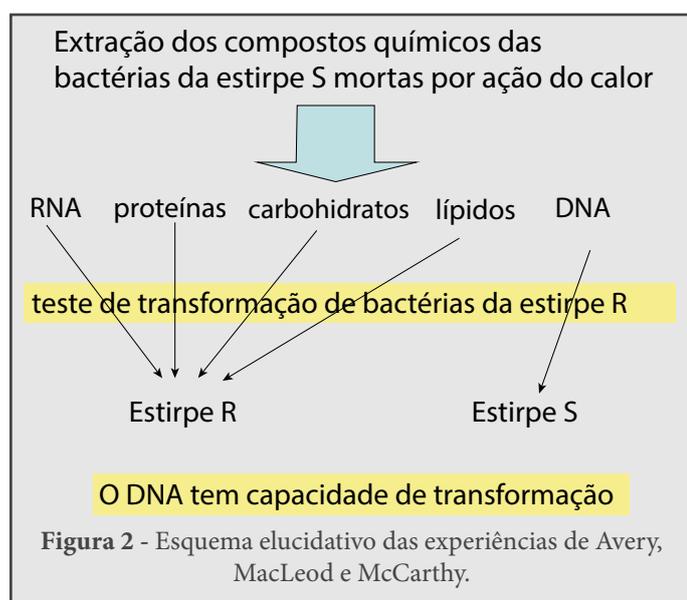
Ao analisar o sangue dos ratos mortos conseguiu isolar bactérias vivas da estirpe S. Este facto sugeria que as bactérias da estirpe S conseguiam transmitir a sua virulência às bactérias vivas de estirpe R (não virulentas). Embora não conseguindo explicar este fenómeno, uma hipótese seria que de alguma forma

a estirpe S teria a capacidade de transmitir a informação de virulência à estirpe R. Esta transmissão de informação por uma substância química ficou conhecida como princípio transformante.

O **princípio transformante** foi explicado com base nas experiências de Oswald Avery, Colin MacLeod e

Maclyn McCarthy, em 1944. Avery e os seus colaboradores extraíram os vários compostos químicos das bactérias de estirpe S mortas pelo calor e testaram a sua capacidade transformante isoladamente em bactérias de estirpe R (fig.2). Estas experiências mostraram que os polissacarídeos, os lípidos, o RNA e as proteínas isoladamente não transformavam as estirpes R, apenas o DNA tinha essa capacidade. Embora a cápsula de polissacarídeos estivesse ligada à virulência das estirpes, era apenas a expressão fenotípica do DNA. O DNA era então o elemento transformante responsável pela transmissão da informação genética.

A comunidade científica não estava totalmente convencida da relevância do DNA dado que a estrutura da molécula de DNA com a de proteínas era menos complexa comparada com a das proteínas.



As experiências de Alfred Hershey e Martha Chase, publicadas em 1952, permitiram esclarecer estas dúvidas. Hershey e Chase usaram um vírus que infeta as bactérias (bacteriófago) partindo do pressuposto de que a infecção pelo fago envolveria a introdução de informação viral dentro da bactéria. A estrutura molecular do vírus é relativamente simples, sendo maioritariamente de origem proteica com DNA dentro da cápsula proteica. Investigadores sabiam também que as proteínas não possuem fósforo (P) na sua constituição mas que este elemento químico integra a estrutura do DNA, e que o enxofre (S) está presente nas proteínas mas não no DNA.

Os fagos foram marcados com isótopos radioativos  $^{32}\text{P}$  e  $^{35}\text{S}$ , separadamente e usados para infetar *E. coli*. Após centrifugação numa batedeira de cozinha (esta

experiência ficou conhecida não só pelos resultados mas pela utilização de material “caseiro” como a batedeira de uso doméstico, uma vez que o laboratório não tinha equipamento mais sofisticado), conseguiram separar as bactérias infetadas – que sedimentaram no fundo do recipiente – do sobrenadante com os restos virais (cápsulas dos fagos vazias). Quando mediram a radioatividade das duas frações notaram que o isótopo  $^{35}\text{S}$  não se encontrava presente nas bactérias ao contrário do isótopo  $^{32}\text{P}$ , isto é, tinha havido uma passagem do DNA do fago para o interior das células agora infetadas. O DNA viral dentro da célula passa a ser replicado juntamente com o DNA da célula de geração em geração. Estas experiências demonstram que o DNA é o material hereditário.

No início da década de 50 do século XX, vários trabalhos foram produzidos revelando mais informação sobre a composição e estrutura da molécula de DNA. Em 1950 Rosalind Franklin utilizando técnicas de difração de raios X, bombardeou amostras purificadas de DNA, o que permitiu concluir que a molécula deveria ter uma estrutura helicoidal (fig.3).

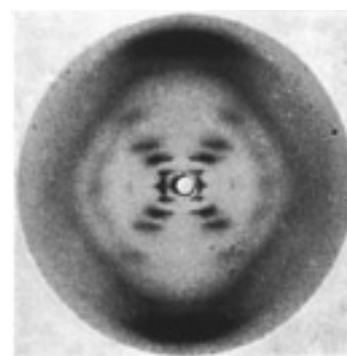


Figura 3 - Imagem de DNA utilizando a técnica de difração de raios X (do original de Franklin 1950)

Na mesma altura, Erwin Chargaff e os seus colaboradores analisaram amostras de DNA de diferentes organismos, conseguindo isolar e quantificar as bases azotadas dessas amostras. Dessas experiências concluíram o que ficou conhecido como as Regras de Chargaff: - o DNA de espécies diferentes apresenta quantidades diferentes de cada uma das quatro bases azotadas; - a quantidade de timina é semelhante à de adenina e a de guanina semelhante à de citosina, sendo que a quantidade de bases púricas (guanina e adenina) é semelhante à das bases pirimídicas (citosina e timina).  $A=T$  e  $C=G$ , pelo que:  $(A+C)/(T+G)=1$  Com base nos resultados de Chargaff e Franklin, em 1953, James Watson e Francis Crick, publicaram um

artigo na Nature, propondo um modelo para a estrutura da molécula de DNA – a **dupla hélice** (ver foto):

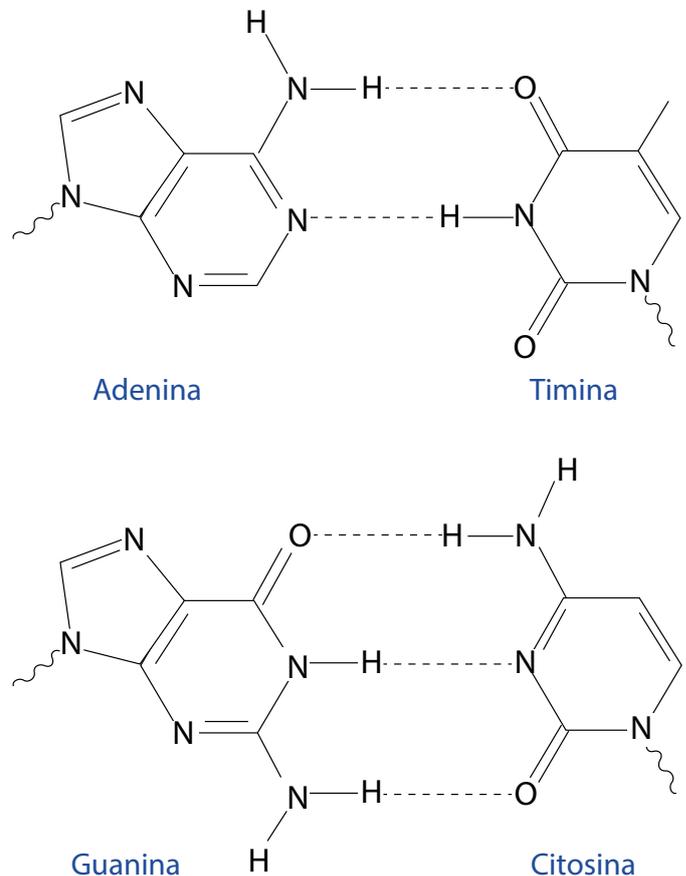
- duas cadeias polinucleotídicas enroladas em hélice;
- ao longo de cada cadeia os nucleótidos estão ligados por ligações covalentes, do tipo fosfodiéster, estabelecidas entre o grupo fosfato de um nucleótido e a desoxirribose do nucleótido seguinte;
- cada cadeia possui um grupo fosfato livre numa das extremidades, denominada extremidade 5', e um grupo hidroxilo (OH) livre na outra extremidade, extremidade 3'. A extremidade 5' de uma cadeia está emparelhada com a extremidade 3' da outra cadeia, sendo as cadeias antiparalelas;
- as duas cadeias estão unidas pelas bases pirimídicas e púricas. As cadeias estão unidas através de ligações por pontes de hidrogénio entre os pares de bases azotadas, uma purina com uma pirimidina. A adenina de uma cadeia liga-se à timina através de duas pontes de hidrogénio e a citosina liga-se à guanina da cadeia complementar através de três pontes de hidrogénio – emparelhamento das bases complementares;

Por este trabalho, os dois investigadores foram galardoados com o Prémio Nobel de Fisiologia e Medicina em 1962.

Resumo:

- O DNA é um polímero constituído por monómeros denominados nucleótidos.
- Os nucleótidos são constituídos por um açúcar – uma pentose – ligado a um carbono 5, a um ácido fosfórico e pelo carbono 1 a uma base azotada.
- A pentose do DNA é uma desoxirribose (o que justifica o nome atribuído ao ácido: ácido desoxirribonucleico).
- As bases azotadas são agrupadas em dois grupos: as bases púricas, de duplo anel, e as bases pirimídicas, de anel simples.
- As purinas são a adenina e a guanina; as pirimidinas são a timina e a citosina.

- O emparelhamento das bases complementares une a adenina com a timina e a guanina com a citosina.
- As cadeias têm orientação oposta, são antiparalelas.



**Materiais relacionados disponíveis na Casa das Ciências:**

1. [A Nova Genética](#), conheça e compreenda as mais interessantes novidades da genética
2. [ADN](#), vamos observar o ADN
3. [O DNA](#), Como é o nosso DNA?
4. [Cromossomas](#), o que são os cromossomas?
5. [Laboratório Virtual de Biotecnologia](#), visite este Laboratório e “trabalhe” nele ...
6. [Extração do DNA](#), veja como obter o DNA. Parece simples (!)
7. [Código do Corpo](#), alguns processos relativos ao ADN

## Autor

Catarina Moreira

Doutoramento em Biologia pela Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

## Editor

José Feijó

Departamento de Biologia Vegetal da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

Referência: Moreira, C. (2013), Revista de Ciência Elementar, 1(01):0002

# Fotossíntese

É um processo de conversão de energia luminosa em energia química. Os seres fotoautotróficos utilizam a energia luminosa para produzir compostos orgânicos, como a glicose, usando como fonte de carbono o dióxido de carbono e como fonte de elétrons/hidrogénio a água. A fotossíntese pode ser expressa globalmente pela seguinte equação:



A produção de oxigénio pelos organismos fotossintéticos é extremamente importante como fonte de oxigénio atmosférico utilizado pela maioria dos organismos – incluindo os fotossintéticos – para completarem as suas cadeias respiratórias e obterem daí energia.

A fotossíntese poderá ser compartimentada em duas fases: uma que depende diretamente da luz – **fase fotoquímica** e outra que não depende – **fase química**. A primeira produz ATP e um transportador de elétrons reduzido (NADPH + H<sup>+</sup>), a segunda usa o ATP, NADPH + H<sup>+</sup> e CO<sub>2</sub> para produzir açúcar.

Na **fase fotoquímica**, a energia luminosa é utilizada para produzir ATP a partir de ADP + P<sub>i</sub>, através de um conjunto de reações mediada por grupos de moléculas – os fotossistemas – num ciclo chamado fotofosforilação. Existem dois tipos de fotofosforilação: uma não cíclica que produz NADPH e ATP e uma cíclica que produz apenas ATP.

Na **fase química**, que não depende diretamente da luz, os produtos da fotofosforilação não cíclica – NADPH e ATP – e o CO<sub>2</sub> são usados para produzir glicose, no denominado ciclo de Calvin-Benson. Apesar de se denominar também fase escura, não é totalmente independente da luz, uma vez que para a enzima responsável pela fixação do CO<sub>2</sub>, a RuBisCo, requer luz para ser reduzida e estar no seu estado ativo.

Ambas as fases da fotossíntese decorrem no cloroplasto, mas em locais diferentes deste organelo.

## Fase dependente da luz

### 1. fotofosforilação não-cíclica

Em termos evolutivos o aparecimento da fotofosforilação não cíclica foi extremamente importante, dado que durante o processo os seres fotossintéticos usam

energia luminosa para produzir ATP, NADPH + H<sup>+</sup> e libertar O<sub>2</sub> o que foi fundamental para o aparecimento/desenvolvimento de seres aeróbios e para a conquista do ambiente terrestre. Durante esta fase ocorrem reações de oxirredução: as moléculas de água são oxidadas e os elétrons libertados vão repor o défice de elétrons das moléculas de clorofila excitadas pela luz. Os elétrons libertados pelas clorofilas pela ação da luz são transferidos em reações em cascata através de agentes oxidantes até ao NADP<sup>+</sup> que é reduzido para NADPH + H<sup>+</sup>. Estas reações de oxirredução espontâneas libertam energia – **exergónicas** – que é utilizada na fosforilação do ADP formando ATP.

São necessários dois tipos de moléculas de clorofila distintos associados a dois fotossistemas diferentes, que consistem em agrupamentos de moléculas de clorofila e pigmentos acessórios.

- **fotossistema I** – contém clorofila *a* P700 (este valor corresponde ao comprimento de onda – em nanómetros – da luz absorvida pela molécula de clorofila *a* e é responsável pela redução do NADPH + H<sup>+</sup>).
- **fotossistema II** – o centro reativo do fotossistema II contém clorofila *a* do tipo P680 – significando que para excitar as suas moléculas de clorofila são necessários fotões mais energéticos do que para o fotossistema I, e utiliza a luz para oxidar as moléculas de água, produzindo elétrons, prótons (H<sup>+</sup>) e oxigénio (O<sub>2</sub>). Os elétrons da água passam por uma cascata de transportadores redox localizados na membrana dos tilacóides do cloroplasto. Parte da energia libertada ao longo desta cascata vai ser aproveitada para a fosforilação de ADP + P<sub>i</sub> em ATP. O funcionamento destes dois fotossistemas requer um absorção contínua de luz, que excita as moléculas da clorofila *a* que libertam elétrons formando um redutor e um oxidante necessários para que as reações ocorram.

O fotossistema II (P680) absorve fotões, que excitam as moléculas de clorofila libertando elétrons para um agente oxidante (feofitina I), e a clorofila P680 fica oxidada (P680<sup>+</sup>). Os elétrons resultantes da oxidação da água passam para a P680<sup>+</sup>, reduzindo-a à sua for-

ma de P680 novamente e permitindo a continuação da absorção de fotões. Os eletrões resultantes da oxidação de P680 são transportados através de uma cascata de reações de oxirredução que produzem energia que será utilizada para formar ATP.

No fotossistema I (P700) a absorção de fotões causa a libertação de eletrões que reduzem a ferredoxina ficando na sua forma oxidada de P700<sup>+</sup>. A clorofila P700 é reduzida pelos eletrões libertados nas reações de oxirredução do fotossistema II. Os eletrões do fotossistema I serão necessários no final da fotofosforilação não cíclica em conjunto com protões para a redução da molécula de NADP<sup>+</sup> a NADPH + H<sup>+</sup>.

## 2. Fotofosforilação cíclica

A fotofosforilação responsável por apenas formar ATP é cíclica porque o eletrão libertado pela molécula de clorofila fotoexcitada regressará à mesma molécula de clorofila no final das reações. A água que fornece eletrões às clorofilas oxidadas no sistema não cíclico, não participa nestas reações, logo não há produção de oxigénio. Antes do início da fotofosforilação, a clorofila P700, o centro de reação da clorofila do fotossistema I, está no seu estado fundamental (não excitado). Quando absorve um fotão e oxida, a sua forma oxidada reage com a ferredoxina reduzindo-a. Esta reação é espontânea e exergónica (liberta energia). A ferredoxina reduzida por sua vez reduz a plastoquinona (molécula pertencente à cadeia de oxirredução que liga o fotossistema I e II), e o eletrão libertado passa para o complexo citocrómico e é transportado ao longo da cadeia de eletrões até se completar o ciclo e regressar à clorofila P700 inicial. A energia libertada durante estas reações será utilizada na fosforilação do ADP em ATP.

### Formação de ATP

Nos cloroplastos, assim como nas mitocôndrias, os eletrões são transportados ao longo de cascatas de transportadores através de reações de oxirredução libertando energia que é utilizada no transporte de protões através da membrana. No cloroplasto os transportadores de eletrões encontram-se na membrana dos tilacóides, promovendo o transporte de protões para o interior do tilacóide, cujo pH é mais ácido do que no exterior.

A diferença de pH entre o exterior e o lúmen do tilacóide é resultado do gradiente de protões. Os protões presentes no lúmen têm três origens: a fotólise da

água que ocorre no fotossistema II e liberta oxigénio, protões e eletrões; protões provenientes da transferência de eletrões do fotossistema II para a plastoquinona na fotofosforilação não cíclica consome dois protões do estroma que são depois libertados no lúmen quando a plastoquinona é oxidada; e por último, a redução da plastoquinona pela ferredoxina durante a fotofosforilação cíclica promove a transferência de protões do estroma para o lúmen. Também responsável pelo gradiente protónico é a redução do NADP<sup>+</sup> para NADPH pela NADP reductase.

A diferença de pH entre interior e exterior do tilacóide promove o transporte passivo por difusão simples dos protões de volta ao exterior do tilacóide, através de canais de proteínas membranares, as sintetases de ATP. Assim, o movimento dos protões através das sintetases de ATP permite usar a energia da cadeia transportadora de eletrões para formar ATP a partir de ADP + P<sub>i</sub>.

### Fase independente da luz

A esta segunda fase da fotossíntese corresponde o Ciclo de Calvin-Benson onde ocorre fixação de CO<sub>2</sub> com formação de um primeiro composto orgânico com 3 carbonos – denominando-se as plantas com este metabolismo plantas C3 – e como composto final a glicose. Estas reações ocorrem no estroma do cloroplasto onde se encontram a maior parte das enzimas. O CO<sub>2</sub> captado do meio combina-se com uma pentose, a ribulose difosfato ou RuDP (a RuDP é uma molécula orgânica com cinco carbonos - 5C), originando um composto intermédio instável de seis carbonos, que rapidamente forma duas moléculas com três carbonos – ácido fosfoglicérico ou PGA (o PGA possui 3 carbono, 3C e 2 fosfato, 2P). Estas reações de fixação de CO<sub>2</sub> são catalisadas pela enzima ribulose difosfato carboxilase-oxidase (RuBisCo). As moléculas de PGA são fosforiladas pelo ATP e posteriormente reduzidas pelo NADPH proveniente da fase fotodependente, formando o aldeído fosfoglicérico (PGAL, com 3C e 1P). As reações seguintes do ciclo têm como objetivo produzir mais RuDP e moléculas orgânicas mais complexas, como a glicose. Por cada 12 moléculas de PGAL formadas, 10 serão utilizadas para regenerar RuDP e as duas restantes para sintetizar compostos orgânicos mais complexos (glicose e outros glícidios). O PGAL pode também ser convertido noutros compostos orgânicos como lípidos (glicerol e ácidos gordos) ou prótidos (aminoácidos).

Equação global da reação da fase independente da luz:



Os produtos resultantes do ciclo de Calvin-Benson são fundamentais para a dinâmica da biosfera. Muita da energia armazenada nos compostos orgânicos produzidos é utilizada pelas próprias plantas através de processos metabólicos como a glicólise e a respiração celular. E pelos animais e outros consumidores através da ingestão dos organismos fotossintéticos.

Como referido anteriormente, embora se denomine fase escura à fase em que decorre o ciclo de Calvin-Benson, a luz é crucial uma vez que a principal enzima responsável pelo processo, a RuBisCo, é foto-dependente. As suas propriedades são muito semelhantes em todos os organismos fotossintéticos, desde as bactérias às angiospérmicas (plantas com flor), mas algumas dessas propriedades são limitativas da sua atividade. Para ultrapassar estas limitações os organismos desenvolveram formas alternativas: a fotorespiração onde o substrato da RuBisCo é o oxigénio e não o dióxido de carbono, e mecanismos e anatomias diferentes de compensação.

## 1. Fotorespiração

A enzima RuBisCo, tal como o próprio nome indica – ribulose difosfato carboxilase-oxidase, tem como substratos o  $\text{CO}_2$  e o  $\text{O}_2$ . Durante o ciclo de Calvin-Benson na fotossíntese a RuBisCo catalisa a reação entre o  $\text{CO}_2$  e o RUDP, enquanto que na fotorespiração o substrato é o  $\text{O}_2$  numa reação que também é dependente da luz.

O funcionamento da RuBisCo como oxigenase é favorecido a altas temperaturas (em média temperaturas superiores a  $28^\circ\text{C}$ ), quando os níveis de  $\text{CO}_2$  são baixos ou os níveis de  $\text{O}_2$  elevados. A primeira reação entre a RuDP e  $\text{O}_2$  resulta em dois compostos: o fosfoglicolato e o fosfoglicerato, ambos com 2 carbonos. O fosfoglicerato reentra no ciclo de Calvin-Benson e é convertido em RUDP. O fosfoglicolato segue outro percurso. Primeiro é transportado para o exterior do cloroplasto para os peroxissomas, onde é oxidado pelo  $\text{O}_2$ , resultando em glicoxilato que é transportado para as mitocôndrias. Nas mitocôndrias sofre algumas transformações com libertação de  $\text{CO}_2$ , sendo convertido em serina e posteriormente em glicerato já novamente no interior dos peroxissomas. Na forma

de glicerato pode reentrar no cloroplasto e concluir o ciclo de Calvin-Benson, com a formação de RUDP. A fotorespiração é um processo metabólico de elevado custo energético (consome 2 ATP e um NADPH) e pouco eficiente quando comparado com a atividade da RuBisCo carboxilase. Outra desvantagem da fotorespiração é que um dos produtos resultantes é a amónia, composto tóxico cuja reciclagem consome grandes quantidades de energia celular.

## 2. Plantas C4

As plantas C4, que vivem em ambientes secos e quentes, ao contrario das plantas C3 descritas anteriormente na fotossíntese “normal” produzem compostos orgânicos com 4 carbonos, em vez de 3, como primeiros produtos da fixação do  $\text{CO}_2$  durante o ciclo de Calvin-Benson. As plantas C4 possuem um ciclo de Calvin-Benson em tudo semelhante ao anteriormente descrito para as plantas C3, apenas com uma reação prévia extra que fixa o  $\text{CO}_2$  sem perder carbono para a fotorespiração, aumentando a eficiência da fotossíntese.

Sob condições extremas de elevada aridez e altas temperaturas, as plantas C4 como o milho e a cana do açúcar, mantêm elevadas taxas de fotossíntese e crescimento, mesmo quando os seus estomas têm de fechar durante o dia para reduzir a perda de água.

A grande diferença entre as C3 e as C4 é que estas últimas possuem uma enzima PEP carboxilase (fosfoenolpiruvato carboxilase) que catalisa a reação entre o PEP e o  $\text{CO}_2$  resultando num primeiro composto de 4 carbonos, o oxaloacetato. A PEP carboxilase tem maior afinidade para o  $\text{CO}_2$  do que a RuBisCo, permitindo uma fixação mais eficiente do  $\text{CO}_2$  pelas plantas C4 do que as C3. Como não possuem a função de oxigenase, estas plantas não podem efetuar fotorespiração. Todo este processo decorre em dois locais diferentes da planta – as plantas em C3 têm apenas um tipo de células capazes de efetuar fotossíntese, as células dos mesófilo – nas células do mesófilo e nas células da bainha do feixe – as plantas em C4 têm apenas um tipo de células capazes de efetuar fotossíntese, células do mesófilo. A reação que produz o composto de 4 carbonos ocorre nas células da bainha do feixe, e antes de ser capturado pela RuBisCo para o mesófilo perde um grupo carboxilo.

As células da bainha do feixe são caracterizadas por terem o grana pouco desenvolvido e serem ricas em amido. As células do mesófilo transferem  $\text{CO}_2$  dos es-

paços intercelulares da folha onde a concentração é baixa para as células da bainha do feixe, para que a concentração seja suficientemente alta para manter ativa a fotossíntese mesmo em dias quentes e secos em que os estomas fecham e a temperatura favorece a atividade da RuBisCo oxigenase em vez da carboxilase. Porque a fotossíntese é mais eficiente nas plantas C4, estas são normalmente mais produtivas para a agricultura (por exemplo, o milho).

### 3. Plantas CAM

Algumas plantas estão adaptadas a ambientes áridos, com pouca água disponível. Estas plantas utilizam a enzima PEP carboxilase para fixar e acumular o CO<sub>2</sub> enquanto evitam a perda de água durante o dia com elevadas temperaturas e muito baixa humidade relativa do ar. Algumas plantas suculentas da família das Crassuláceas, alguns catos, e muitas angiospérmicas, utilizam como estratégia o metabolismo ácido das Crassuláceas – CAM.

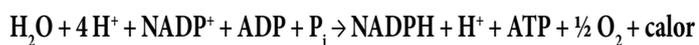
Para evitarem perdas de água por evaporação mantêm os estomas fechados durante o dia. Para realizar a fotossíntese estas plantas abrem os estomas à noite e armazenam o CO<sub>2</sub> capturado. O mecanismo CAM é semelhante ao das plantas C4. Contudo o ciclo de Calvin-Benson ocorre separado no espaço (nas plantas em C4) ou no tempo (nas plantas CAM). A fixação de CO<sub>2</sub> ocorre durante a noite nas células do mesófilo, quando os estomas estão abertos e há muito pouca perda de água. Os produtos da fixação do CO<sub>2</sub> são acumulados nos vacúolos das células do mesófilo. Durante o dia os compostos orgânicos de 4 carbonos são transportados para os cloroplastos onde são descarboxilados fornecendo o CO<sub>2</sub> necessário para o ciclo de Calvin-Benson. O ATP e o NADPH + H<sup>+</sup> são provenientes das reações fotoquímicas da fotossíntese.

	Plantas C3	Plantas C4
Fotorespiração	Sim	Sim, mas mínima
Ciclo Calvin-Benson	Sim	Sim
Composto que reage com o CO <sub>2</sub> no ciclo de Calvin-Benson	RuDP (ribulose difosfato)	PEP (fosfoenol piruvato)
Enzima fixadora do CO <sub>2</sub>	RuBisCo (carboxilase e oxigenase)	PEP carboxilase
Primeiro produto da fixação do CO <sub>2</sub>	Ácido fosfoglicérico (composto de 3 carbonos)	Oxaloacetato (composto de 4 carbonos)
Células fotossintéticas	Células do mesófilo	Células do mesófilo e células da bainha do feixe

Tabela comparativa da fotossíntese em plantas C3 e C4

Em resumo:

#### fase fotoquímica:



- conversão de energia luminosa em energia química
- oxidação da água
- fosforilação de ADP formando-se ATP
- redução de NADP<sup>+</sup> a NADPH, por ação do hidrogénio libertado durante a fotólise da água

#### fase química:



- fixação do CO<sub>2</sub>
- regeneração da ribulose difosfato (RuDP)
- utilização da energia química do ATP e do poder redutor do NADPH na produção de compostos orgânicos

#### Materiais relacionados disponíveis na Casa das Ciências:

1. [Catabolismo](#), quais as fases do catabolismo?
2. [Explorando a fotossíntese com discos de folhas flutuantes](#), ... experimentando ... a fotossíntese
3. [Atividades laboratoriais com seres e pigmentos fotossintéticos](#).
4. [O Oxigénio na Fotossíntese](#), veja, passo a passo, o que acontece no tilacoide

5. [Fotossíntese III](#), É simples a Fotossíntese (!)
6. [Fotossíntese - Fotossistema II](#), veja as reações que se dão no Fotossistema II dos cloroplastos
7. [Fotossíntese - Fase fotoquímica](#), veja em detalhe o que acontece nas reações de luz da fotossíntese
8. [Fotossíntese-A](#)[Alexandre](#), veja a Fotossíntese de forma animada e simples.
9. [Glicólise](#), como se dá a degradação da glicose na célula

## Autor

Catarina Moreira  
Doutoramento em Biologia pela Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

## Editor

José Feijó  
Departamento de Biologia Vegetal da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

Referência: Moreira, C. (2013), Revista de Ciência Elementar, 1(01):0003

# Imunidade

Em sentido lato, consiste nos diversos processos fisiológicos que o organismo tem disponíveis para reconhecer corpos estranhos, neutralizá-los e eliminá-los. Os sistemas imunitários desenvolveram dois tipos de mecanismos de defesa: imunidade inata e imunidade adaptativa.

- **imunidade inata (ou não específica):** tem como função impedir a entrada de agentes patogénicos no organismo, não desencadeando respostas personalizadas ao agente patogénico. Presente em todos os animais e plantas com flor
- **imunidade adaptativa (ou específica):** caracteriza-se por desencadear respostas personalizadas para cada tipo de patógeno e por ter efeito de memória (após uma primeira infeção, num segundo ataque pelo patógeno o organismo é mais célere na sua resposta). Presente em vertebrados com mandíbulas.

## imunidade inata (ou não específica)

Consiste num conjunto de processos que confere proteção contra agentes patogénicos impedindo a entrada dos agressores ou destruindo-os se já se encontram no interior do organismo.

Em animais, a entrada de agentes pode ser impedida por barreiras físicas ou por secreções e enzimas: a pele, as mucosas, os pêlos das narinas, a flora vegetal interna, o suor, as lágrimas, a saliva, o suco gástrico e o muco vaginal. A segunda defesa dá-se caso os agentes patogénicos já estejam no interior do organismo. Pode ser local (fagocitose) ou sistémica (febre, sistema complemento e interferões):

- fagocitose: capacidade de algumas células en-

volverem substâncias com extensões da membrana plasmática e as digerirem já no seu interior. As células com capacidade fagocitária (fagócitos) podem ser de três tipos:

- » eosinófilos: com fraca capacidade fagocitária
- » neutrófilos: são os primeiros a fagocitar
- » macrófagos: são células de grandes dimensões que se diferenciam a partir de monócitos. Por regenerarem os seus lisossomas (vesículas cheias de enzimas) têm uma maior longevidade e uma grande capacidade fagocitária.

Quando um tecido é atingido pelos agentes patogénicos, algumas células, os mastócitos, bem como alguns basófilos, produzem histamina e outros mediadores químicos que provocam a dilatação dos vasos sanguíneos e aumentam a sua permeabilidade, aumentando o fluxo de sangue no local, o que explica o aparecimento de inchaços (aumento do calibre dos vasos), vermelhidão (aumento do número de glóbulos vermelhos), dor (o aumento do volume pressiona as terminações nervosas) e calor (aumento da taxa metabólica) característicos de uma inflamação. A histamina e outras substâncias ao entrarem na circulação sanguínea vão atrair os fagócitos para o local da inflamação, que conseguem atravessar as paredes dos capilares modificando a sua forma – diapedese. Os primeiros a chegar são os neutrófilos seguidos dos macrófagos.

- resposta sistémica: quando todo o organismo é invadido por microrganismos patogénicos
  - » **febre:** as toxinas produzidas pelos agentes patogénicos e certos compostos pirogenos, citoxi-

nas, produzidos pelos leucócitos, podem fazer aumentar a temperatura do corpo. A subida de temperatura embora perigosa se excessiva, por um lado, inibe o crescimento dos microrganismos e por outro estimula e acelera os mecanismos de defesa.

» **interferões:** conjunto de proteínas envolvidas em mecanismos de defesa acionado em infecções virais. Quando uma célula é infetada por um agente viral, é normal haver um acréscimo de RNA de cadeia dupla, resultante da replicação do material genético viral (quer seja DNA ou RNA), que ativa o interferão. Essa ativação estimula a produção de glicoproteínas (interferões) que serão excretadas para a circulação sanguínea. Os interferões vão-se ligar a receptores membranares de células vizinhas ativando genes codificantes de proteínas antivirais, que apenas são ativadas quando a célula é infetada. Quando ativadas as proteínas antivirais iniciam um processo de destruição do mRNA celular impedindo a sua tradução. A célula infetada acaba por morrer de forma programada – apoptose – e os vírus ficam sem local para se replicarem, ficando a infecção controlada. O interferão em si não tem uma função antiviral mas sim de ativar a produção de proteínas antivirais. Alguns interferões estimulam os fagócitos a destruir os microrganismos.

» **sistema de complemento:** corresponde a um grupo de cerca de 20 proteínas produzidas pelo fígado e que circulam na linfa na sua forma inativa. Na presença de alguns agentes patogénicos sofrem uma rápida ativação em cascata, isto é, a ativação de uma proteína estimula a ativação de outra e assim por diante. Uma vez ativadas as proteínas desencadeiam uma resposta imunitária não específica, como por exemplo:

- \* provocam a lise de células infecciosas. Algumas proteínas do completo fixam-se na membrana das bactérias, criando poros na membrana que levam as bactérias à morte.
- \* atraem leucócitos aos locais de infecção – quimiotaxia
- \* ligam-se aos agentes patogénicos facilitando a atividade dos fagócitos – opsonização.

## imunidade adaptativa (ou específica)

Os mecanismos de defesa específicos vão sendo mobilizados enquanto os mecanismos não específicos in-

tervêm numa primeira fase da infecção. A imunidade específica, ao contrário da não específica, atua de forma diferente consoante o agente patogénico e tem um efeito de memória, ou seja, o organismo memoriza o agente patogénico numa primeira infecção e em infecções posteriores a resposta imunitária é mais rápida e poderosa.

Este tipo de imunidade é desencadeado sempre que o sistema imunitário reconhece um antigénio – qualquer molécula que reage de forma específica com um anticorpo ou com um recetor de um linfócito T, desencadeando respostas imunitárias específicas.

A resposta imunitária específica está intimamente associada aos linfócitos (tipos B e T) – células imuno-competentes – ou seja, ganham a competência (nos órgãos linfóides) para poderem reconhecer determinados epítomos. Para garantir que os seus recetores são funcionais e distinguem e não atacam o próprio organismo, fazem um estágio na medula óssea que só contém células do próprio organismo e todos os linfócitos que apresentarem recetores para antigénios próprios são eliminados, induzindo-se apoptose (seleção negativa).

A atuação dos linfócitos B e T embora interligada é bastante diferente:

- os linfócitos B atuam indiretamente sobre os antigénios através da produção de anticorpos, enquanto os linfócitos T atuam diretamente
- os linfócitos B reconhecem antigénios livres, enquanto os linfócitos T só reconhecem antigénios associados a outras células
- só existe uma categoria de linfócitos B e várias de linfócitos T

Como a imunidade específica atua sobre o que a imunidade não-específica não conseguiu isoladamente eliminar, existem dois tipos de imunidade específica dependendo da localização da ação: humoral e celular.

- A **imunidade humoral** depende do reconhecimento dos antigénios, pelos linfócitos B, que circulem no sangue e linfa e que ainda não tenham por isso invadido as células. Os linfócitos B são produzidos e amadurecidos na medula óssea adquirindo recetores membranares específicos de determinados epítomos. Depois de sofrerem uma primeira seleção negativa de controlo, os linfócitos

B denominados naive migram para os órgãos linfóides secundários.

Quando um antígeno que circule na corrente sanguínea ou linfática passa por um dos órgãos linfóides secundários, é detetado pelo linfócito específico e é estabelecida uma ligação que ativa o linfócito – seleção clonal. Para evitar respostas erradas a antígenos não perigosos, o linfócito B ativado é sujeito a uma confirmação de reconhecimento por um linfócito T, que se for positiva ordena a multiplicação mitótica do linfócito B – multiplicação clonal. A diferenciação dos linfócitos B inicia-se depois da multiplicação transformando as células originais em plasmócitos e em células B memória. Os plasmócitos são células efectoras com grande capacidade de síntese proteica, produzindo grandes quantidades de proteínas – anticorpos. As células B memória são células diferenciadas e autorizadas, mas não efectoras, com uma grande longevidade, que acionam uma resposta imunitária rápida e potente numa segunda infecção – memória imunitária.

Os anticorpos são proteínas globulares – imunoglobulinas (Ig) – que se ligam a epítomos específicos. Apesar da forte especificidade das Ig, estas moléculas partilham algumas características:

- são constituídas por quatro cadeias polipeptídicas: duas longas ou pesadas e duas curtas ou leves
- estrutura em Y devido às ligações dissulfeto entre as cadeias longas
- possuem um região constante comum a todos os anticorpos da mesma classe, que permite serem identificadas por outros componentes do sistema imunitário
- possuem uma região variável que lhes confere especificidade
- ligam-se aos antígenos em dois locais, os determinantes antigénicos, localizados na região variável

No Homem, e nos vertebrados em geral, conhecem-se cinco classes de imunoglobulinas

Classe de Ig	Local de ocorrência	Funções
Ig A	Leite, saliva, lágrimas, secreções respiratórias e gástricas	Protege contra agentes patogénicos nos locais de entrada do organismo
Ig D	Linfócitos B	Estimula linfócitos B a produzirem outros tipos de anticorpos
Ig E	Mastócitos presentes nos tecidos	Interfere na libertação de substâncias alérgicas
Ig G	Plasma e na linfa intersticial	Protege contra bactérias, vírus e toxinas
Ig M	Plasma	Primeiro anticorpo a atuar perante um antígeno

Após as imunoglobulinas se terem ligado ao respetivo antígeno forma-se o complexo antígeno-anticorpo, que desencadeia os processos destrutivos de agentes patogénicos, que consoante a classe a que cada anticorpo pertence pode variar:

- neutralização: o complexo antígeno-anticorpo impede o antígeno de atuar
- opsonização: a formação do complexo antígeno-anticorpo que é rapidamente identificado e fagocitado por macrófagos
- imobilização e prevenção de aderência: a formação do complexo antígeno-anticorpo impede o antígeno de se mover ou se ligar a hospedeiros
- aglutinação ou precipitação: os complexos antígeno-anticorpo formam aglomerados de grandes dimensões que os impede de circular
- ativação do sistema complemento: o complexo

antígeno-anticorpo ativa a primeira proteína do sistema complemento dando início à cadeia de ativações sucessivas.

- A **imunidade celular** está associada aos linfócitos T, produzidos na medula mas, ao contrário dos B, estes são maturados no timo. A resposta imunitária é ativada quando uma célula apresentadora que podem ser macrófagos, linfócitos B ou agentes virais, apresenta um antígeno a um linfócito T.

Tal como os linfócitos B, os linfócitos T *naive* ficam armazenados nos órgãos linfóides secundários até que uma célula apresentadora lhes apresente um antígeno e os ative, começando a produzir proteínas capazes de desencadear respostas variadas nas células-alvo. Os diferentes tipos de linfócitos têm funções diferentes e são identificados em laboratório pela presença de diferentes marcadores.

- linfócitos citotóxicos ou citolíticos (TC): reconhecem e destroem células infetadas e cancerosas. Os linfócitos reconhecem estas células por exibirem glicoproteínas anormais à superfície e depois de ativados segregam substâncias tóxicas que destroem as células. Os linfócitos não sofrem qualquer alteração permanecendo, se necessário, ativos.
- linfócitos auxiliares (TH): reconhecem o MHC de superfície dos macrófagos e libertam mediadores químicos (citoquinas) que estimulam linfócitos B, fagócitos e/ou outros linfócitos T.
- linfócitos T supressores (TS): segregam substâncias que reduzem ou suprimem a resposta imunitária quando a infeção já está controlada.

De uma maneira geral, quando os linfócitos T reconhecem o antigénio específico, atuam consoante a classe a que pertencem mas comum a todos eles é a diferenciação de linfócitos T memória que numa segunda infeção pelo mesmo antigénio desencadeiam respostas mais potentes e rápidas.

## Imunização

A memória imunitária desenvolve-se durante o primeiro contato com o antigénio, conferindo imunidade aos indivíduos. A imunidade pode ser natural, como se descreveu acima quando o próprio organismo reage contra os agentes patogénicos ou pode ser induzida, através da administração direta de anticor-

pos específicos (imunidade passiva) ou através da administração de vacinas (imunidade ativa).

As vacinas são preparados de agentes patogénicos mortos ou alterados, vírus patogénicos ou toxinas que neste caso específico não desencadeiam a doença, mas estimulam respostas imunitárias específicas no organismo. Ao desencadear uma resposta imunitária primária consequentemente desencadeia a formação de células-memória que na eventualidade de uma infeção posterior pelo mesmo agente patogénico irão produzir uma resposta mais rápida e potente. Algumas vacinas conferem imunidade para toda a vida como a vacina do sarampo e outras têm de ser administradas periodicamente como a anti-tetânica.

## Materiais relacionados disponíveis na Casa das Ciências:

1. [Design de Medicamentos](#), um resumo da ciência da Farmacologia e as suas últimas novidades;
2. [Haptenos - Como funcionam](#);
3. [Infeção por agrobacteriumIII](#);
4. [Alergias](#).
5. [Sistema Imunitário - Fator estimulador de colónias](#), produção de glóbulos brancos devido ao fator estimulador de colónias
6. [Apoptose](#), a morte celular - Como acontece?
7. [Sistema Imunitario - Teoria da seleção clonal](#), a seleção clonal como parte do Sistema Imunitário
8. [Origem do cancro da mama](#), como se origina o Cancro da Mama?

### Autor

Catarina Moreira

Doutoramento em Biologia pela Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

### Editor

José Feijó

Departamento de Biologia Vegetal da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

Referência: Moreira, C. (2013), Revista de Ciência Elementar, 1(01):0004

# Microscópio ótico

O microscópio é um instrumento utilizado para ampliar e observar estruturas pequenas dificilmente visíveis ou invisíveis a olho nú. O microscópio ótico utiliza luz visível e um sistema de lentes de vidro que ampliam a imagem das amostras.

Os primeiros microscópios óticos datam de 1600, mas é incerto quem terá sido o autor do primeiro. A sua criação é atribuída a vários inventores: Zacharias

Janssen, Galileo Galilei, entre outros. A popularização deste instrumento, no entanto, é atribuída a Anton van Leeuwenhoek (Fig.1).

Os microscópios óticos são constituídos por uma componente mecânica de suporte e de controlo da componente ótica que amplia as imagens. Os microscópios atuais que usam luz transmitida partilham os mesmo componentes básicos (Fig. 2).

## Componentes mecânicos

- **pé ou base** – apoio a todos os componentes do microscópio
- **braço** – fixo à base, serve de suporte às lentes e à platina
- **platina** – base de suporte e fixação da preparação, tem uma abertura central (sobre a qual é colocada a preparação) que deixa passar a luz. As pinças ajudam à fixação da preparação. A platina pode ser deslocada nos microscópios mais modernos, nos antigos tinha que se mover a própria amostra, segura pelas pinças.
- **revólver** – suporte das lentes objetivas, permite trocar a lente objetiva rodando sobre um eixo
- **tubo ou canhão** – suporta a ocular na extremidade superior
- **parafuso macrométrico** – permite movimentos verticais da grande amplitude da platina
- **parafuso micrométrico** – permite movimentos verticais lentos de pequena amplitude da platina para focagem precisa da imagem

## Componentes óticos

- **condensador** – sistema de duas lentes (ou mais) convergentes que orientam e distribuem a luz emitida de forma igual pelo campo de visão do microscópio
- **diafragma** – regula a quantidade de luz que atinge o campo de visão do microscópio, através de uma abertura que abre ou fecha em diâmetro (semelhante às máquinas fotográficas)
- **fonte luminosa** – atualmente utiliza-se luz artificial emitida por uma lâmpada incluída no próprio microscópio com um interruptor e algumas vezes com um reóstato que permite regular a intensidade da luz. Os modelos antigos tinham um espelho de duas faces: a face plana para refletir luz natural e a face côncava para refletir luz artificial.
- **lente ocular** – cilindro com duas ou mais lentes que permitem ampliar a imagem real fornecida pela objetiva, formando uma imagem virtual mais próxima dos olhos do observador. As oculares podem ser de diferentes ampliações sendo a mais comum de 10x. A imagem criada pela ocular é ampliada, direita e virtual.
- **lente objetiva** – conjunto de lentes fixas no revolver, que girando permite alterar a objetiva consoante a ampliação necessária. É a lente que fica mais próxima do objeto a observar, projetando uma imagem real, ampliada e invertida do mesmo.

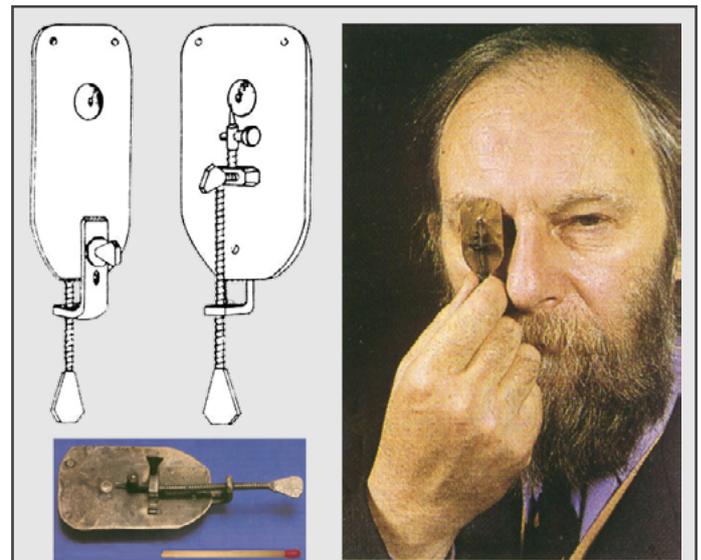


Figura 1 - Microscópio ótico de Anton van Leeuwenhoek

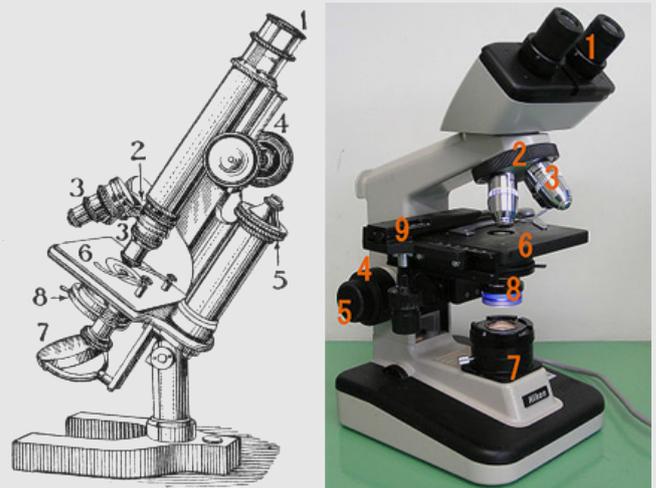


Figura 2 - Microscópio ótico

1. Lentes oculares 2. Revólver 3. Lentes objetivas 4. Parafuso macrométrico 5. Parafuso micrométrico 6. Platina 7. Foco luminoso (Lâmpada ou espelho) 8. Condensador e diafragma 9. Braço

As objetivas secas, geralmente com ampliação de 10x, 40x e 50x, são assim designadas porque entre a sua extremidade e a preparação existe somente ar. As objetivas de imersão (ampliação até 100x), pelo contrário, têm a sua extremidade mergulhada em óleo com o intuito de aumentar o poder de resolução da objetiva: como o índice de refração de óleo é semelhante ao do vidro o feixe de luz não é tão desviado para fora da objetiva.

## Como funciona o microscópio ótico

A intensidade da luz pode ser regulada diretamente através do reóstato que atua na própria fonte luminosa ou indiretamente através do condensador e do diafragma: a intensidade aumenta se se subir o con-

densador e abrir o diafragma e diminui se se descer o condensador e fechar o diafragma.

A ampliação – número de vezes que a imagem é aumentada em relação ao objeto real – é função conjunta do poder de ampliação da objetiva e ocular utilizadas. A ampliação total é o produto da ampliação da objetiva pela ampliação da ocular (exemplo, ampliação da ocular 10x, ampliação da objetiva 20x, ampliação total é  $10 \times 20 = 200x$ ).

A imagem observada depende também do poder de resolução, isto é, a capacidade que as lentes têm de discriminar objetos muito próximos. O poder de resolução depende do comprimento de onda da luz utilizada, e o seu valor teórico para um microscópio ótico é de cerca de  $0,2 \mu\text{m}$  – ou seja, dois objetos têm de estar pelo menos a uma distância um do outro de  $0,2 \mu\text{m}$  para poderem ser discriminados ao microscópio ótico. Este valor, contudo, só é alcançável com lentes de elevada qualidade e preço!

A preparação é colocada na platina e fixa com o auxílio das pinças. Com os parafusos existentes na platina move-se a preparação até esta estar sobre a abertura por onde passa a luz. Olhando através da ocular (monocular ou binocular, respetivamente com uma ou duas lentes) e com a objetiva de menor ampliação foca-se a imagem, preferencialmente no centro do campo de visão, utilizando os parafusos macrométrico e micrométrico. Após esta primeira focagem, podem-se utilizar objetivas de maior poder de ampliação, de forma sequencial repetindo todo o processo já descrito. A imagem final observada será ampliada, virtual e invertida. Dependendo do microscópio, em alguns casos, a imagem final pode ser direita e não invertida.

Por exemplo, se utilizarmos uma preparação da letra F, tal como na figura, as imagens formadas pela objetiva e pela ocular são como descritas (Fig.3).

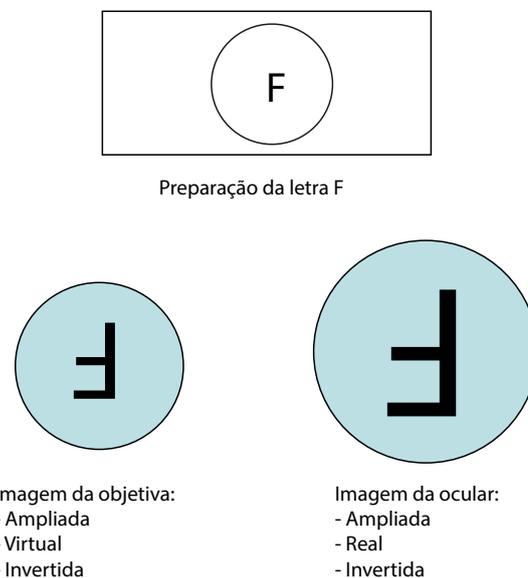


Figura 3 - Imagens obtidas por uma lente objetiva e ocular a partir de uma preparação com a letra F.

As posições relativas da letra F são como se observaríamos ao microscópio.

**Materiais relacionados disponíveis na Casa das Ciências:**

1. [Os Componentes de um Microscópio](#), conheça para que servem os principais componentes de um microscópio;
2. [Como Fazer uma Preparação](#), ..... é tão simples .....

## Autor

Catarina Moreira

Doutoramento em Biologia pela Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

## Editor

José Feijó

Departamento de Biologia Vegetal da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

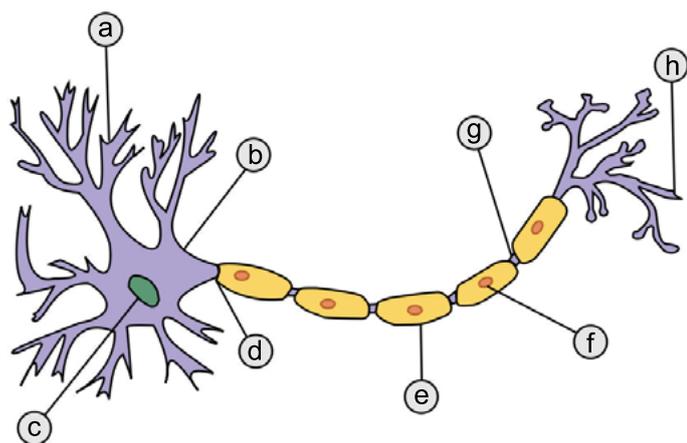
Referência: Moreira, C. (2013), Revista de Ciência Elementar, 1(01):0005

# Neurónio

É uma célula nervosa, estrutura básica do sistema nervoso, comum à maioria dos vertebrados. Os neurónios são células altamente estimuláveis, que processam e transmitem informação através de sinais eletro-químicos. Uma das suas características é a ca-

pacidade das suas membranas plasmáticas gerarem impulsos nervosos. A maioria dos neurónios, tipicamente, possui o corpo celular e dois tipos de prolongamentos citoplasmáticos, as dendrites e os axónios.

- **corpo celular:** contém o núcleo e a maior parte dos organelos. É nesta parte onde ocorre a síntese proteica.
- **dendrites:** são prolongamentos finos, geralmente ramificados, que recebem e conduzem os estímulos provenientes de outros neurónios ou de células sensoriais.
- **axónio:** é o prolongamento, geralmente, mais longo que transmite os impulsos nervosos provenientes do corpo celular. O comprimento do axónio varia muito entre os diferentes tipos de neurónios. Nos vertebrados e em alguns invertebrados os axónios são cobertos por uma bainha isolante de mielina, tomando a designação de fibra nervosa.
- **terminações do axónio:** contêm sinapses, estruturas especializadas onde são libertadas substâncias químicas, neurotransmissores, que estabelecem a comunicação com as dendrites ou corpo celular de outros neurónios.



**Figura 1** - Esquema representativo de um neurónio típico.  
a. Dendrite b. Soma c. Núcleo d. Axónio e. Bainha de mielina  
f. Célula de Schwann g. Nóculo de Ranvier h. Axónio terminal

Quando a terminação do axónio de um neurónio estabelece ligações com as dendrites ou corpo celular de um outro neurónio, as membranas modificam-se e formam uma **sinapse**, que permite que o impulso nervoso seja conduzido de um neurónio para o seguinte. Quando o impulso nervoso chega à terminação do axónio que forma uma sinapse libertam-se neurotransmissores a partir da membrana pré-sináptica que atravessam a fenda sináptica e se ligam aos recetores da membrana pos-sináptica do neurónio seguinte. Os neurónios no entanto não são as únicas células do sistema nervoso, as células de glia funcionam como suporte físico dos neurónios e auxiliam as ligações durante o desenvolvimento embrionário. Existem

vários tipos de **células de glia**: as células de Schwann no sistema nervoso periférico, os oligodendrócitos no sistema nervoso central. Muitas células gliais fornecem nutrientes aos neurónios enquanto outras consomem partículas estranhas e resíduos celulares. Outra das suas funções é a manutenção dos níveis iónicos à volta dos neurónios. Embora não tenham axónios e não transmitam por isso impulsos nervosos, as células gliais comunicam entre si eletricamente através das “gap junction”, que permitem o fluxo iónico entre células.

Como em todas as células, o citoplasma do neurónio tem um excesso de carga negativa. A voltagem no interior do neurónio é geralmente 60-70 milivolts (mV) mais negativa que o exterior da célula. Esta diferença de carga entre o meio extracelular e o meio intracelular gera uma diferença de potencial elétrico entre as duas faces da membrana – **potencial de membrana**, que quando a célula não está a transmitir impulsos nervosos é da ordem dos -70 mV – **potencial de repouso**. O sinal negativo indica como referido anteriormente que o interior da células tem maior carga negativa do que o exterior. O neurónio é sensível a qualquer fator químico ou físico que provoque uma alteração no potencial de repouso da membrana. A alteração mais extrema que pode ocorrer no potencial de membrana é o **impulso nervoso** (ou **potencial de ação**), que é uma rápida alteração do potencial elétrico, em que por breves instantes (1 ou 2 milissegundos) o interior da célula torna-se mais positivo que o exterior.

As membranas plasmáticas dos neurónios são constituídas por uma bicamada fosfolipídica impermeável aos iões, como nas outras células, mas possuem proteínas que funcionam como canais ou bombas iónicas. O potencial de repouso deve-se sobretudo à diferença de concentração dos iões sódio  $\text{Na}^+$  e potássio  $\text{K}^+$  dentro e fora da célula. Diferença essa que é mantida pelo funcionamento dos canais e das bombas de sódio e potássio, que bombeiam sódio para o meio externo e potássio para o meio interno, com consumo de ATP, contrariando a difusão passiva destes iões.

A bomba de sódio e potássio transporta 3  $\text{Na}^+$  por cada 2  $\text{K}^+$ , a quantidade de iões  $\text{K}^+$  que sai da célula (por transporte passivo) é superior à quantidade de iões  $\text{Na}^+$  que entra na célula, criando-se um défice de cargas positivas na célula relativamente ao exterior.

Os canais que existem na membrana celular permitem a passagem de  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$  de forma passiva. Quando o neurónio está em repouso, os canais estão fechados e

abrem quando a célula é estimulada, permitindo uma rápida entrada de  $\text{Na}^+$ , e uma alteração do potencial de membrana de  $-70 \text{ mV}$  para  $+35 \text{ mV}$ , chamando-se a esta diferença, potencial de despolarização. A rápida alteração do potencial elétrico que ocorre durante a despolarização designa-se por potencial de ação e é da ordem dos  $105 \text{ mV}$ . Quando o potencial de ação atinge o seu máximo durante a despolarização, aumenta a permeabilidade da membrana ao  $\text{K}^+$ , e a permeabilidade dos canais ao  $\text{Na}^+$  volta ao normal. Dá-se uma quebra no potencial de membrana até atingir o seu valor de repouso, chamando-se a esta diferença potencial, repolarização.

A transmissão de um impulso nervoso é um exemplo de uma resposta do tipo “tudo-ou-nada”, isto é, o estímulo tem de ter uma determinada intensidade para gerar um potencial de ação. O estímulo mínimo necessário para desencadear um potencial de ação é o estímulo limiar, e uma vez atingido este limiar, o aumento de intensidade não produz um potencial de ação mais forte mas sim um maior número de impulsos por segundo. O potencial de ação gerado na membrana estimulada propaga-se à área vizinha, conduzindo à sua despolarização e assim por diante. Estas sucessivas despolarizações e repolarizações ao longo da membrana do neurónio constituem o impulso nervoso, cuja propagação se faz num único sentido, das dendrites para o axónio.

A velocidade de transmissão do impulso nervoso varia muito entre neurónios e espécies diferentes. Por exemplo, nas anémonas em geral a velocidade é da ordem dos  $0.1 \text{ m/s}$ , enquanto que nos neurónios motores de alguns mamíferos é da ordem dos  $120 \text{ m/s}$ . Estas diferenças na velocidade de transmissão estão relacionadas com a estrutura do axónio:

- diâmetro: pequenos diâmetros apresentam maior resistência logo o impulso é transmitido mais lentamente
- bainha de mielina: nos vertebrados embora os axónios tenham diâmetros inferiores aos dos invertebrados, a elevada velocidade de propagação do impulso é garantida pela presença da bainha de mielina, formada por células de Schwann que envolvem o axónio. As interrupções entre células de Schwann na bainha de mielina, são designadas por nódulos de Ranvier.

Em axónios mielinizados, o potencial de ação apenas despolariza a membrana na região dos nódulos de Ranvier, uma vez que a bainha atua como um isolante impedindo a despolarização nas restantes zonas. A rápida propagação é atingida pois o impulso salta de um nódulo para o outro.

A passagem do impulso nervoso de uma célula para a outra faz-se através das sinapses.

**Materiais relacionados disponíveis na [Casa das Ciências](#):**

1. [Potencial de Ação dos Nervos II](#), faça variar o potencial de ação numa célula nervosa
2. [Potencial de Ação dos Nervos I](#), observe o potencial de ação numa célula nervosa
3. [Sinapses](#).
4. [Os Neurónios](#), como é que os neurónios podem levar a comportamentos complexos?
5. [Sistema Nervoso \(apresentação\)](#), fique a conhecer o funcionamento do Sistema Nervoso com esta apresentação!

## Autor

Catarina Moreira

Doutoramento em Biologia pela Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

## Editor

José Feijó

Departamento de Biologia Vegetal da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

Referência: Moreira, C. (2013), Revista de Ciência Elementar, 1(01):0006

# Respiração

Conjunto das vias catabólicas, a partir das quais os organismos obtêm energia a partir da oxidação de uma molécula orgânica sendo o aceitador final de eletrões

e protões uma molécula inorgânica externa. Na respiração a glicose é o substrato mais comum. Os organismos oxidam a glicose na presença de oxigénio de

acordo com a seguinte reação:



As vias metabólicas associadas à respiração ocorrem nas células das plantas e dos animais, gerando cerca de 38 moléculas de ATP por cada molécula de glicose oxidada. Nem toda a energia produzida é aproveitada, apenas cerca de metade é conservada sob a forma de energia química (ATP) e o resto é libertado sob a forma de calor.

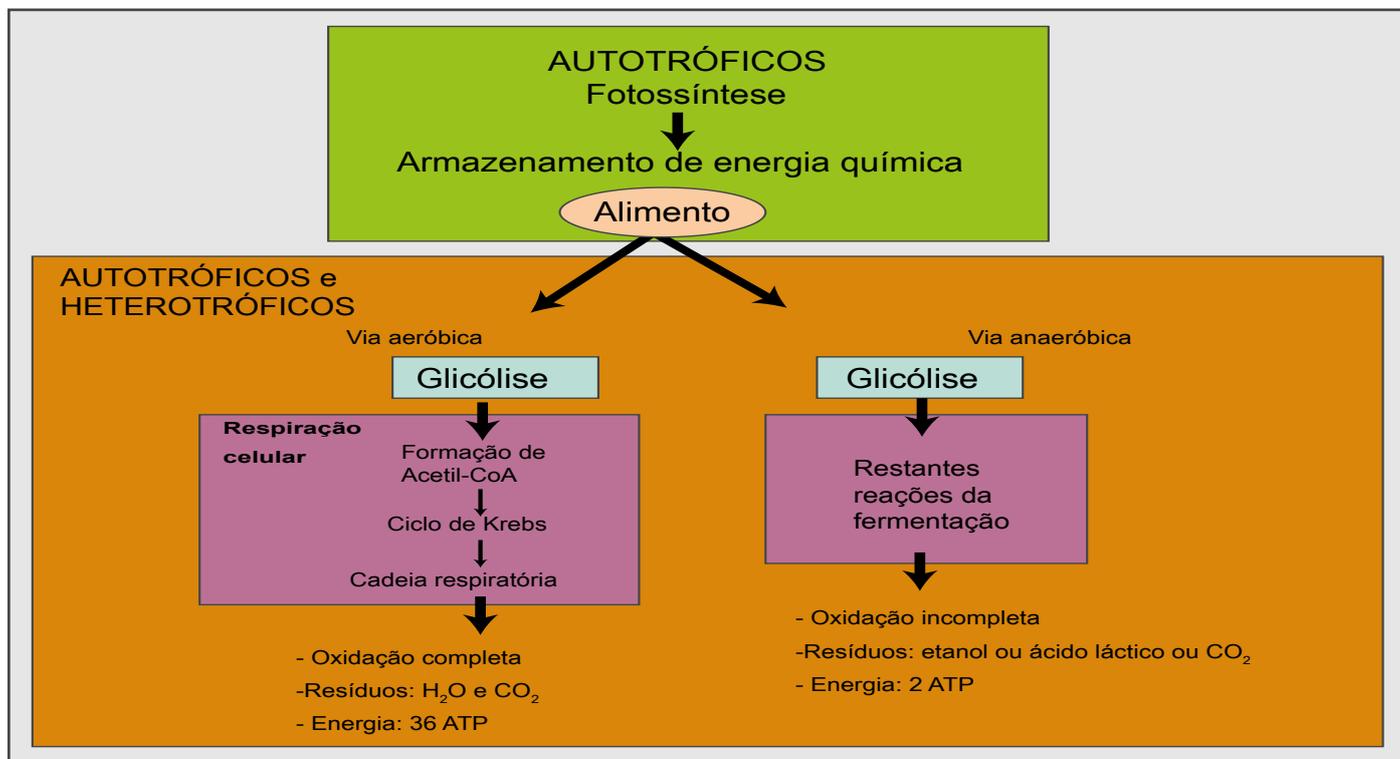
Nas células eucariotas as necessidades energéticas são maiores, e a presença de organelos como as mitocôndrias permitem uma oxidação completa do ácido pirúvico obtido na glicólise, originando compostos mais simples (água e dióxido de carbono) com libertação de energia. Esta via metabólica ocorre na presença de oxigénio e denomina-se respiração aeróbia.

O metabolismo aeróbico é bastante mais eficiente do ponto de vista energético que o metabolismo anaeróbico, partilham as primeiras reações da glicólise e depois o metabolismo aeróbico continua a degradação

do ácido pirúvico através do ciclo de Krebs e da fosforilação oxidativa, que decorre nas mitocôndrias das células eucariotas e no citoplasma das células procaríotas.

A degradação oxidativa completa da glicose pode ser compartimentada em quatro etapas bioquímicas principais: a glicólise, a formação do acetil-CoA, o ciclo de Krebs (ciclo do ácido cítrico ou dos ácidos tricarbóxicos) e a cadeia transportadora de eletrões onde se dá a fosforilação oxidativa. Durante a respiração um composto orgânico (geralmente açúcar) é completamente oxidado formando  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$ . Na respiração aeróbia, o oxigénio molecular,  $\text{O}_2$  serve como aceitador final de eletrões. Na respiração anaeróbia, o aceitador final de eletrões pode ser o  $\text{NO}_3^-$  (ião nitrato),  $\text{SO}_4^{2-}$  (ião sulfato),  $\text{CO}_2$  ou fumarato. Se o substrato oxidado durante a respiração for uma proteína então forma-se também amónia.

As bactérias, ao contrário das cianobactérias e dos eucariotas, possuem vias metabólicas alternativas à oxidação da glicose: a via oxidativa da pentose fosfato e a via de Entner-Doudoroff. Aqui apenas iremos reportar a glicólise.



Etapas da respiração aeróbia:

## Glicólise

Via metabólica comum a todos os seres vivos consiste na oxidação incompleta da glicose em piruva-

to e ocorre no citosol de eucariotas e procaríotas. A glicólise ocorre na presença ou ausência de oxigénio. Consiste em 10 reações que convertem a molécula de glicose com 6 átomos de carbono (6C) em duas moléculas de piruvato com 3C, com produção de

2 ATPs e redução de 2  $\text{NAD}^+$  em  $\text{NADH} + \text{H}^+$ . A glicólise pode ser dividida em dois grupos de reações:

- **fase de ativação**, em que é fornecida energia da hidrólise do ATP à glicose para que se torne quimi-

camente ativa e se dê início à sua degradação;

- **fase de rendimento**, em que a oxidação dos compostos orgânicos permite aproveitar energia liberada para a produção de ATP.

As primeiras 5 reações são endoenergéticas, isto é, consomem energia.

1. o ATP transfere um grupo fosfato (P) para a glicose 6C, formando a glicose 6-P
2. a glicose 6-P sofre um rearranjo da molécula, originando o isômero frutose 6-P
3. outro ATP transfere um P para frutose 6-P originando a frutose 1,6-P (ou frutose difosfato)
4. a molécula de frutose sofre rearranjo molecular (o anel benzeno abre) e a frutose 1,6-P origina duas moléculas diferentes de 3 carbonos – fosfato de diidroxiacetona e gliceraldeído 3P (ou ácido fosfoglicérico)
5. a fosfato de diidroxiacetona sofre um rearranjo estrutural e forma-se o seu isômero, o ácido fosfoglicérico

Resultado desta fase: 2 moléculas de ácido fosfoglicérico, 2 moléculas  $\text{NADH} + 2 \text{H}^+$

As seguintes 5 reações ocorrem em duplicado a partir das 2 moléculas de ácido fosfoglicérico

6. o ácido fosfoglicérico é oxidado, formando o 1,3 – bifosfoglicerato (conversão de um açúcar num ácido) e um  $\text{NADH} + \text{H}^+$  - é nesta reação de fosforilação do substrato com fosfato inorgânico paralelamente com a oxidação e redução do NAD que resulta um ganho energético para a célula

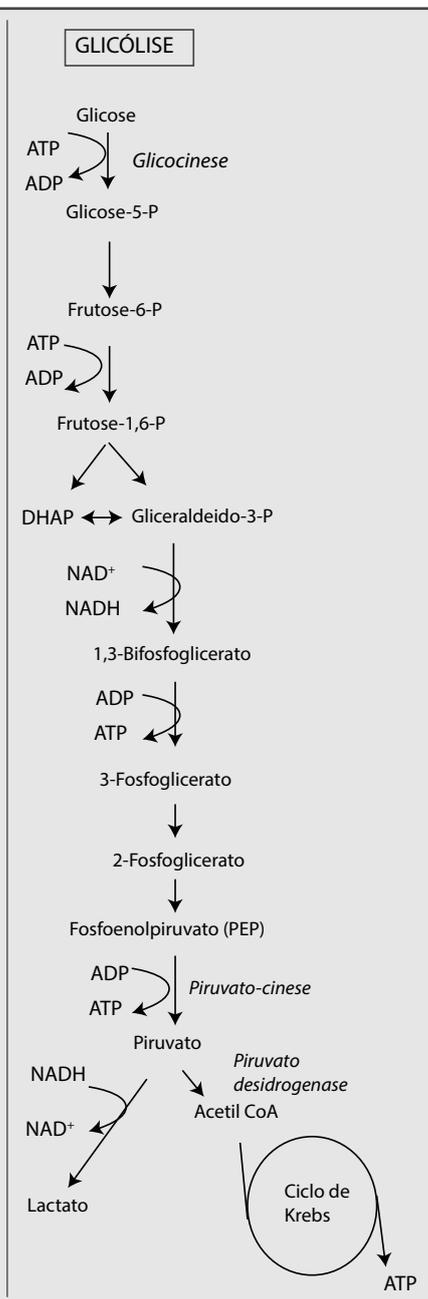
7. o 1,3 – bifosfoglicerato cede o grupo fosfato a 1 ADP, formando ATP e 3 – fosfoglicerato

8. o grupo fosfato muda de local ao nível molecular no 3 – fosfoglicerato formando 2 – fosfoglicerato

9. o 2 – fosfoglicerato perde uma molécula de  $\text{H}_2\text{O}$ , formando o fosfoenolpiruvato (PEP)

10. o PEP cede um P ao ADP, formando ATP e piruvato

Resultado desta fase: 2 moléculas de piruvato, 2  $\text{H}_2\text{O}$  e 4 ATPs



## Formação do Acetil-coenzima A (AcetilCoA)

Na presença de oxigênio, o piruvato entra na mitocôndria, e é oxidado formando um composto de 2 carbonos, o acetato, com libertação de energia e  $\text{CO}_2$ . Durante este processo o acetato liga-se a uma coenzima – **coenzima A (CoA)** – formando o acetil-coenzima A.

Os 3 passos:

1. piruvato é oxidado e forma acetato com libertação

de  $\text{CO}_2$

2. a energia libertada na oxidação do piruvato é armazenada na reação de redução do  $\text{NAD}^+$  a  $\text{NADH} + \text{H}^+$
3. a molécula de acetato combina-se com a coenzima A formando o acetil-coenzima A.

## Ciclo de Krebs

O ciclo de Krebs é o conjunto de reações que conduz

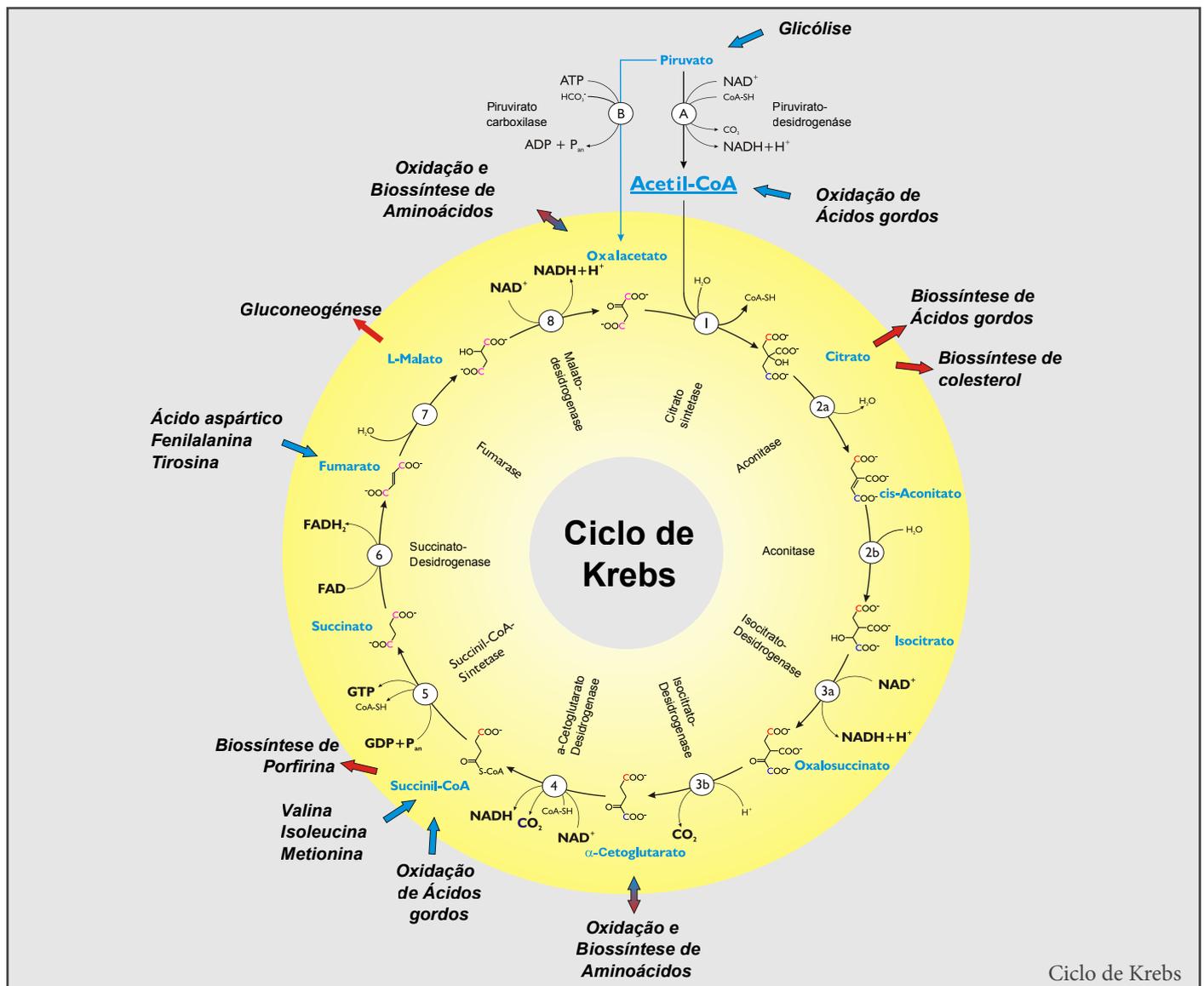
à oxidação completa da glicose. Ocorre na matriz da mitocôndria dos eucariontes e no citoplasma dos procariontes. Os principais reagentes do ciclo de Krebs são o acetato na forma de acetil-CoA, água e transportadores de elétrons. As reações são catalisadas por enzimas donde se destacam as descarboxilases (catalisadores das descarboxilações) e as desidrogenases (catalisadores das reações de oxidação-redução que conduzem à formação de NADH).

Cada molécula de glicose conduz à formação de duas moléculas de piruvato, que originam duas moléculas de acetil-CoA, dando início a dois ciclos de Krebs. Por cada molécula de glicose degradada, resultam no final do ciclo de Krebs:

- 6 moléculas de NADH
- 2 moléculas de FADH<sub>2</sub>
- 2 moléculas de ATP
- 4 moléculas de CO<sub>2</sub>

## Reações do Ciclo de Krebs

O acetilCoA com dois carbonos no seu grupo acetato reage com o oxaloacetato (ácido com 4 carbonos) formando um composto de 6 carbonos, o ácido cítrico (citrato). As seguintes reações catalizadas por várias enzimas irão continuar a degradação do ácido cítrico até à formação de uma nova molécula de 4 carbonos, o oxaloacetato. Esta nova molécula de oxaloacetato vai reagir com outro acetilCoA e assim sucessivamente. Os reagentes iniciais e os produtos intermédios e finais permitem a manutenção e continuação do ciclo, com reciclagem de compostos que serão úteis mais tarde no ciclo. Os compostos intermediários do ciclo de Krebs podem ser utilizados como precursores em vias biossintéticas, por exemplo, o oxaloacetato e o α-cetoglutarato irão formar aminoácidos, respetivamente o aspartato e o glutamato.



Ciclo de Krebs

Tabela resumo do ciclo de Krebs (adaptada da wikipedia)

	Substrato/Coenzima	Enzima	Tipo de reação	Produtos
1	Oxaloacetato + acetilCoA + H <sub>2</sub> O	Citrato sintase	condensação	Ácido cítrico + CoA-SH
2	Ácido cítrico	Acotinase	Desidratação/hidratação	Isocitrato + H <sub>2</sub> O
3	Isocitrato + NAD <sup>+</sup>	Isocitrato desidrogenase	Oxidação	Oxalosucinato + NADH + H <sup>+</sup>
4	Oxalosucinato + H <sup>+</sup>	Isocitrato desidrogenase	Descarboxilação	α-cetoglutarato + CO <sub>2</sub>
5	α-cetoglutarato + NAD <sup>+</sup> + CoA-SH	α-cetoglutarato desidrogenase	Descarboxilação oxidativa	Succinil-CoA + NADH + H <sup>+</sup> + CO <sub>2</sub>
6	Succinil-CoA + GDP + P <sub>i</sub>	Succinil-CoA sintetase	Fosforilação ao nível do substrato	Sucinato + CoA-SH + GTP
7	Sucinato + ubiquinona + FAD	Sucinato desidrogenase	Oxidação	Fumarato + ubiquinol + FADH <sub>2</sub>
8	Fumarato + H <sub>2</sub> O	fumarase	Hidratação	Malato
9	L-malato + NAD <sup>+</sup>	Malato desidrogenase	Oxidação	Oxaloacetato + NADH + H <sup>+</sup>

O oxaloacetato produzido no ciclo de Krebs pode reiniciar um novo ciclo.

## Cadeia respiratória ou transportadora de elétrons e fosforilação oxidativa

As moléculas de NADH e FADH<sub>2</sub> resultantes do ciclo de Krebs (pela redução, respetivamente, de NAD<sup>+</sup> e FAD) transportadoras de elétrons e prótons (e<sup>-</sup> e H<sup>+</sup>), são oxidadas nas reações finais da respiração celular, e os elétrons e prótons são captados pelo oxigénio, aceitador final.

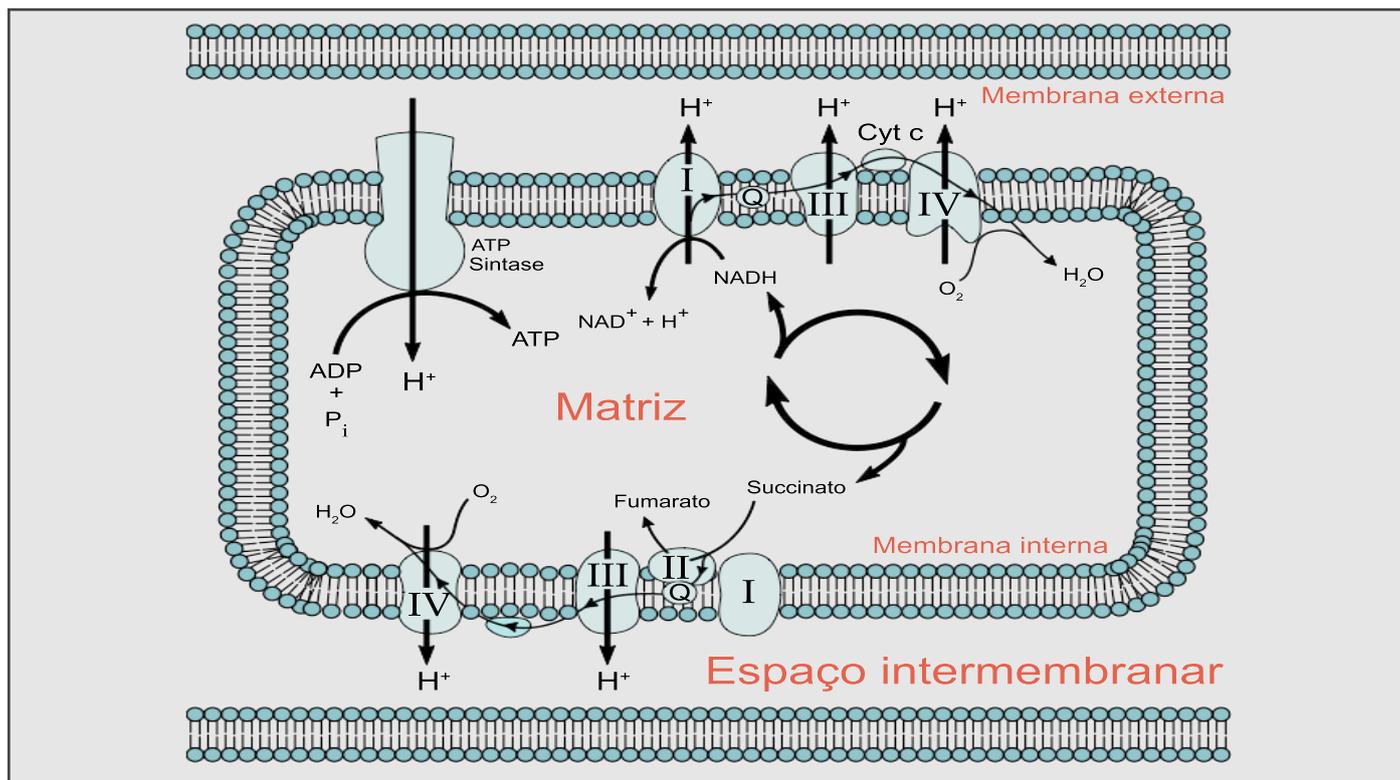
Esta última fase é tripartida:

1. os elétrons passam por uma série de proteínas transportadoras de elétrons – cadeia respiratória – que se encontram na membrana interna da mitocôndria.

2. o fluxo de elétrons ao longo da cadeia respiratória provoca o transporte ativo de prótons ao longo da cadeia através da membrana interna da mitocôndria.

3. os prótons regressam à matriz mitocondrial por difusão – quimiosmose – e, simultaneamente, o ADP sofre uma fosforilação oxidativa formando ATP.

A cadeia transportadora de elétrons contém 3 grandes complexos proteicos na membrana interna da mitocôndria; uma pequena proteína – o citocromo c; e um componente não proteico – a ubiquinona (Q).



1. O  $\text{NADH} + \text{H}^+$  cede elétrons à ubiquinona (Q) numa reação catalisada pela enzima NADH-Q reductase.
2. a citocromo reductase transfere os elétrons da ubiquinona para o citocromo c.
3. do citocromo c os elétrons passam para o oxigénio numa reação catalisada pela citocromo oxidase.

Por cada par de elétrons transportado na cadeia respiratória provenientes de  $\text{NADH} + \text{H}^+$  até ao aceitador final, o oxigénio, formam-se 3 ATPs.

Durante o transporte de elétrons os  $\text{H}^+$  são transportados contra gradiente de concentração através da membrana interna da mitocôndria do interior para o exterior, o espaço intermembranar da mitocôndria. O aumento de concentração de  $\text{H}^+$  no espaço intermembranar irá promover a difusão dos prótons de volta ao

interior da mitocôndria, através de canais proteicos específicos, as sintetases de ATP, promovendo a fosforilação do ADP em ATP.

**Materiais relacionados disponíveis na Casa das Ciências:**

1. [Catabolismo](#), quais as fases do catabolismo?
2. [Ciclo de Krebs: Reações energéticas na mosca tsé-tsé](#), as reações energéticas na mosca tsé-tsé em voo e em repouso
3. [Glicólise](#), como se dá a degradação da glicose na célula
4. [Respiração celular \(Cadeia transportadora de elétrons\)](#), veja o que ocorre dentro da mitocôndria na respiração celular
5. [ATP Sintase e os gradientes biológicos](#), como se faz o ATP na célula(!)

## Autor

Catarina Moreira

Doutoramento em Biologia pela Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

## Editor

José Feijó

Departamento de Biologia Vegetal da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

Referência: Moreira, C. (2013), Revista de Ciência Elementar, 1(01):0007

# Sistemas de transporte nos animais

Os seres vivos necessitam de realizar trocas de substâncias com o meio envolvente. Esta troca de substâncias químicas decorre a nível celular. Para as substâncias atravessarem as membranas celulares a estratégia mais eficaz é quando as substâncias se encontram dissolvidas, implicando que as células estejam embebidas num meio líquido, o fluido intersticial.

Os animais mais simples são aquáticos, como a hidra e não possuem um sistema de transporte especializado. A parede corporal é fina, formada apenas por duas camadas de células, que estão em contacto direto com o meio, permitindo que o oxigénio se difunda diretamente da água para as células e os produtos resultantes do metabolismo sejam igualmente libertados das células para o meio. Os nutrientes difundem-se no interior da cavidade gastrovascular para as células da camada interna.

Em grupos de animais um pouco mais complexos, como os Platelminthes e os Nematelminthes, a difusão dos nutrientes e produtos metabólicos é realizada sem que exista um sistema de transporte especializado.

A difusão, em organismos de maiores dimensões torna-se um processo demasiado lento e inoperante devido ao elevado número de células. À medida que o grau de complexidade dos animais aumenta, surgem sistemas de transporte mais especializados com órgãos também especializados, que estabelecem a ligação entre as células e os sistemas digestivo, respiratório e excretor. O sistema circulatório garante a chegada de nutrientes e oxigénios a todas as células e a eliminação de substâncias tóxicas resultantes do metabolismo. Um sistema de transporte, tipicamente inclui:

- um fluido circulante, sangue ou outro fluido, que garante o transporte de nutrientes, a circulação de substâncias reguladoras, e o transporte de resíduos azotados. Este fluido pode também transportar gases respiratórios.
- um órgão propulsor do líquido circulante, nos animais, geralmente o coração
- um sistema de vasos ou de espaços por onde o fluido circula entre os diferentes órgãos e tecidos do

organismo, permitindo o contacto entre o líquido circulante e o líquido intersticial de todas as células.

## Sistemas de transporte nos invertebrados

### • Sem sistema circulatório

Os animais pertencentes aos filo Porífera, Cnidaria, Platelminthes e Nematelminthes não possuem sistema circulatório, e as trocas são feitas por difusão direta entre o meio e as células.

Nos Cnidaria, a difusão direta ocorre ou através da camada de células interna que reveste a cavidade gastrovascular – a endoderme, ou através da camada celular externa – ectoderme que contacta diretamente com o exterior. Os percursos que as substâncias têm de percorrer são suficientemente pequenos para o processo ser eficaz.

A estrutura dos Platelminthes já é um pouco mais complexa. A cavidade gastrovascular é extremamente ramificada estendendo-se por todo o organismo, garantindo uma grande proximidade às células. As trocas efetuam-se via o fluido intersticial que embebe as células, sendo facilitado por movimentos do corpo do animal.

### • Com sistema circulatório

Os sistemas circulatórios podem ser designados por abertos ou lacunares e fechados.

» **sistemas circulatórios abertos:** o sangue, ou líquido circulante, abandona os vasos condutores e passa para os espaços – as lacunas – fluindo diretamente entre as células. As cavidades cheias de fluido que estão em contacto com as células que constituem o hemocélio. Neste tipo de sistemas não existe diferença entre o líquido circulante e o líquido intersticial que banha as células, tomando uma única designação de hemolinfa. Num sistema circulatório aberto a hemolinfa circula mais lentamente do que num sistema fechado e os animais possuem, em regra movimentos lentos e taxas metabólicas mais baixas (os insetos são a exceção).

Exemplos de animais com sistemas abertos:

Nos Artrópodes o sistema circulatório é constituído por um vaso dorsal, cuja contração impulsiona a hemolinfa para a aorta dorsal na região anterior do corpo, e desta flui para as artérias e depois para as cavidades do corpo, as lacunas. O vaso dorsal forma o coração tubular, e pos-

sui aberturas laterais, os ostíolos, providos de válvulas que impedem o retrocesso da hemolinfa. Quando o vaso dorsal contrai, os ostíolos fecham e a hemolinfa é impulsionada para a aorta, e depois para as lacunas. Quando o vaso dorsal relaxa e os ostíolos abrem, há uma redução da pressão no seu interior, e o líquido é forçado a sair das lacunas através dos ostíolos regressando ao coração tubular.

» **sistemas circulatórios fechados:** o fluido circulante, sangue, só circula através dos vasos, não se misturando com o líquido intersticial.

Os sistemas circulatórios fechados oferecem grandes vantagens em relação aos sistemas abertos.

1. o transporte de oxigénio e nutrientes para os tecidos e o transporte para fora das células dos resíduos metabólicos é mais célere.
2. o sangue pode ser direcionado para tecidos específicos dos organismos
3. os componentes celulares e moléculas de maiores dimensões que atuam no sistema vascular são mantidos no interior do sistema, com perdas reduzidas, como por exemplo, os glóbulos vermelhos e outras moléculas que auxiliam na distribuição de hormonas e nutrientes.
4. permitem taxas metabólicas mais elevadas, com particular importância em animais de grandes dimensões.

Os Anelídeos (a minhoca) são um exemplo de um sistema circulatório fechado muito simples. Existem dois vasos principais: um vaso ventral que transporta o sangue no sentido anterior-posterior e um vaso dorsal que transporta o sangue no sentido oposto. Em cada segmento do corpo da minhoca, pequenos vasos ramificam-se a partir dos vasos dorsal e ventral numa rede de capilares que transporta o sangue para os tecidos. É ao nível dos capilares que ocorrem as trocas gasosas, de nutrientes e resíduos metabólicos entre o sangue e os fluidos intercelulares. Na parte anterior existem cinco pares de vasos que ligam o vaso ventral ao vaso dorsal que completam o sistema. Estes vasos, denominados corações laterais ou arcos aórticos, ao contraírem impulsionam o sangue para o vaso ventral, permitindo uma contínua circulação. A direção do sangue nos vasos é mantida por válvulas unidire-

cionais existentes no vaso dorsal e nos corações laterais, impedindo que o sangue retroceda.

## Sistemas de transporte nos vertebrados

Todos os vertebrados possuem sistemas circulatórios fechados e corações com cavidades, denominando-se geralmente por sistema cardiovascular (do grego kardia, coração e do latim vas, vaso). Os corações com cavidades possuem válvulas que impedem que o sangue retroceda quando o coração contrai, fazendo com que o sangue siga unidirecionalmente. Os diferentes grupos de animais têm corações com diferente número de cavidades, evoluindo no sentido de uma gradual separação da circulação sanguínea em dois circuitos distintos, um pulmonar (ao nível dos pulmões) e o outro sistêmico (no resto do corpo).

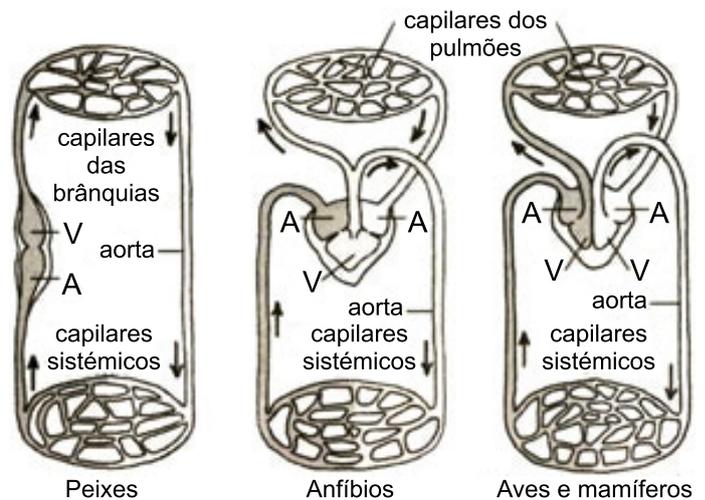
Os sistemas circulatórios fechados incluem artérias que transportam o sangue do coração, que se ramificam em vasos de cada vez menor calibre, as arteríolas e depois os capilares, ao nível dos quais ocorrem as trocas de substâncias e gases com o líquido intersticial dos diferentes tecidos. As vénulas, veias de menor calibre fazem a ligação capilar – veia de retorno ao coração. Os peixes têm circulação simples, ou seja, o sangue é bombeado do coração para as guelras, seguindo para os tecidos do corpo e daí regressa ao coração – por cada circulação completa o sangue só passa uma vez no coração; os outros vertebrados possuem circulação dupla – o sangue percorre dois circuitos diferentes passando duas vezes pelo coração – o sangue é bombeado do coração para os pulmões e daí regressa ao coração – circulação pulmonar – e do coração segue depois para o resto do corpo tornando a regressar ao coração – circulação sistêmica. A circulação dupla é mais eficiente que a simples, é mais rápida e assegura um maior fluxo de sangue para os diferentes órgãos.

### • Circulação simples

#### » Peixes

O coração do peixe tem duas cavidades, uma menos musculada que recebe o sangue venoso vindo do resto do corpo, a aurícula que bombeia o sangue para o ventrículo, uma cavidade mais musculada, que irá impulsionar o sangue pelo cone arterial para as brânquias. Nas brânquias efetuam-se trocas gasosas – hematose branquial – sendo o sangue oxigenado. Das brânquias o sangue segue para a artéria aorta dorsal, que

se ramifica em artérias e arteríolas de menor calibre, espalhando-se em capilares pelos vários órgãos e tecidos. As trocas de oxigênio, de dióxido de carbono e nutrientes dão-se ao nível dos capilares. O sangue venoso regressa via vénulas e veias até ao coração. A pressão com que o sangue sai do ventrículo é dissipada pela elevada resistência do fluxo através das brânquias, entrando na aorta com muito baixa pressão.



### • Circulação dupla e incompleta

#### » Anfíbios

O coração dos anfíbios tem três cavidades: um ventrículo e duas aurículas. Do ventrículo sai sangue para os pulmões onde é oxigenado e liberta dióxido de carbono e sai também sangue para o resto do corpo, transportando o oxigênio para os tecidos e recolhendo o dióxido de carbono resultante do metabolismo celular. A aurícula direita recebe o sangue venoso e a aurícula esquerda o sangue arterial proveniente dos pulmões. Embora as duas aurículas impulsionem o sangue para um só ventrículo, o sangue arterial e o sangue venoso praticamente não se misturam devido à estrutura anatómica do ventrículo, que tende a dirigir o sangue arterial vindo da aurícula esquerda para a aorta e o sangue venoso vindo da aurícula direita entra no ventrículo passando para o cone arterial, no qual existe uma prega espiral que o encaminha para a artéria pulmonar. O facto de as aurículas não bombearem o sangue em simultâneo assegura a não mistura do mesmo no ventrículo. Considera-se assim que nos anfíbios existem dois circuitos: a circulação pulmonar e a sistêmica. Como pode ocorrer al-

guma mistura dos dois tipos de sangue, venoso e arterial, diz-se que os anfíbios têm circulação incompleta.

## » Répteis

À exceção dos crocodilos, cujo coração tem quatro cavidades, os outros répteis têm corações com três cavidades. O coração possui duas aurículas e um ventrículo dividido parcialmente por um septo incompleto. Uma característica interessante dos répteis é que conseguem alterar a distribuição do sangue que vai para os pulmões e para o resto do corpo. Dado que estes animais podem ter longos períodos de inatividade com taxas metabólicas extremamente baixas (mais baixas que as aves e os mamíferos), quando a taxa de respiração é muito baixa eles têm a capacidade de alterar a circulação do sangue desviando-o do circuito pulmonar para o sistêmico. Quando o animal está a inalar ar, o sangue segue preferencialmente do lado direito do ventrículo para o circuito pulmonar (em vez de seguir o circuito sistêmico) porque a resistência pulmonar é inferior e devida à ligeira assincronia da contração ventricular que facilita o impulsionar do sangue no lado direito do ventrículo ligeiramente antes do do lado esquerdo. Quando o sangue oxigenado no lado esquerdo do ventrículo inicia a circulação sente resistência do vaso pulmonar uma vez que esta se encontra cheia de sangue, seguindo então para a via sistêmica. Quando os animais param de inalar ar, os vasos pulmonares sofrem uma forte contração e a resistência no circuito pulmonar aumenta o suficiente para forçar a saída do sangue dos dois lados do ventrículo para uma das aortas, seguindo apenas o circuito sistêmico e não o pulmonar. Os crocodilos, embora possuam o septo ventricular completo dividindo o ventrículo em duas cavidades independentes, não perderam esta capacidade de redirecionamento da circulação sanguínea. Possuem uma aorta com origem no ventrículo direito e outra no ventrículo esquerdo, com um pequeno vaso comunicante entre as duas à saída do coração. Quando o animal está a respirar a pressão no ventrículo esquerdo e respetiva aorta é superior do que no ventrículo direito, bloqueando a passagem de sangue do ventrículo direito para a aorta. Assim o sangue que circula

em ambas as aortas é proveniente do ventrículo esquerdo, e o sangue do ventrículo direito segue a sua rota comum da circulação pulmonar. Quando o animal não respira, a contração dos vasos ao nível do circuito pulmonar faz com que a resistência à circulação sanguínea aumente bastante. Este aumento de pressão faz com que a válvula que liga o ventrículo direito à respetiva aorta abra permitindo que o sangue de ambos os ventrículos circule em ambas as aortas e complete a circulação sistêmica, com consequente redução do fluxo pulmonar.

## • circulação dupla e completa

### » Aves e Mamíferos

Os corações das aves e dos mamíferos têm quatro cavidades bem delimitadas: duas aurículas e dois ventrículos, impedindo qualquer mistura entre sangue venoso e arterial, exceto nos casos de alguma patologia do organismo. Diz-se, portanto, que estes animais têm circulação completa, sendo o lado direito do coração atravessado apenas por sangue venoso e o lado esquerdo por sangue arterial. O sangue venoso chega à aurícula direita vindo dos diferentes tecidos pelas veias cavas, passa para o ventrículo direito e deste para a artéria pulmonar, que o conduz aos pulmões. O sangue arterial entra na aurícula esquerda via veias pulmonares e passa para o ventrículo esquerdo. A contração do ventrículo impulsiona o sangue para artéria aorta que à saída do coração se curva – crossa da aorta – para a direita nas aves e para a esquerda nos mamíferos.

A separação das circulações pulmonar e sistêmica tem grandes vantagens para os animais:

- os sangues venoso e arterial não se misturam, logo o circuito sistêmico recebe sempre o sangue altamente oxigenado
- as trocas gasosas são maximizadas porque o sangue com maior teor de dióxido carbono e menor teor de oxigénio é enviado para os pulmões, onde é oxigenado.
- a separação das duas circulações permite que funcionem a pressões diferentes aumentando a eficácia: como as aves e os mamíferos têm requisitos nutricionais e energéticos elevados, possuem uma rede de capilares bem desenvolvida mas que

representa um aumento da resistência ao fluxo de sangue. Assim o sangue na circulação sistêmica necessita de uma grande pressão para manter o fluxo enquanto que ao nível da circulação pulmonar não só a rede de capilares não é tão extensa como a pressão necessária ao fluxo pode ser inferior.

- maior capacidade na produção de calor corporal que é uniformemente distribuído pelo corpo, permitindo manter a temperatura constante – animais homeotérmicos.

## Circulação sanguínea humana

Tal como todos os outros mamíferos o ser humano tem um coração com quatro cavidades (duas aurículas e dois ventrículos) e uma circulação dupla e completa.

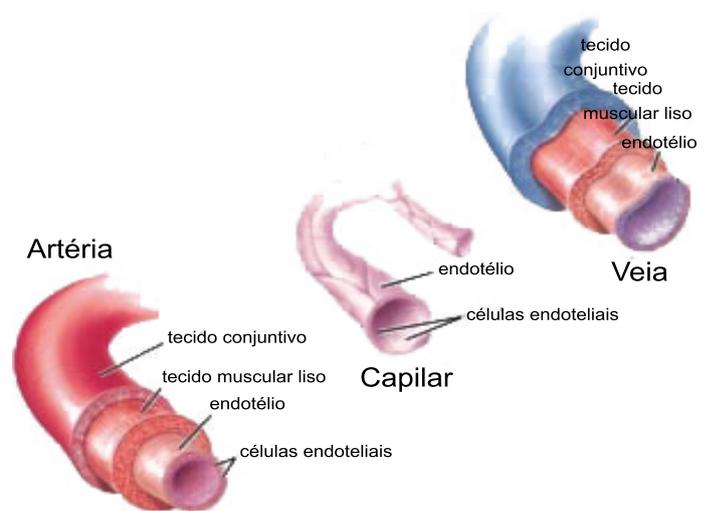
### • vasos sanguíneos

Os vasos sanguíneos apesar de terem uma aparência semelhante apresentam diferenças estruturais. As paredes das veias e artérias são constituídas por três camadas de diferentes tecidos – as túnicas:

- » **túnica externa:** tecido conjuntivo elástico muito fibroso que confere elasticidade ao vaso
- » **túnica média:** formada por uma camada de tecido muscular liso e por uma camada de tecido conjuntivo rico em fibras elásticas. Esta túnica é mais desenvolvida nas artérias do que nas veias, dado o sangue circular com maior pressão nas primeiras.
- » **túnica interna:** constituída por um tecido epitelial de revestimento, o endotélio, e pela membrana basal, uma camada não celular rica em proteínas e polissacáridos que liga o endotélio às restantes túnicas. As artérias têm ainda fibras elásticas extra.

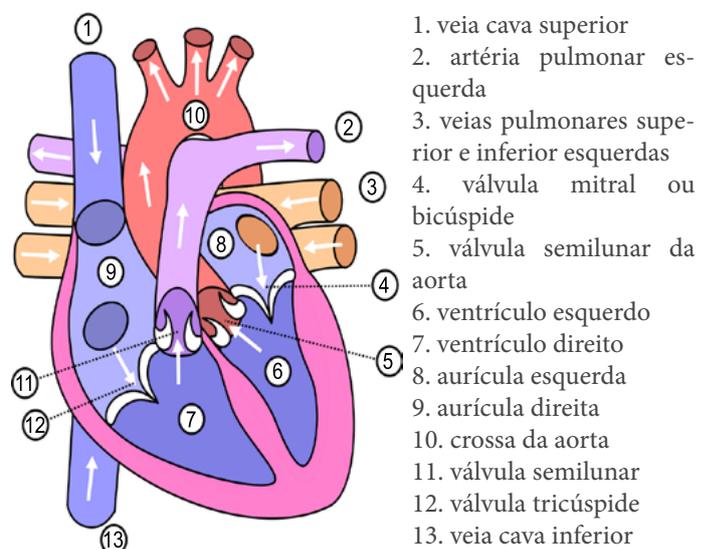
A parede das artérias é tão espessa que ela própria é irrigada por vasos sanguíneos. Os vasos capilares têm um parede muito fina constituída por uma única camada de células, o endotélio, que facilita a troca de substâncias entre o sangue e os tecidos. A saída e entrada de substâncias nos capilares é feita através de pequenos poros na parede e é regulada pela pressão sanguínea e pelas diferenças de pressão osmótica no sangue e no fluido intersticial. Grande parte do fluido intersticial volta a entrar no sistema vascular no extremo venoso dos capilares, dado a pressão já ser mais baixa e o sangue se en-

contrar hipotónico em relação ao fluido intersticial depois das trocas.



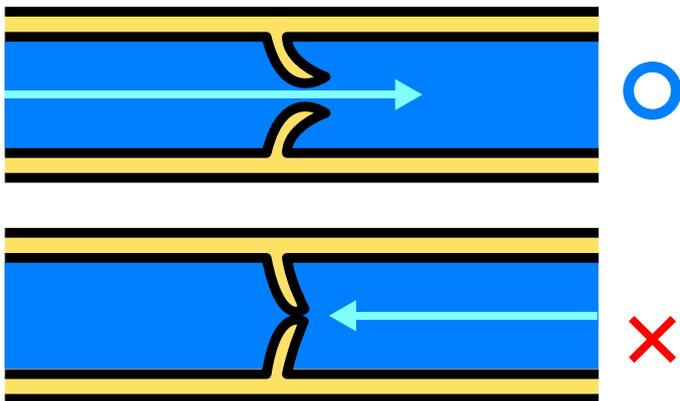
### • o coração

O coração é formado por uma parede de tecido muscular cardíaco, o miocárdio. O miocárdio é mais fino ao nível das aurículas e bastante desenvolvido ao nível dos ventrículos, porque o sangue é impulsionado a partir destas cavidades com maior pressão. O ventrículo esquerdo possui o miocárdio mais espesso que o direito uma vez que o sangue bombeado sai para a artéria aorta para a circulação sistêmica, enquanto que o sangue do ventrículo direito sai para a circulação pulmonar mais curta via artéria pulmonar. O músculo cardíaco é altamente irrigado pelas ramificações das artérias coronárias a partir da base da aorta e regressa à aurícula direita via veia coronária.



Adaptado de Dake em [Wikimedia Commons: Heart](#)

O sangue sai sob pressão do coração para as artérias, ligadas aos ventrículos. O sentido da corrente sanguínea no coração é controlado pelas válvulas existentes nos orifícios de ligação entre as aurículas e os ventrículos: válvula bicúspide ou mitral no lado esquerdo e tricúspide no lado direito. O sangue pode passar no sentido aurícula ventrículo do mesmo lado mas fica impedido de regressar à aurícula a partir do ventrículo. À saída do coração para as grandes artérias – pulmonar e aorta – também existem válvulas semilunares ou sigmóides que impedem o refluxo do sangue para o coração. Nas veias também existem válvulas venosas que impedem o refluxo do sangue nesse vasos, garantido que a circulação do sangue se faz sempre no mesmo sentido.



O coração tem movimentos rítmicos de contração, as sístoles, e de relaxamento, as diástoles que provocam diferenças de pressão responsáveis pela circulação do sangue. A sequência de sístoles e diástoles denomina-se ciclo cardíaco, com as seguintes fases:

- » diástole geral: relaxamento do miocárdio, as válvulas sigmóides estão fechadas e as válvulas aurículo-ventriculares abertas. O sangue flui continuamente das veias para as aurículas, e passivamente das aurículas para os ventrículos do mesmo lado.
- » sístole auricular: a parede das aurículas contrai e força a passagem do sangue para os ventrículos.
- » sístole ventricular: a parede dos ventrículos contrai, fecham-se as válvulas aurículo-ventriculares, devido ao aumento da pressão intra-ventricular, impedindo que o sangue regresse às aurículas. O aumento da pressão sanguínea provoca a abertura das válvulas semilunares

e o sangue sai para as artérias exercendo uma pressão nesses vasos, designada pressão arterial.

Os músculos das paredes ventriculares vão descontraindo, e as válvulas sigmóides fecham, as válvulas aurículo-ventriculares tornam a abrir e inicia-se novo ciclo cardíaco com a diástole geral. Um ciclo cardíaco dura em média 0.8 segundo, sendo a diástole geral a fase mais longa, isto é, o coração está mais tempo em relaxamento do que em contração.

## Circulação sanguínea – mecanismo de fluxo do sangue nos vasos sanguíneos

O calibre das artérias e das veias é maior do que o dos capilares, mas a rede de capilares é muito mais extensa, sendo a área capilar total muito superior à das artérias ou veias (ver fig). Nos capilares arteriais, devido ao reduzido diâmetro a resistência oferecida à passagem do sangue é superior à oferecida pelas arteríolas e a desta superior à das artérias e veias, fazendo com que o sangue flua mais lentamente nestes vasos.

A resistência ao fluxo nos capilares favorece o intercâmbio de substâncias entre o sangue e o líquido intersticial por difusão e osmose, como a saída do plasma para o líquido intersticial. A pressão é máxima nas artérias, diminuindo ao longo das arteríolas e dos capilares e com valores quase nulos na veia cava. O valor máximo (cerca de 120 mmHg) registado nas artérias corresponde ao momento da sístole ventricular e o valor mínimo (cerca de 80 mmHg) ao da diástole ventricular.

O ventrículo esquerdo ao contrair injeta o sangue, sob pressão, na aorta o que provoca um aumento da pressão ao nível das artérias que oferecem mais resistência ao fluxo. Diz-se que as artérias são, por isso, reservatórios de pressão. As paredes elásticas das artérias tendem a contrair-se durante a diástole, mas como os ventrículos contraem novamente antes de o sangue passar totalmente às arteríolas, a pressão torna a aumentar. A pressão sanguínea é controlada pela pressão dos ventrículos em sístole e pela resistência oferecida pela rede de arteríolas à passagem do sangue. Se as paredes das arteríolas se contraírem aumentam ainda mais a resistência e a pressão a nível das artérias que as antecedem. O contrair e dilatar das arteríolas e músculos circulares – os esfíncteres – que existem em alguns capilares regulam a distribuição de sangue pelos órgãos. O fluxo de sangue nos diferentes órgãos

é controlado pela abertura ou fecho dos esfíncteres. Quando um músculo está ativo todos os esfíncteres da rede de capilares local podem-se abrir, permitindo um eficiente transporte de oxigénio e nutrientes e remoção de resíduos metabólicos.

Quando o sangue atinge as veias a sua pressão já é bastante reduzida. Diz-se que as veias são reservatórios de sangue (por oposição às artérias que são reservatórios de pressão), contendo 50 a 60% do volume total de sangue. Para o sangue regressar ao coração proveniente das veias existem vários mecanismos e adaptações:

- as veias são vasos de baixa resistência, com diâmetro superior ao das artérias correspondentes e com uma camada muscular das paredes menos espessa
- a ação de músculos esqueléticos que envolvem as veias que quando contraem as comprimem exercendo pressão no sangue e obrigando-o a circular
- as válvulas venosas impedem o retrocesso do sangue
- os movimentos respiratórios de inspiração e ex-

piração: durante a inspiração a pressão baixa na caixa torácica provocando uma expansão da veia cava inferior e de outras veias próximas do coração, e um fluxo de sangue para as veias mais afastadas.

- a quebra de pressão nas aurículas durante a diástole também favorece o movimento do sangue

**Materiais relacionados disponíveis na Casa das Ciências:**

1. [Circulação da água e nutrição nas esponjas \(Porifera\)](#), todos os detalhes da anatomia e alimentação das esponjas
2. [Sistema Excretor - Ultrafiltração, Transporte e Absorção](#), conheça melhor os sistemas excretores dos animais.
3. [Introdução ao estudo do sangue e linfa](#), linfa e sangue. Descubra a diferença
4. [Unidade - Sistema Cardiovascular](#), Descubra o sistema cardiovascular nesta aplicação interativa...
5. [Sistema Cardiovascular - Aplicação para quadro interativo](#), como funciona o Sistema Circulatório? Veja aqui...

## Autor

Catarina Moreira

Doutoramento em Biologia pela Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

## Editor

José Feijó

Departamento de Biologia Vegetal da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

Referência: Moreira, C. (2013), Revista de Ciência Elementar, 1(01):0008

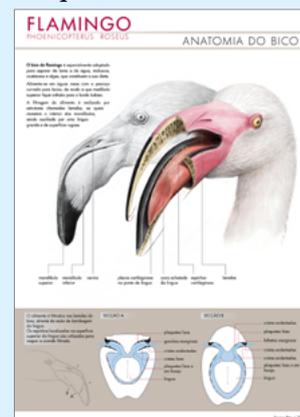
## Prémios Casa das Ciências 2014

Os prémios Casa das Ciências são, desde 2010 uma referência no panorama nacional, do reconhecimento que deve ser dado a todos aqueles que contribuem com o seu trabalho e saber, para a produção de recursos educativos digitais. Foram atribuídos ao longo destes três anos, Prémios de Mérito Distinção e Excelência num total de 43 materiais premiados, abrangendo 40 membros, na sua maioria docentes do Ensino básico e secundário que, tendo submetido os seus materiais ao portal e tendo sido publicados após apreciação dos referees, foram considerados pelo Júri como devendo ser distinguidos.

Desde 2012 que foi estendida esta ação à Imagem (Desenho / Ilustração Científica e Fotografia) dada a altíssima qualidade do que tem vindo a ser submetido e aprovado neste componente do portal.

Até ao final de 2003, esperamos os contributos de todos os que depositam na Casa das Ciências os seus trabalhos para que em 2014, provavelmente em Maio como habitualmente, possamos mais uma vez distinguir os melhores na cerimónia pública de entrega dos prémios que deverá decorrer, também como habitualmente nas instalações da Fundação Calouste Gulbenkian em Lisboa.

Consulte o regulamento em [casadasciencias.org](http://casadasciencias.org).



Anatomia do flamingo

Ilustração premiada em 2013

## Centro de massa

O centro de massa de um sistema de  $N$  corpos pontuais ou de um corpo macroscópico é um ponto representativo do movimento global de translação do corpo, ao qual é atribuída a massa total do sistema. Considera-se que todas as forças externas que atuam no corpo são aplicadas neste ponto, e o seu movimento é dado pela segunda lei de Newton. Coincide com o centro geométrico do corpo nos casos de elevada simetria e quando todas as partículas do sistema tiverem a mesma massa ou de a massa estar uniformemente distribuída pelo corpo.

### Posição do CM

A sua posição é definida como a média ponderada pela massa de cada partícula, das posições de todas as partículas que constituem o corpo, e a sua massa como a massa total do corpo. Para um corpo de  $N$  partículas:

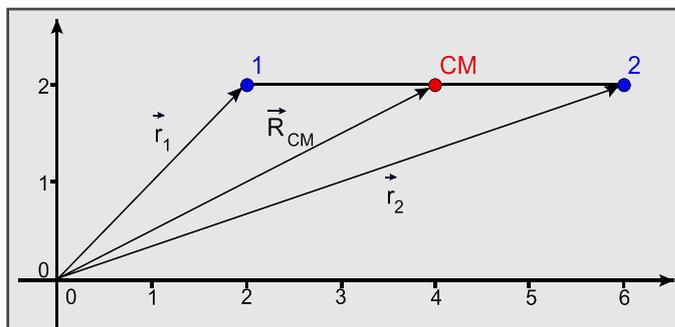
$$\vec{R}_{CM} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^N m_i \vec{r}_i$$

em que  $M$  é a massa total,  $m_i$  é a massa da partícula  $i$  e  $\vec{r}_i$  a sua posição.

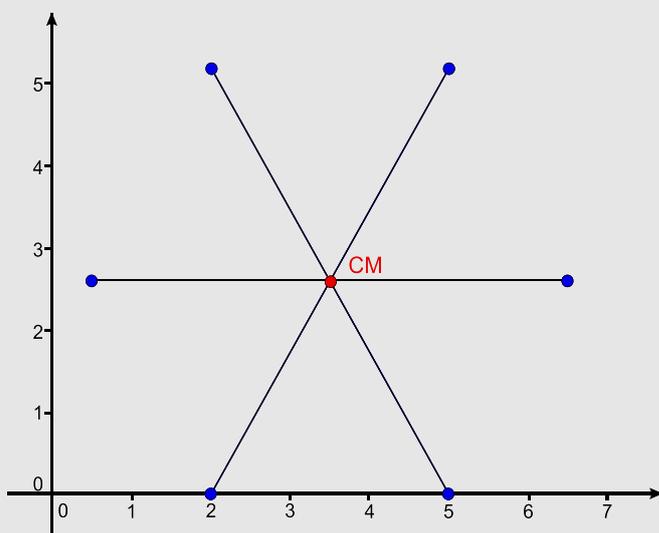
Para sistemas de  $N$  partículas de igual massa que formam um polígono de  $N$  vértices, o centro de massa coincidirá com o centro geométrico do objeto, como ilustrado abaixo. Também é verdade para sólidos em que a distribuição de massa é uniforme (isto é, quaisquer duas partes do corpo com volumes iguais têm massas iguais).

Se estas distribuições fossem uma linha, hexágono ou triângulo com a massa distribuída uniformemente pelo plano, teríamos o centro de massa no mesmo sítio, independentemente da massa total. No entanto, não podemos utilizar a forma dada acima para o cálculo analítico da posição, pois o corpo seria uma distribuição contínua de massa, e não um conjunto discreto de partículas. Nestes casos, define-se uma função densidade de massa do corpo,  $\rho(\vec{r})$  que em cada ponto do corpo na posição  $\vec{r}$  tem o valor  $\frac{dm}{dV}$  em que  $dm$  e  $dV$  são, respetivamente, a massa e o volume do elemento infinitesimal do corpo nessa posição.

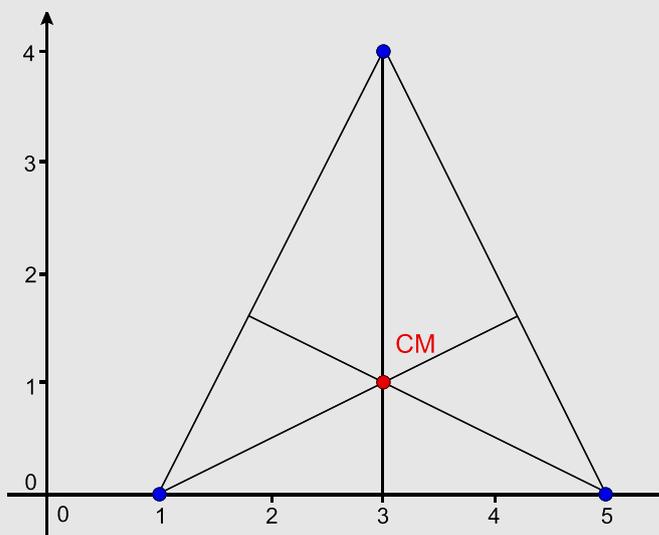
No caso discreto, em que o corpo é constituído por  $N$  partículas de massa  $m_i$  na posição  $\vec{r}_i$ , a função



Centro de massa do sistema constituído pelas partículas 1 e 2 de igual massa.



Centro de massa do sistema constituído por partículas de igual massa dispostas num hexágono.



Centro de massa do sistema constituído por partículas de igual massa dispostas num triângulo isósceles.

densidade de massa é simplesmente  $\rho(\vec{r}) = m_i$  se  $\vec{r} = \vec{r}_i$  e 0 se  $\vec{r} \neq \vec{r}_i$ .

No caso de um corpo de massa  $M$  e volume  $V$  em que a massa está distribuída uniformemente, temos

$$\rho(\vec{r}) = \frac{dm}{dV} = \frac{M}{V}.$$

Tendo isto em consideração, para um corpo contínuo de densidade de massa  $\rho(\vec{r})$ , que ocupa um volume  $V$ :

$$\vec{R}_{CM} = \frac{1}{M} \int \vec{r} dm = \frac{1}{M} \int_V \vec{r} \rho(\vec{r}) dV$$

O símbolo  $\int$  representa a operação de integrar (equivale a somar todos os valores da função no intervalo considerado) a função  $\vec{r} \rho(\vec{r})$  sobre todo o volume  $V$ .

Note-se que em nenhum dos casos, discreto ou contínuo, é obrigatório que o centro de massa esteja localizado no volume que constitui o corpo.

### Velocidade e quantidade de movimento do CM

Derivando  $\vec{R}_{CM}$  em ordem ao tempo obtemos as relações (também válidas na formulação integral)

$$\vec{V}_{CM} = \frac{d}{dt} \vec{R}_{CM} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^N m_i \frac{d\vec{r}_i}{dt} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^N m_i \vec{v}_i$$

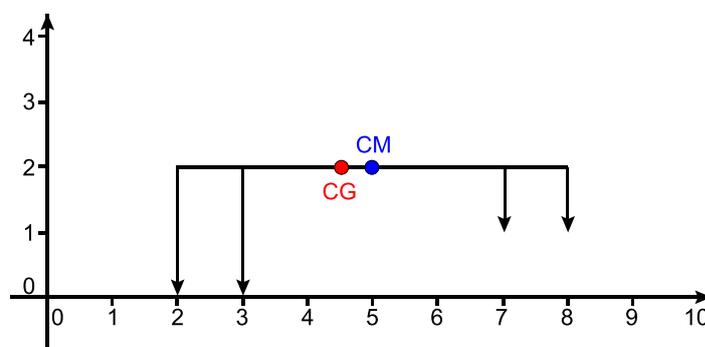
$$\vec{A}_{CM} = \frac{d^2}{dt^2} \vec{R}_{CM} = \frac{d}{dt} \vec{V}_{CM} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^N m_i \frac{d\vec{v}_i}{dt} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^N m_i \vec{a}_i$$

$$\vec{P}_{CM} = M\vec{V}_{CM}$$

### Centro de gravidade

Centro de gravidade é o ponto por onde se deve fixar o objeto de modo a que este não rode sob a ação do campo gravítico, i.e., se for aplicada uma força igual e simétrica à força gravítica total, de modo a que a força resultante das duas é nula nesse ponto, também o momento da força gravítica é nulo. Nos casos em que o campo gravítico é uniforme no volume onde se encontra o corpo, o centro de gravidade e o centro de massa coincidem. Caso contrário, o centro de gravidade irá estar deslocado.

Consideremos o exemplo da figura. A barra tem uma distribuição de massa uniforme, no entanto, o campo gravítico na primeira metade é o dobro do campo na segunda (a força gravítica está ilustrada pelos vetores na imagem). Caso a barra seja fixa na posição do centro de massa, irá existir um momento de força não nulo que fará a barra rodar, apesar da força exercida pelo suporte ser igual à força gravítica total exercida na barra. Mas se o suporte for colocado no ponto assinalado como centro de gravidade, a barra irá ficar em repouso, pois o momento de força total também é nulo.



### Referências

1. Feynman, R., Leighton, R. & Sands, M., The Feynman Lectures on Physics, Vol. 1, Addison-Wesley Publishing, 1963.
2. Deus, J.D., Pimenta, M., Noronha, A., Peña, T. & Brogueira, P., Introdução à Física, 2ª edição, McGraw-Hill, 2000.

#### Autor

Mariana de Araújo  
Licenciatura em Física na Faculdade de  
Ciências da Universidade do Porto

#### Editor

Joaquim Agostinho Moreira  
Departamento de Física e Astronomia da  
Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Referência: de Araújo, M. (2013), Revista de Ciência Elementar, 1(01):0009

## Forças conservativas e energia potencial

Uma força diz-se conservativa quando o trabalho realizado é independente da trajetória descrita, dependendo apenas das posições inicial e final. Em particular, quando a trajetória é fechada, ou seja, quando as posições inicial e final coincidem, o trabalho realizado pela força conservativa é nulo.

O carácter conservativo de uma força implica que o trabalho seja uma grandeza posicional, podendo ser expresso a partir da variação de uma energia potencial,  $E_p(\mathbf{r})$ , associada ao campo de forças que dá origem à interação. A energia potencial é uma função da posição que depende da configuração do sistema. O leitor, com certeza, conhece a energia potencial gravitacional. Outras formas de energia potencial são a elástica e a eletrostática.

### Teorema da conservação da energia mecânica

Consideremos uma força conservativa. O trabalho realizado por uma força ao deslocar o seu ponto de aplicação do ponto A até ao ponto B pode ser escrito à custa da variação de energia potencial associada ao campo de força:

$$W = E_p(\text{inicial}) - E_p(\text{final}) = E_p(A) - E_p(B)$$

Tomando:

$$\Delta E_p = E_p(B) - E_p(A), \quad (1)$$

ficamos com

$$W = -\Delta E_p.$$

Consideremos agora o teorema do trabalho-energia:

$$W = E_c(B) - E_c(A), \quad (2)$$

em que  $E_c(B)$  e  $E_c(A)$  são os valores da energia cinética da partícula quando passa pelas posições B e A, respetivamente. Tendo em consideração as equações (1) e (2), podemos escrever:

$$E_p(A) - E_p(B) = E_c(B) - E_c(A),$$

ou seja:

$$E_p(A) + E_c(A) = E_p(B) + E_c(B),$$

independentemente dos pontos A e B considerados. À soma das energias cinética e potencial designa-se por energia mecânica. Da última expressão concluímos que a energia mecânica do corpo sujeito apenas à ação da força conservativa é constante. Este é o enunciado do teorema da conservação da energia mecânica.

### Autor

Miguel Ferreira  
Licenciatura em Física na Faculdade de  
Ciências da Universidade do Porto

### Editor

Joaquim Agostinho Moreira  
Departamento de Física e Astronomia da  
Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Referência: Ferreira, M. (2013), Revista de Ciência Elementar, 1(01):0010

## Lei da gravitação universal

A interação gravitacional é uma das interações fundamentais da Natureza, que se traduz pela atração entre as massas. É das interações mais fracas, e não desempenha nenhum papel fundamental na organização da matéria a nível microscópico. Contudo, tem longo alcance e é responsável pela organização do universo

e suas estruturas.

A lei da gravitação universal foi enunciada por Isaac Newton (1643-1727) em 1687 na sua obra *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*. Esta lei explicita a forma da força atrativa que existe entre dois corpos devido ao facto de terem massa, mas nada diz sobre a

sua origem, que só foi explicada mais tarde pela Teoria da Relatividade Geral de Albert Einstein. Nesta obra Newton também mostrou como as Leis de Kepler são consequência desta lei.

A força gravitacional entre dois corpos pontuais, com massas  $m_1$  e  $m_2$ , é diretamente proporcional ao produto das massas gravitacionais, e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre eles. A força tem a direção da reta que une as massas pontuais.

Matematicamente, a força que o corpo de massa  $m_1$  exerce sobre o corpo de massa  $m_2$  é dada por:

$$\vec{F}_{12} = -G \frac{m_1 m_2}{|\vec{r}_{12}|^2} \hat{e}_{12}$$

em que  $\vec{r}_{12}$  é o vetor com origem no corpo  $m_1$  e extremidade no corpo  $m_2$ , e  $\hat{e}_{12}$  é um vetor unitário com a direção e sentido de  $\vec{r}_{12}$ , como ilustrado na figura 1.

$G$  é a constante de gravitação universal, que no Siste-

ma Internacional tem o valor  $6.67428(67) \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$ . A força gravitacional satisfaz a lei do par ação-reação de Newton. Assim, a força que o corpo  $m_2$  exerce sobre o corpo  $m_1$ ,  $\vec{F}_{21}$  é simétrica à força  $\vec{F}_{12}$  e aplicada no corpo  $m_2$ :

$$\vec{F}_{21} = -G \frac{m_2 m_1}{|\vec{r}_{21}|^2} \hat{e}_{21}$$

como indicado na figura 2. Note-se que  $\vec{F}_{12}$  e  $\vec{F}_{21}$ , formando um par ação-reação, estão aplicadas em corpos distintos.

Apesar de ser válida para a maioria dos sistemas gravitacionais observados, há fenómenos que só são explicados utilizando Relatividade Geral. É o caso da precessão da órbita de Mercúrio e da deflexão de raios de luz por efeitos gravitacionais. A Relatividade Geral é mais utilizada quando é requerida uma extrema precisão nos resultados, ou quando os sistemas envolvem corpos muito massivos ou muito densos.

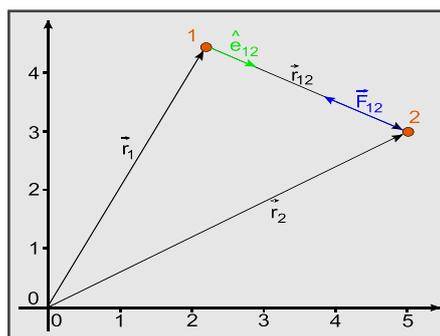


Figura 1

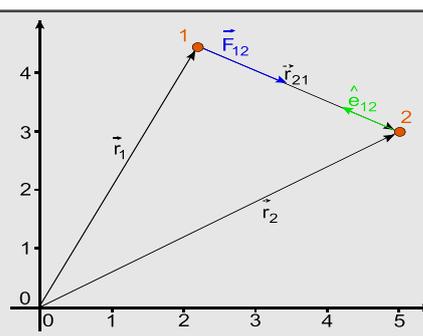


Figura 2

## Referências

- 2006 CODATA recommended values, <http://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?bg>
- Newton, Isaac, *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (“*Mathematical Principles of Natural Philosophy*”), London, 1687.
- Lorentz, H.A. & Einstein A. & Minkowski, H. (2001), *O Princípio da Relatividade*, 5ª edição, Fundação Calouste Gulbenkian.

### Autor

Mariana de Araújo  
Licenciatura em Física na Faculdade de  
Ciências da Universidade do Porto

### Editor

Joaquim Agostinho Moreira  
Departamento de Física e Astronomia da  
Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Referência: de Araújo, M. (2013), *Revista de Ciência Elementar*, 1(01):0011

# Leis da dinâmica de Newton

As leis de Newton são um conjunto de três leis que relacionam as forças exercidas sobre um corpo com o seu movimento, e são suficientes para descrever completamente e de forma determinista a dinâmica

de qualquer sistema clássico, conhecidas as forças que sobre ele atuam, e as posições e velocidades de cada partícula num instante  $t_0$ . Foram enunciadas por Sir Isaac Newton no seu livro *Philosophiae Naturalis*

Principia Mathematica em 1687 <sup>[1]</sup>.

- **Primeira Lei (Lei da inércia):** Um corpo em repouso ou em movimento retilíneo uniforme permanecerá nesse estado, se a resultante das forças que nele atuam for nula.
- **Segunda Lei (Lei fundamental da dinâmica):** A taxa de variação temporal da quantidade de movimento de um corpo é igual à força resultante nele exercida, e tem a direção dessa força.
- **Terceira Lei (Lei da ação-reação):** Para cada ação existe uma reação igual e oposta; i.e, as forças resultantes da interação entre dois corpos são iguais e simétricas, cada uma delas aplicada a um dos corpos.

Os sistemas físicos governados por estas leis são usualmente chamados sistemas clássicos. Estas leis, na sua formulação original, falham no limite quântico, e situações de altas velocidades e de altas energias, em que é necessário aplicar a Mecânica Quântica e Relatividade Geral.

É de notar também que a terceira lei, na formulação aqui apresentada, implica que a perturbação que origina as forças se propagou a uma velocidade infinita. Uma formulação mais geral e correta não impõe a simetria das forças. No entanto, na generalidade dos casos clássicos (excetuando a eletrodinâmica), esta lei pode ser assim utilizada, uma vez que as velocidades dos corpos envolvidos são muito inferiores à velocidade de propagação da interação, podendo-se desprezar o intervalo de tempo de propagação e considerar, para todos os efeitos práticos, como instantânea.

## Primeira Lei ou lei da inércia

Um corpo em repouso ou em movimento retilíneo uniforme permanecerá nesse estado, se a resultante das forças que nele atuam for nula.

Esta lei é utilizada na definição de um referencial inercial. Apesar de poder aparentar ser um corolário da segunda lei, na verdade ela define os referenciais em que a segunda lei é válida.

## Segunda Lei

A taxa de variação temporal da quantidade de movimento de um corpo é igual à força resultante nele exercida, e tem a direção dessa força.

Em notação vetorial, sendo que a força resultante é a soma vetorial de todas as forças que atuam no corpo:

$$\sum_{i=1}^N \vec{F}_i = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} = m \frac{d\vec{v}}{dt} + \vec{v} \frac{dm}{dt}$$

Nos casos em que a massa do corpo não varia, esta lei toma a forma mais conhecida:

$$\sum_{i=1}^N \vec{F}_i = m\vec{a}$$

Traduz também a conservação do momento linear do corpo no caso da resultante das forças ser nula:

$$\sum_{i=1}^N \vec{F}_i = 0 = \frac{d\vec{p}}{dt} \Rightarrow m\vec{v} = \text{constante}$$

Considere-se agora um sistema formado por N corpos. De um modo geral, estes corpos interatuam entre si e com os corpos exteriores ao sistema. As interações entre os corpos do sistema satisfazem a terceira lei de Newton, pelo que a sua resultante é nula. Contudo, a resultante das forças com origem na interação do sistema com a vizinhança, pode não ser nula. A aplicação da segunda lei de Newton ao sistema de N corpos conduz à equação:

$$\sum_{i=1}^N \vec{F}_i^{(externa)} = \sum_{i=1}^N \frac{d\vec{p}_i}{dt} = \frac{d}{dt} \left( \sum_{i=1}^N \vec{p}_i \right)$$

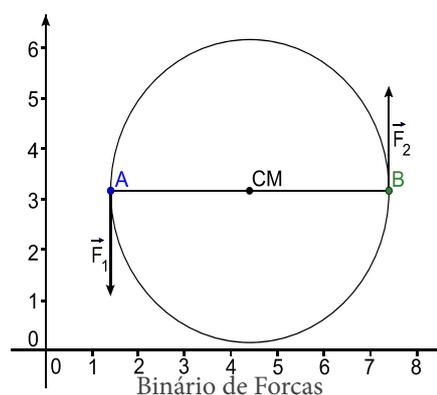
sendo  $\vec{F}_i^{(externa)}$  a força resultante das interações externas sobre o corpo i, e  $\vec{p}_i$  a sua quantidade de movimento. Utilizando a definição de quantidade de movimento do centro de massa, é imediato verificar que:

$$\sum_{i=1}^N \vec{F}_i^{(externa)} = \frac{d\vec{P}_{CM}}{dt}$$

isto quer dizer que o movimento global de translação do sistema, sob a ação das forças externas, pode ser descrito pelo movimento do centro de massa. No entanto, podem atuar no corpo forças que, apesar de

terem resultante nula, provocam movimento de rotação do corpo, não havendo movimento do seu centro de massa.

Consideremos o caso simples de um binário de forças, como ilustrado na figura. Os pontos A e B têm a mesma massa, estão rigidamente ligados pelo segmento entre eles, e o sistema está inicialmente em repouso num plano. Se aplicarmos duas forças  $\vec{F}_1$  e  $\vec{F}_2$ , de igual módulo e sentidos opostos, nos pontos A e B respetivamente, o centro de massa permanecerá fixo, mas os pontos A e B irão descrever um círculo em torno dele.



## Referências

1. Newton, Isaac, *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (“*Mathematical Principles of Natural Philosophy*”), London, 1687.
2. Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J., *Fundamentals of Physics*, J. Wiley & Sons, 2001.
3. Feynman, R., Leighton, R. & Sands, M., *The Feynman Lectures on Physics*, Vol. 1, Addison-Wesley Publishing, 1963.
4. Alonso, M. & Finn, E., *Física*, Addison Wesley, 1999.

### Autor

Mariana de Araújo  
Licenciatura em Física na Faculdade de  
Ciências da Universidade do Porto

### Editor

Joaquim Agostinho Moreira  
Departamento de Física e Astronomia da  
Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Referência: de Araújo, M. (2013), *Revista de Ciência Elementar*, 1(01):0012

# Momento de uma força

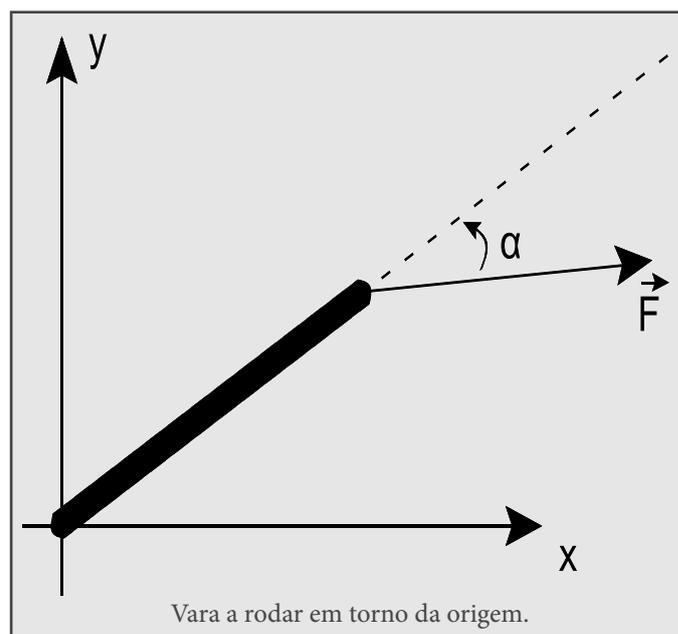
O momento de uma força mede o efeito rotativo da força aplicada a um corpo, em torno de um ponto, um fulcro ou um eixo.

## Efeito rotativo de uma força aplicada a um sólido com um ponto fixo e momento polar de uma força

Considere-se uma vara fina que pode rodar livremente em torno de um dos seus extremos, que se mantém fixo através de um pivô ou fulcro. Suponhamos que se aplica uma força  $F$  na vara, cujas características intensidade e direção se mantêm inalteradas.

Uma vez que o ponto extremo da vara é fixo, a vara não se translada sob a ação da força aplicada. Note-se que o pivô garante, nas condições impostas pela resistência do material, a força necessária para que a resultante das forças aplicadas na vara seja nula. Contudo, sob a ação da força aplicada, a vara roda em torno da extremidade fixa. A experiência mostra que o efeito rotativo da força depende:

i. Da direção da força relativamente à direção longi-



tudinal da vara;

ii. Da distância entre a extremidade fixa e o ponto onde se aplica a força;

iii. Da intensidade da força.

Em particular, a força não tem qualquer efeito rotativo sobre a vara se:

- i. a distância entre a extremidade fixa e o ponto onde se aplica a força é nula;
- ii. a direção da força for paralela à vara.

O efeito rotativo da força em relação a um ponto fixo O é dado pelo momento polar da força relativamente ao ponto O, definido matematicamente pela expressão:

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$$

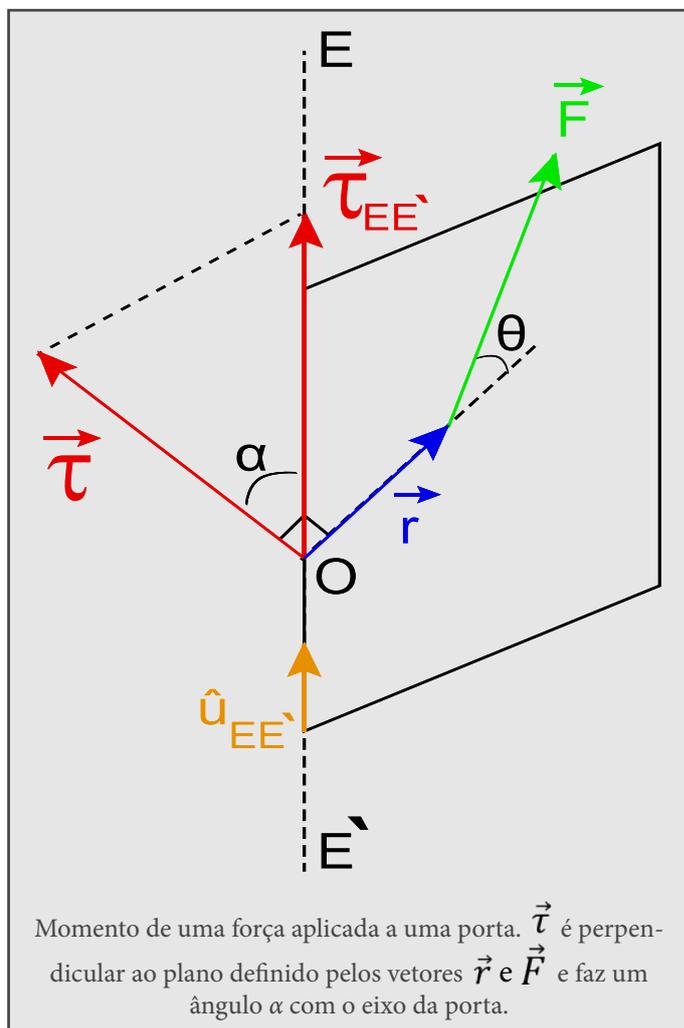
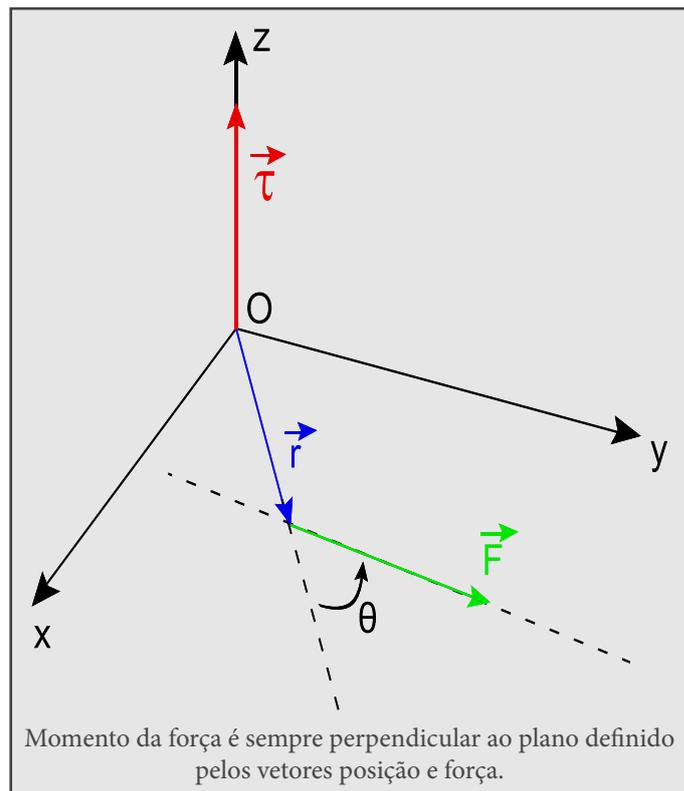
sendo  $\vec{r}$  o vetor de posição do ponto de aplicação da força  $\vec{F}$  em relação ao ponto fixo O. Note-se que o momento polar da força é perpendicular ao plano definido pelos vetores  $\vec{r}$  e  $\vec{F}$ , e o seu efeito é máximo quando a força for perpendicular ao vetor  $\vec{r}$ .

### Efeito rotativo de uma força aplicada a um corpo móvel em torno de um eixo fixo

Todas as pessoas passaram pela experiência de abrir uma porta e têm a noção de que para a abrir é preciso aplicar uma força do puxador da mesma. A força que se aplica para abrir ou fechar a porta é perpendicular à porta. Mas pensemos o que se passa quando se aplica uma força paralela à porta com a mesma intensidade: a porta não abre nem fecha! Pensemos agora (e é uma experiência que o leitor pode fazer em casa... basta ter uma porta!) que se pretende fechar uma porta aplicando uma força perpendicular à porta, mas em pontos cada vez mais próximos ao eixo em torno do qual a porta se move. A experiência mostrará que à medida que o ponto onde se aplica a força se aproxima do eixo, mais “difícil” é fechar a porta; por outras palavras, são necessárias forças de amplitude crescente para acelerar a porta e fechá-la.

Esta experiência permite-nos concluir que para pôr uma porta em rotação em torno do seu eixo (ou seja abrir ou fechar) é preciso ter em consideração o ponto de aplicação da força e a força.

Analisemos com mais detalhe o que se passa. Em primeiro lugar consideremos que a força se aplica perpendicularmente ao plano definido pela porta, ou seja, perpendicularmente ao eixo de rotação da porta, que designaremos por EE'. Escolhamos um ponto O sobre o eixo da porta. O momento polar da força em



relação ao ponto O é paralelo ao eixo de rotação e a porta roda.

Se a direção da força for paralela à porta, o momento da força em relação ao ponto O é perpendicular ao eixo de rotação EE' e a porta não roda. Pelo que acabamos de ver, o efeito rotativo de uma força em relação a um eixo depende da projeção do momento polar da força, na direção do eixo EE'. A essa projeção chamamos momento axial da força, e é dada formal-

mente pela expressão:

$$\vec{\tau}_{EE'} = (\vec{r} \times \vec{F}) \hat{u}_{EE'} = [|\vec{r}| |\vec{F}| \sin \alpha] \cos \theta \hat{u}_{EE'}$$

em que  $\alpha$  é o ângulo entre o vetor  $\vec{r}$  e o vetor força e  $\theta$  é o ângulo entre o vetor momento  $\vec{\tau}$  e o eixo de rotação definido pelo vetor unitário  $\hat{u}_{EE'}$ .

#### Autor

Miguel Ferreira

Licenciatura em Física na Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

#### Editor

Joaquim Agostinho Moreira

Departamento de Física e Astronomia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Referência: Ferreira, M. (2013), Revista de Ciência Elementar, 1(01):0013

# Movimento retilíneo uniforme

Uma partícula, de massa constante, livre de forças ou sujeita a um sistema de forças com resultante nula, mantém a sua velocidade constante, descrevendo uma trajetória retilínea (ver *Leis da dinâmica de Newton*). Neste caso, diz-se que a partícula tem movimento retilíneo uniforme. O termo “uniforme” diz respeito ao facto do valor da velocidade não se alterar.

## Lei das velocidades

Uma vez que a resultante do sistema de forças que atua na partícula é nula, a aceleração também é nula<sup>[1]</sup>. As-

sim, num movimento retilíneo uniforme a velocidade é constante - lei das velocidades.

Matematicamente, podemos escrever:

$$\vec{v} = \vec{v}_0$$

sendo  $\vec{v}_0$  a velocidade no instante inicial.

O gráfico do valor da velocidade em função do tempo é, pois, uma reta horizontal, podendo ser esboçado como se mostra na figura 1.

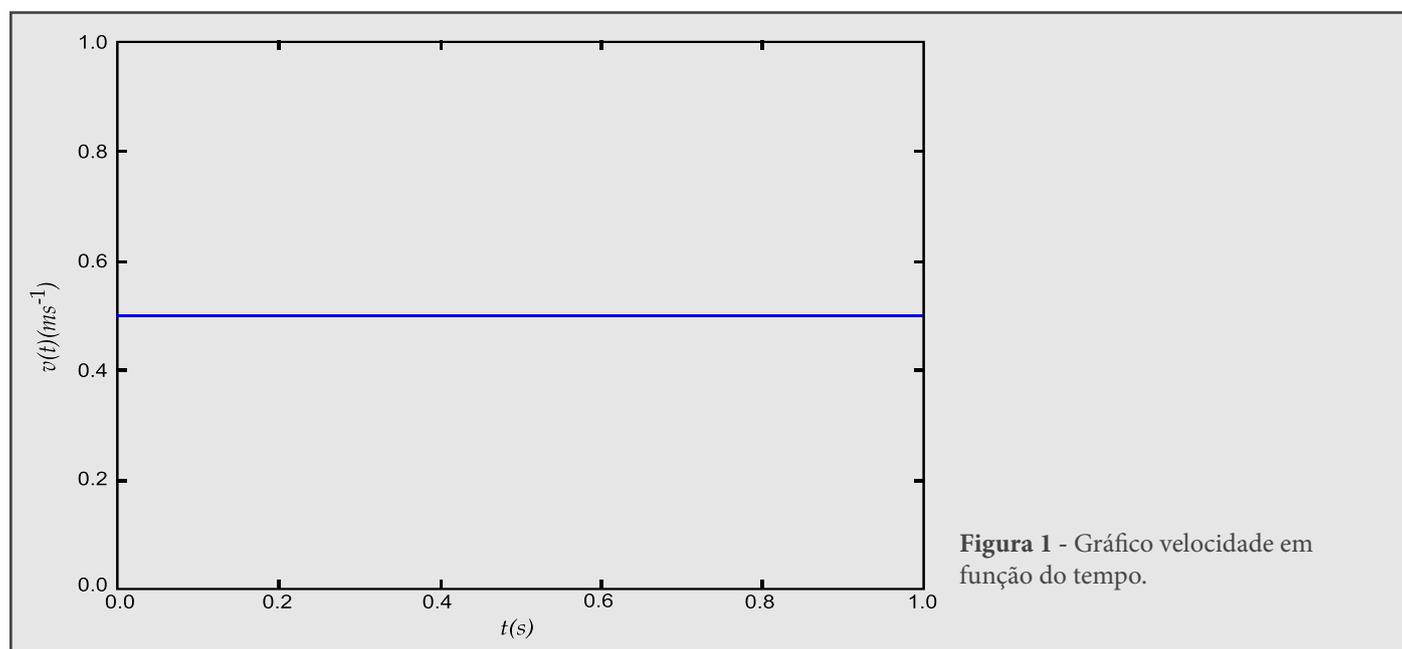


Figura 1 - Gráfico velocidade em função do tempo.

## Lei dos espaços

Uma vez que a velocidade é constante, a partícula descreve uma trajetória retilínea sem inversão. Assim, o módulo do deslocamento,  $\Delta r$ , que o corpo efetua num dado intervalo de tempo  $\Delta t$ , é igual ao espaço percorrido,  $\Delta s$ , nesse mesmo intervalo de tempo. Lembremos que a velocidade é a taxa temporal com que a partícula se desloca. Neste caso, como o movimento é uniforme, a taxa temporal de deslocamento é constante e é igual ao valor da velocidade média:

$$v = \frac{dr}{dt} = \frac{\Delta r}{\Delta t}$$

Uma vez que não há alteração da direção da velocidade, o valor da velocidade é igual à taxa temporal média com que a partícula percorre o espaço:

$$v = \frac{\Delta r}{\Delta t} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

Atendendo à última igualdade, verificamos que num movimento retilíneo uniforme o espaço percorrido é diretamente proporcional ao intervalo de tempo gasto a percorrê-lo:

$$\Delta s = v\Delta t \quad (1)$$

Uma outra forma de se chegar a este resultado seria interpretar o gráfico velocidade em função do tempo. A área entre o gráfico da função  $v(t)$  e o eixo do tempo entre os instantes  $t_1$  e  $t_2$  é igual ao espaço percorrido nesse intervalo de tempo. Assim sendo:

$$\Delta s = \text{área} = (t_2 - t_1)v = v\Delta t$$

Que é igual à equação (1).

O gráfico das posições em função do tempo está esboçado na figura 2.

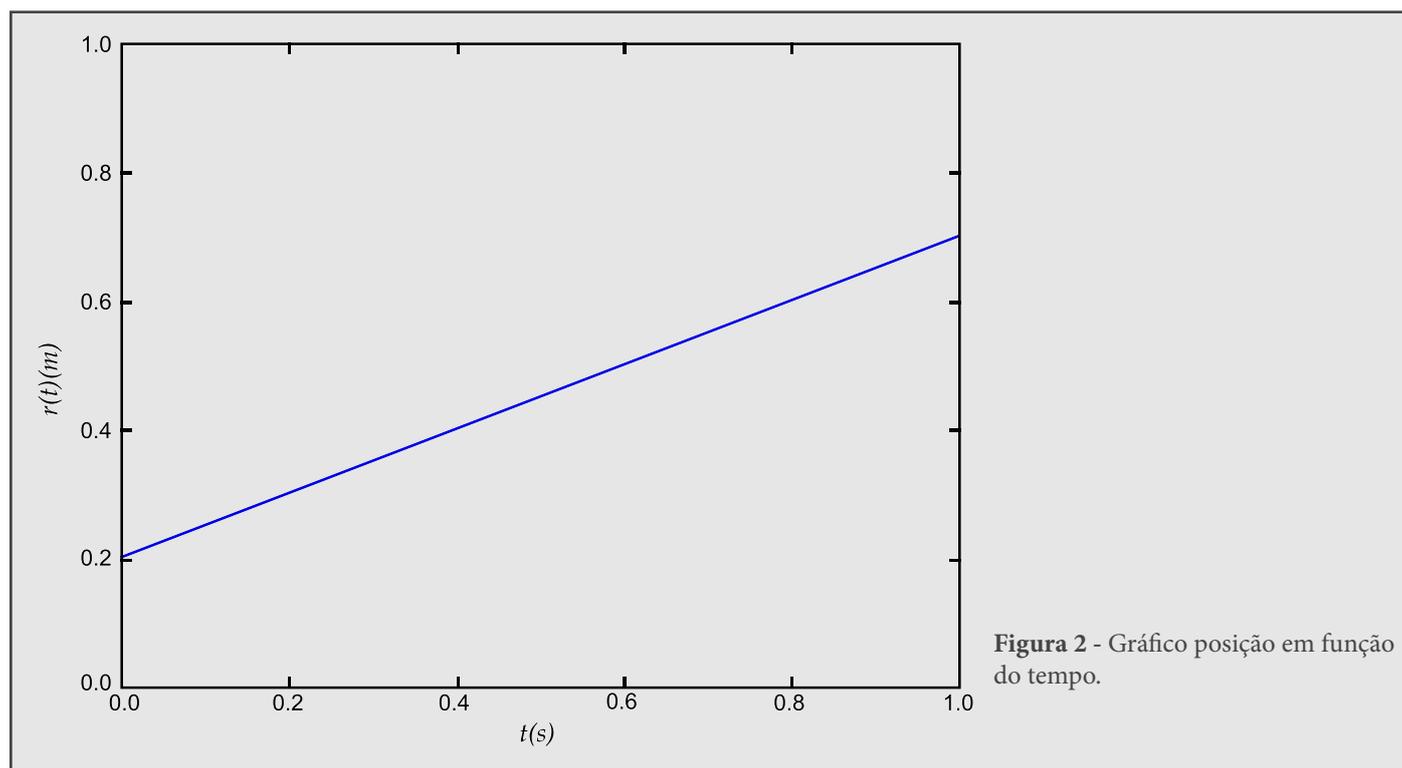


Figura 2 - Gráfico posição em função do tempo.

Admitindo que a trajetória do corpo coincide com o eixo dos  $xx$ , a equação das posições pode escrever-se do seguinte modo:

$$x(t) = x_0 + v_0 t$$

sendo  $x_0$ , a posição inicial da partícula.

### Autor

Mariana de Araújo  
Licenciatura em Física na Faculdade de  
Ciências da Universidade do Porto

### Editor

Joaquim Agostinho Moreira  
Departamento de Física e Astronomia da  
Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

# Potência elétrica e efeito de Joule

Consideremos um meio condutor elétrico onde está definido um campo elétrico uniforme. Por simplicidade, suponhamos que o condutor tem a forma de um cilindro, de raio  $R$  e comprimento  $L$ . Seja  $\Delta V$  a diferença de potencial nos extremos do condutor. Devido à existência de campo elétrico, as cargas livres do condutor entram em movimento ordenado, formando uma corrente elétrica. Cada carga fica sujeita a uma força dada pela expressão  $\vec{F} = q\vec{E}$ , sendo  $q$  a carga elétrica das partículas livres.

O trabalho realizado pela força elétrica no transporte de  $N$  cargas desde uma das extremidades do condutor até à outra é:

$$W = \vec{F} \cdot \vec{\Delta r}$$

A potência dissipada pelo campo elétrico é:

$$\frac{W}{\Delta t} = \frac{Nq}{\Delta t} EL$$

A quantidade  $\frac{Nq}{\Delta t}$  é a quantidade de carga que atravessa

a seção reta do condutor no intervalo de tempo  $\Delta t$  e  $EL$  é a diferença de potencial entre as extremidades do condutor. Assim, a potência pode ser escrita na seguinte forma:

$$P = I \cdot \Delta V$$

Se o condutor obedecer à lei de Ohm, a fórmula para a potência pode ser escrita de outra forma:

$$P = I^2 \times R$$

Quando existe um condutor elétrico a ser atravessado por uma corrente estacionária, a velocidade de deriva mantém-se aproximadamente constante porque, apesar da aceleração provocada pelo campo elétrico, os elétrons chocam com os íons da rede metálica que os abrandam. Durante estes choques há transferência de energia dos elétrons acelerados pelo campo elétrico para os íons da rede metálica. Desta maneira, a energia interna do condutor aumenta, aumentando também a sua temperatura. Este fenómeno é conhecido por Efeito Joule.

## Autor

Miguel Ferreira

Licenciatura em Física na Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

## Editor

Joaquim Agostinho Moreira

Departamento de Física e Astronomia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Referência: Ferreira, M. (2013), Revista de Ciência Elementar, 1(01):0015

## Formação sobre a Casa das Ciências

O Gabinete Coordenador da Casa das Ciências, para além das muitas participações que tem tido em inúmeras conferências e congressos ao longo destes últimos anos, tem vindo também a proporcionar às Escolas/Centros de Formação/outras entidades interessadas, desde que o solicitem, pequenos módulos de formação sobre a utilização eficaz dos recursos existentes no portal. Muitas dessas ações têm vindo a ser desenvolvidas nos últimos tempos, em parceria com a Rede de Bibliotecas Escolares (RBE), com quem a Casa das Ciências possui um protocolo assinado nesse sentido.

São por norma sessões de 3 a 4 horas configuradas no formato de workshop, em que tentamos que as deslocações dos nossos recursos sejam rentabilizadas com mais do que uma sessão em mais do que um espaço próximo. Daí a necessidade de serem preparadas com algum tempo de antecedência.

**Todos os custos com deslocações e material ficarão a nosso cargo. Contactem-nos se estiverem interessados.**



## Estrutura interna da Terra

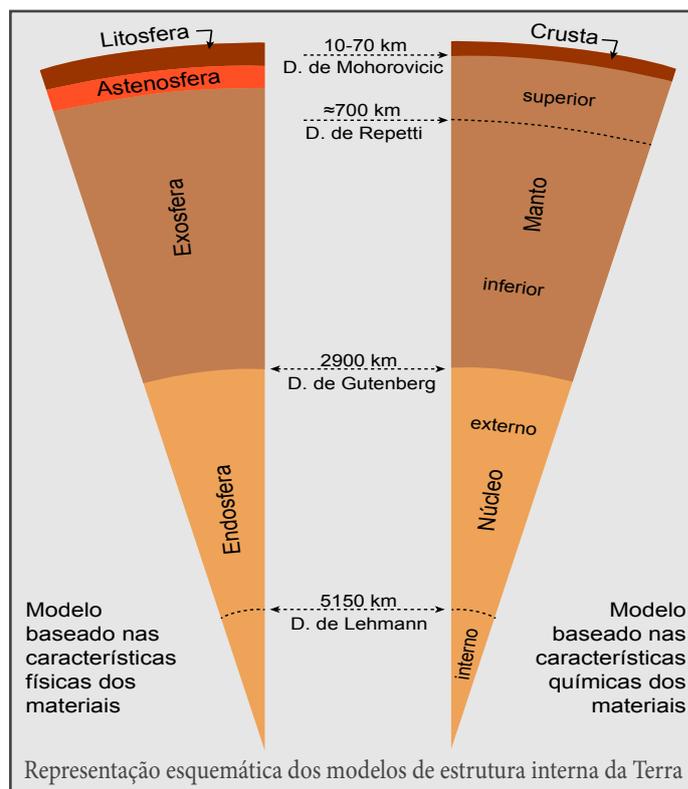
Com base nas propriedades químicas dos materiais rochosos que a constituem, admite-se que a Terra tem uma estrutura concêntrica com três camadas separadas por duas grandes discontinuidades:

- **Crusta** - camada mais exterior, constituída por materiais rochosos muito heterogêneos, cuja composição é rica em silício, alumínio e magnésio;
- **Descontinuidade de Mohorovicic** - separa a crosta do manto;
- **Manto** - camada subjacente à crosta, constituída por material rochoso a altas temperaturas e pressões, cuja composição é rica em ferro e magnésio;
- **Descontinuidade de Gutenberg** - separa o manto do núcleo;
- **Núcleo** - camada mais interior cuja composição é rica em ferro e níquel.

De acordo com as propriedades físicas (essencialmente rigidez e fluidez) dos materiais rochosos que a constituem, considera-se que a Terra tem uma estrutura com as seguintes camadas concêntricas:

- **Litosfera** - camada rígida, abrangendo a crosta e a parte rígida do manto (manto superior);
- **Astenosfera** - camada situada imediatamente a seguir à litosfera, constituída por material parcial-

- mente fundido e com possibilidade de deformação fácil;
- **Mesosfera** - camada rígida, abrangendo parte do manto superior e o manto inferior, constituída por materiais rochosos no estado sólido;
- **Endosfera** - camada mais profunda, sendo fluida até cerca de 5150 km e, depois, rígida.



### Autor

António Guerner Dias,  
Maria Conceição Freitas,  
Florisia Guedes e Maria Cristina Bastoso

### Editor

Manuela Marques  
Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do  
Território da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Referência: Guerner Dias, A., Freitas, C., Guedes, F., Bastos, C. (2013), Revista de Ciência Elementar, 1(01):0016

## Paleomagnetismo

Estudo dos antigos campos magnéticos terrestres que ficaram preservados nas rochas aquando da sua formação. Este estudo mostrou que algumas rochas registavam o campo magnético terrestre na altura da sua formação, podendo conservá-lo durante centenas de milhões de anos. Mostrou, ainda, que muitas dessas rochas apre-

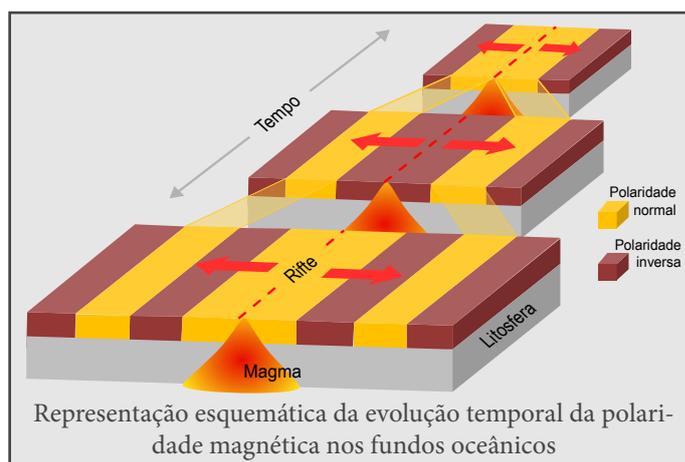
sentavam o registo de um campo magnético com polaridade diferente da atual, evidenciando que o campo magnético terrestre tinha sofrido, com frequência, inversões na sua polaridade (inversão magnética). Nesta situação, os pólos magnéticos mudam as suas posições, ficando o pólo norte magnético próximo do

pólo sul geográfico, isto é, a polaridade é inversa. Presentemente, o pólo norte magnético está próximo do pólo norte geográfico, isto é, a polaridade é normal. A explicação da inversão da polaridade do campo magnético terrestre é mal conhecida, mas admite-se que possa estar relacionada com alterações das correntes de material, dentro do núcleo. O estudo do paleomagnetismo permitiu acompanhar as alterações do campo magnético da Terra e construir uma escala cronológica das inversões magnéticas ocorridas nos últimos 5 milhões de anos.

Nos anos 60, F. J. Vine e D. H. Matthews, cientistas britânicos, juntaram a hipótese de expansão dos fundos oceânicos com os resultados de trabalhos de paleomagnetismo a oeste da ilha de Vancouver, e sugeriram que o crescimento do fundo oceânico se fazia através dos riftes, à custa do material magmático proveniente do interior da Terra. Com efeito, o magma, ao solidificar, magnetiza-se em função do campo magnético existente na altura. Esta ejeção de magma é seguida

por outras que se vão afastando para um e outro lado dos riftes, consolidando e magnetizando-se de acordo com o campo magnético existente na altura.

A ocorrência de uma alternância de rochas com polaridade normal e inversa, dispostas simetricamente em relação ao rifte, é a prova mais consistente da expansão dos fundos oceânicos.



## Autor

António Guerner Dias,  
Maria Conceição Freitas,  
Florisa Guedes e Maria Cristina Bastoso

## Editor

Manuela Marques  
Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do  
Território da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Referência: Guerner Dias, A., Freitas, C., Guedes, F., Bastos, C. (2013), Revista de Ciência Elementar, 1(01):0017

# Sismologia

## Sismo

Abalo da crosta terrestre resultante da brusca libertação de energia, no interior da crosta terrestre.

Quando os abalos são muito fracos, apenas registados pelos sismógrafos, designam-se por microssismos.

Quando os abalos são muito fortes, registados em toda a Terra, designam-se vulgarmente por terremotos.

Conforme a profundidade a que se originam os sismos podem ser:

- **superficiais** – até 70 km;
- **intermédios** – entre 70 a 300 km;
- **profundos** – de 300 a 700 km.

Os sismos podem ser causados por:

- *movimentos tectónicos* – devido a movimentos

ao longo de uma falha ou dos limites das placas tectónicas. As rochas no interior da Terra estão sujeitas a pressões. Quando as tensões acumuladas ultrapassam o limite de elasticidade das rochas, estas fraturam, libertando-se a energia aprisionada. A maioria dos sismos ocorre ao longo dos limites das placas tectónicas sendo, portanto, considerados zonas sísmicas. Estes são os sismos mais violentos e perigosos;

- *fenómenos vulcânicos* – devido à atividade vulcânica como, por exemplo, a ascensão de magma;
- *desabamentos de cavidades naturais ou de terrenos*; - outras causas naturais como ondas do mar, chuva ou vento - atividade humana – como o enchimento de albufeiras, o uso de explosivos, exploração mineira e outras.

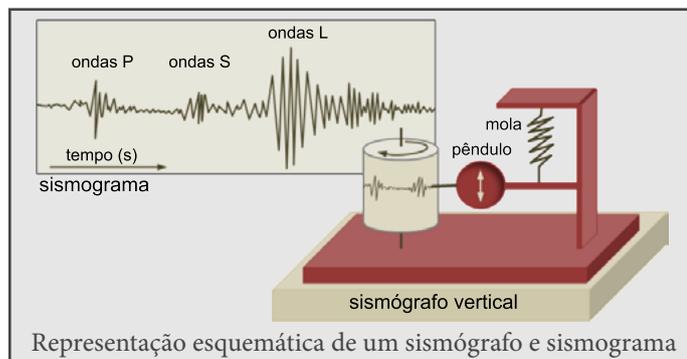
## Sismógrafo

Instrumento que deteta, regista e mede as vibrações do solo quando ocorre um sismo.

Os sismógrafos encontram-se instalados nas estações sismológicas.

Este aparelho é constituído por duas partes: uma, presa ao solo, onde se coloca um tambor rotativo com papel; outra, munida de uma agulha registadora, que por inércia se mantém imóvel, mas que aquando da ocorrência de um sismo, desloca-se e regista-o sobre o papel. O traçado que se obtém designa-se **sismograma** e permite determinar o tempo de duração do sismo, a magnitude, o hipocentro e o epicentro.

Em 1856, Luigi Palmieri, inventou um sismógrafo para medir as vibrações do Monte Vesúvio, com o objetivo de prever a sua erupção.



## Carta de sismicidade

Mapa onde se encontram localizados os epicentros dos sismos detetados.

Os epicentros dos sismos não se encontram uniformemente distribuídos na superfície terrestre, concentrando-se em determinadas áreas que correspondem aos limites das placas tectónicas.

A sismicidade de uma região pode ser avaliada pelo número e intensidade dos sismos sentidos num determinado período de tempo, podendo ser conhecida através das cartas de sismicidade. O seu conhecimento é importante pois permite o reconhecimento de estruturas geológicas do interior da Terra e a tomada de medidas de prevenção adequadas ao risco sísmico das diferentes regiões da Terra. A distribuição geográfica dos epicentros também tem contribuído para o estabelecimento dos limites das placas tectónicas, uma vez que nos seus bordos se localiza a quase totalidade dos hipocentros.

Portugal é afetado por sismos devido a falhas ativas, como a falha onde encaixa o vale do rio Tejo (na origem provável do terramoto de Lisboa de 1755) e a

falha de Gorringe, situada na zona de colisão das placas africana e euroasiática. Nesta falha, situada numa elevação submarina a sudoeste do Cabo de S. Vicente, localizou-se o epicentro do terramoto de Benavente, ocorrido em 1909. Também o arquipélago dos Açores está sujeito a intensa atividade sísmica pelo facto de se situar numa zona de encontro de três placas tectónicas (americana, euroasiática e africana).

As principais zonas sísmicas da Terra são:

- Zona Circum-pacífica, uma das zonas com maior intensidade sísmica, que rodeia o oceano Pacífico;
- Cintura alpino-himalaica que se estende da Península Ibérica e do norte da África à Indonésia;
- Crista Central do Atlântico, em que se inclui o arquipélago dos Açores;
- Zona do Rift Valley, na África Oriental.

## Descontinuidade sísmica

Superfície que separa diferentes camadas do interior da Terra, definida em função do comportamento que apresentam quando são atravessadas por ondas sísmicas. A energia libertada por um sismo transmite-se em todas as direções sob a forma de ondas. As ondas que se propagam no interior da Terra, **ondas primárias (P)** e **secundárias (S)**, são condicionadas, tanto na velocidade como na direção, pelas propriedades dos materiais que atravessam. As ondas S apenas se transmitem nos meios sólidos, ao passo que as ondas P transmitem-se em qualquer meio, sendo estas as que apresentam maior velocidade.

O estudo das ondas sísmicas permite inferir as propriedades dos materiais por elas atravessados e a profundidade a que eles se encontram, permitindo, ainda, estabelecer limites entre as diferentes camadas concêntricas do interior da Terra. Estes limites marcam zonas onde ocorre uma variação, por vezes brusca, na velocidade de propagação das ondas.

Da superfície para o interior da Terra, encontram-se estabelecidos os seguintes limites:

- **Descontinuidade de Conrad** - situada em média a 20 km de profundidade na crosta continental, marca o limite abaixo do qual se verifica um aumento na velocidade de propagação das ondas sísmicas. Admite-se que esta descontinuidade possa separar materiais de diferentes densidades;
- **Descontinuidade de Mohorovicic** - situada a cerca de 10 km de profundidade sob os oceanos e a

cerca de 40 km sob os continentes, separa a crosta do manto, podendo atingir, sob as montanhas, a profundidade máxima de 70 km. A designação “descontinuidade de Mohorovicic” foi atribuída em homenagem ao sismólogo croata, Andrija Mohorovicic;

- **Descontinuidade de Repetti** - situada a cerca de 700 km de profundidade, separa o manto superior do manto inferior. A esta profundidade ocorre um aumento na velocidade de propagação das ondas sísmicas levando a concluir que o manto superior se encontra num estado mais fluido e o manto inferior é rígido.
- **Descontinuidade de Gutenberg** - situada a cerca de 2900 km de profundidade, entre o manto e o núcleo, marca o limite abaixo do qual as ondas S não se propagam e as ondas P diminuem de velocidade o que evidencia uma alteração das propriedades dos materiais que constituem o interior da Terra. Esta descontinuidade deve o seu nome ao investigador alemão Beno Gutenberg que a descobriu; é também conhecida por descontinuidade C, devendo esta designação ao termo “core” de origem latina, que significa núcleo;
- **Descontinuidade de Lehmann** - situada no interior da Terra a cerca de 5150 km de profundidade, separa o núcleo externo do núcleo interno; uma vez que, a esta profundidade, se verifica um aumento na velocidade de propagação das ondas P, supõe-se que o primeiro é fluido e o segundo é sólido. A designação “descontinuidade de Leh-

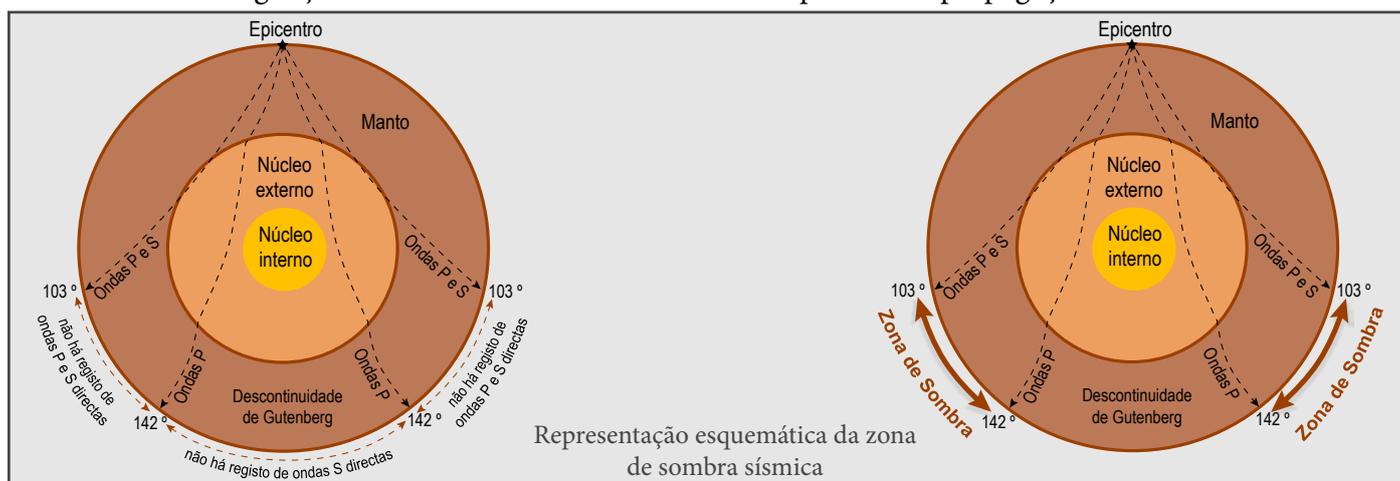
man” foi atribuída em homenagem à sismóloga dinamarquesa Inge Lehman.

## Zona de sombra sísmica

Zona da superfície terrestre, onde, para um determinado sismo, não é possível registar ondas sísmicas directas. A distância desta zona ao epicentro, expressa em função do ângulo epicentral, fica compreendida entre os 103° e os 142° e, expressa em quilómetros, localiza-se entre os 11 500 km e os 14 000 km de distância ao epicentro. Estes valores não são universalmente consensuais.

Em 1913, o alemão Beno Gutenberg, conseguiu demonstrar que a zona de sombra é devida a uma descontinuidade localizada a cerca de 2900 km de profundidade (descontinuidade de Gutenberg), que marca o início do núcleo externo, supostamente no estado líquido. Podem distinguir-se duas zonas de sombra sísmica:

- *Zona de sombra para as ondas sísmicas P* – as ondas P, tangentes ao núcleo externo, emergem até à distância de 103° e as que entram no núcleo são refratadas, indo emergir a distâncias iguais ou superiores a 142°;
- *Zona de sombra para as ondas sísmicas S* – as ondas S, tangentes ao núcleo externo, emergem até à distância de 103° e as que entram no núcleo são absorvidas, uma vez que este, supostamente líquido, impede a sua propagação.



### Autor

António Guerner Dias,  
Maria Conceição Freitas,  
Florisa Guedes e Maria Cristina Bastoso

### Editor

Manuela Marques  
Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do  
Território da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

## Circunferência

**Circunferência.** Do lat. circumferentia “mesmo sentido”.

**Circunferência** é o lugar geométrico dos pontos, num plano, que são equidistantes de um ponto fixo, chamado centro.

### Notas

**Raio** da circunferência é um segmento de reta cujos extremos são o centro e qualquer ponto da circunferência. Note-se, todavia, que também se pode chamar “raio” ao comprimento deste segmento. Observe-se ainda que uma circunferência de raio 0 é, na verdade, uma circunferência degenerada.

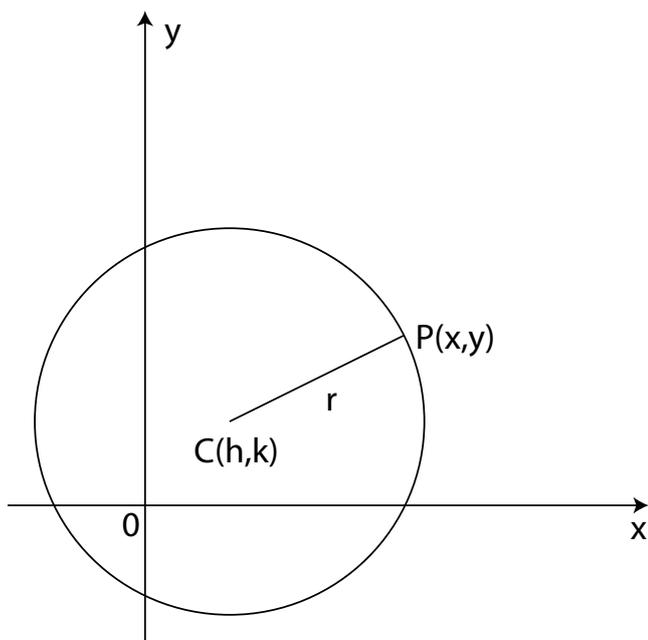


Figura 1 - Circunferência de centro  $C$  e raio  $r$ .

Na figura, o centro é o ponto  $C$  e o raio é o segmento  $[CP]$  (ou o seu comprimento).

Uma circunferência determina num plano três regiões:

- Uma curva: a própria circunferência;
- Uma região que contém o centro e os pontos in-

teriores dos raios, chamada interior ou disco (da circunferência);

- Uma região que contém os pontos existentes nos prolongamentos dos raios, chamados pontos exteriores.

**Arco de circunferência** é qualquer porção, da circunferência, compreendida entre dois dos seus pontos. Aos pontos que definem um arco de circunferência chamamos **extremidades do arco**.

Uma circunferência - enquanto lugar geométrico dos pontos  $P$  de coordenadas  $(x,y)$  cuja distância ao centro  $C$ , de coordenadas  $(h,k)$ , é igual a  $r$  (número real não negativo) - representa-se analiticamente por:

$$(x - h)^2 + (y - k)^2 = r^2$$

### Exemplos

1. A equação

$$(x - 2)^2 + (y + 1)^2 = 9$$

define, analiticamente, a circunferência de centro no ponto de coordenadas  $(2,-1)$  e raio 3.

2. A equação

$$x^2 - 2x + y^2 - 5 = 0$$

define, analiticamente, a circunferência de centro no ponto de coordenadas  $(1,0)$  e raio 2.

Note-se que

$$x^2 - 2x + y^2 - 5 = 0$$

equivale a

$$(x - 1)^2 + y^2 = 4.$$

### Autores

Virgínia Amaral, Angela Lopes,  
Elfrida Ralha, Inês Sousa,  
Cláudia Taveira

### Editor

José Francisco Rodrigues  
Departamento de Matemática da  
Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

# Desvio padrão amostral

**Desvio padrão** de uma amostra (ou coleção) de dados, de tipo quantitativo, é uma medida de dispersão dos dados relativamente à média, que se obtém tomando a raiz quadrada da variância amostral.

Uma vez que a variância amostral se exprime nas unidades dos dados elevados ao quadrado, considera-se como medida de dispersão, não a variância, mas a sua raiz quadrada. Se representarmos os dados por  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , e por  $\bar{x}$  a sua média, o desvio padrão obtém-se a partir da expressão

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

O desvio padrão é uma medida que só pode assumir valores não negativos e quanto maior for o seu valor, maior será a dispersão dos dados.

Por exemplo, os dois conjuntos de dados, que têm a mesma média (igual a 4,9),

4 4,2 4,5 4,7 4,8 4,9 5 5,1 5,5 5,6 6,1

1 2 2,5 4 4,5 5,5 6 6,4 7 7,5 8

têm desvio padrão, respetivamente 0,6 e 2,3.



Como se verifica, tanto visualmente como a partir dos valores obtidos para o desvio padrão, a dispersão do segundo conjunto de dados é muito superior à do primeiro conjunto.

Além da expressão anterior, por vezes também se utiliza a expressão

$$s' = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

quando a dimensão da amostra  $n$  é suficientemente grande (é usual considerar um valor de  $n$  superior a 30). Repare-se que nestas condições os valores de  $s'$  são muito próximos de  $s$ , pois  $s' / s = \sqrt{(n - 1) / n} \approx 1$ .

Costuma-se utilizar o **desvio padrão** amostral,  $s$ , para estimar o desvio padrão populacional,  $\sigma$ .

### Autor

Maria Eugénia Graça Martins  
Departamento de Estatística e Investigação Operacional  
da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

### Editor

José Francisco Rodrigues  
Departamento de Matemática da  
Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

Referência: Graça Martins, E. (2013), Revista de Ciência Elementar, 1(01):0020

# Relações trigonométricas num triângulo retângulo

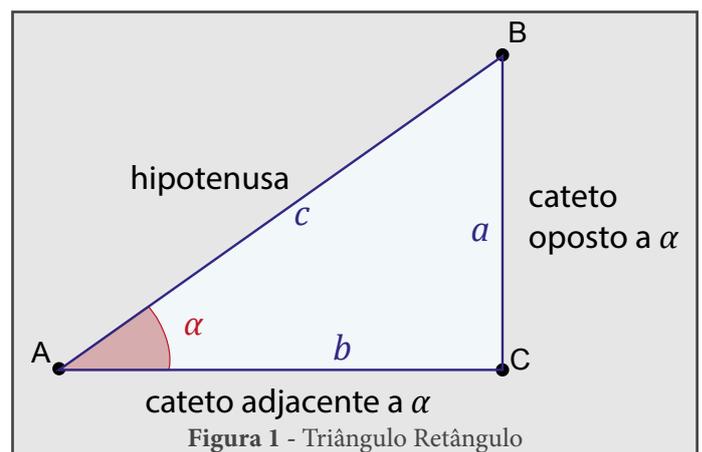
## Razões trigonométricas

Seja  $\alpha$  um ângulo agudo ( $0 < \alpha < 90^\circ$ ) de um triângulo retângulo, como se mostra na figura, podemos definir as três razões trigonométricas como:

$$\sin \alpha = \frac{\text{comprimento do cateto oposto}}{\text{comprimento da hipotenusa}} = \frac{a}{c}$$

$$\cos \alpha = \frac{\text{comprimento do cateto adjacente}}{\text{comprimento da hipotenusa}} = \frac{b}{c}$$

$$\tan \alpha = \frac{\text{comprimento do cateto oposto}}{\text{comprimento do lado adjacente}} = \frac{a}{b}$$



## Fórmula Fundamental da Trigonometria

A Fórmula Fundamental da Trigonometria é uma consequência direta da aplicação do Teorema de Pitágoras ao triângulo retângulo da figura 1. Assim,

$$(\text{hipotenusa})^2 = (\text{cateto oposto})^2 + (\text{cateto adjacente})^2 \quad \text{isto é,}$$

Usando as letras da figura obtemos,

$$c^2 = a^2 + b^2$$

Dividindo ambos os membros da equação por  $a^2 \neq 0$  concluímos, então, que

$$1 = \left(\frac{a}{c}\right)^2 + \left(\frac{b}{c}\right)^2 = \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha,$$

isto é,

$$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$$

## Outras relações

Considerando agora a divisão das razões trigonométricas

$\sin \alpha$  e  $\cos \alpha$  obtemos,

$$\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \frac{\frac{a}{c}}{\frac{b}{c}} = \frac{a}{b} = \tan \alpha,$$

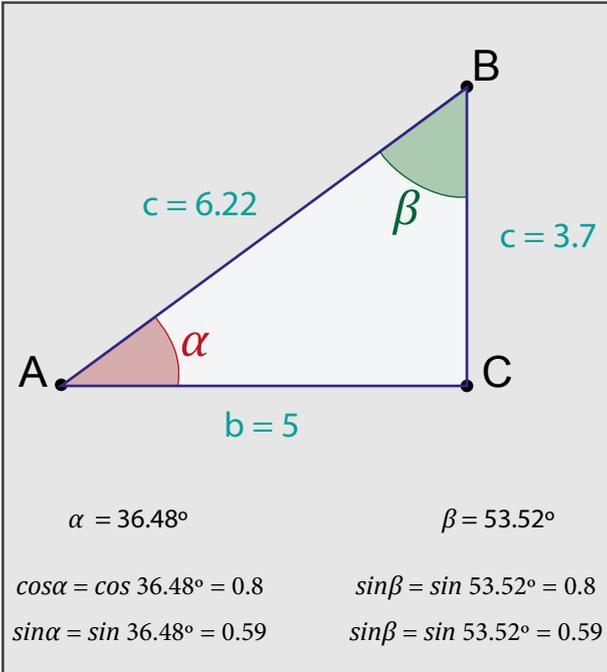
$$\tan \alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}$$

Olhando novamente para a fórmula fundamental da trigonometria,

$$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$$

e aplicando a ambos os membros da mesma uma divisão por  $\cos^2 \alpha$  obtemos mais uma relação trigonométrica:

$$\tan^2 \alpha + 1 = \frac{1}{\cos^2 \alpha}$$



No exemplo ao lado podemos verificar mais algumas relações trigonométricas, neste caso, entre os dois ângulos agudos do triângulo retângulo representado,  $\alpha$  e  $\beta$ . Resulta facilmente do facto da soma dos ângulos internos de um triângulo ser  $180^\circ$  que  $\alpha + \beta = 90^\circ$ .

Como se mostra na figura:

$$\sin \alpha = \frac{a}{c} = \cos \beta = \cos(90^\circ - \alpha) \quad \sin \alpha = \cos(90^\circ - \alpha)$$
$$\cos \alpha = \frac{b}{c} = \sin \beta = \sin(90^\circ - \alpha) \quad \cos \alpha = \sin(90^\circ - \alpha)$$

Clique [aqui](#) para aceder à versão *html* com material interativo.

### Autor

João Nuno Tavares  
Departamento de Matemática da  
Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

### Editor

José Francisco Rodrigues  
Departamento de Matemática da  
Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

# Sondagem

**Sondagem** é um estudo estatístico de uma população, feito através de uma amostra, destinado a estudar uma ou mais das suas características tal como elas se apresentam nessa população.

Só em 1973 é que, pela 1ª vez, apareceu publicado nos órgãos de comunicação social o resultado de uma sondagem realizada em Portugal, nomeadamente, “63% dos Portugueses nunca votaram” (VICENTE et al. (1996)). Embora as sondagens se tenham popularizado devido a questões políticas, elas não são apenas um importante instrumento político; acima de tudo constituem um instrumento de importância vital em estudos de natureza, quer económica, quer social. Assim, se nos meios políticos as sondagens são usadas para obter informação acerca das atitudes dos eleitores, de modo a planear campanhas, etc, elas são importantes também em estudos de mercado, para testar as preferências dos consumidores, descobrir o que mais os atrai nos produtos existentes ou a comercializar, tendo como objetivo satisfazer os clientes e aumentar as vendas. Também na área das ciências sociais as sondagens são importantes para, por exemplo, estudar as condições de vida de certas camadas da população (GRAÇA MARTINS et al (1999)).

É fundamental referir que, contrariamente ao recenseamento, as sondagens inquiram ou analisam apenas uma parte da população em estudo, isto é, restringem-se a uma amostra dessa população, mas com o objetivo de extrapolar para todos os elementos da população os resultados observados na amostra. Uma **sondagem** realiza-se em várias fases: escolha da amostra, obtenção da informação, análise dos dados e relatório final. Para que os resultados de uma sondagem sejam válidos há necessidade de

essa amostra ser representativa da população. O processo de recolha da amostra, a amostragem, tem de ser efetuada com os cuidados adequados. Quando são usadas técnicas apropriadas e a amostra é suficientemente grande, os resultados obtidos encontram-se em geral perto dos resultados que se obteriam, se fosse estudada toda a população.

Por vezes aparece identificado amostragem com **sondagem**, o que é incorreto. Com efeito, a amostragem diz respeito ao procedimento de recolha de amostras qualquer que seja a natureza do estudo estatístico que se pretenda fazer. A sondagem, por sua vez, pressupõe a existência de uma amostragem, isto é, a amostragem é uma das várias fases do processo de sondagem. As sondagens dizem respeito a um estudo estatístico específico. É importante referir que a sondagem visa estudar características da população tal como ela se apresenta. Por exemplo, se quisermos comparar diversas escolas relativamente ao sucesso escolar na disciplina de Matemática, realizamos uma sondagem. Se quisermos averiguar se o método de ensino A é melhor que o método de ensino B na aprendizagem da Matemática, sendo cada um dos métodos atribuído a grupos diferentes de alunos, e averiguando depois o sucesso em cada grupo, já não temos uma sondagem, mas sim uma experimentação.

## Referências

1. Graça Martins, M. E., Monteiro, C., Viana, P. V., Turkman, M. A. A. (1999) – Probabilidades e Combinatória. Ministério da Educação, Departamento do Ensino Superior. ISBN: 972-8417-33-0. Depósito Legal 143440/99.
2. Vicente, P., Reis, E; Ferrão, F. (1996) - A amostragem como factor decisivo de qualidade, Edições Sílabo, Lda, Lisboa.

### Autor

Maria Eugénia Graça Martins  
Departamento de Estatística e Investigação Operacional  
da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

### Editor

José Francisco Rodrigues  
Departamento de Matemática da  
Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

## Tabela de frequências

Quando se está a analisar um conjunto de dados, começa-se por considerar as diferentes categorias ou classes, e para cada uma delas calcula-se a sua frequência absoluta obtendo-se a distribuição de frequências do conjunto de dados. Esta distribuição de frequências é representada na forma de uma tabela, a que se dá o nome de **tabela de frequências**. Uma vez que existe alguma especificidade na fase da definição das classes, conforme o tipo dos dados a analisar, far-se-á essa distinção a seguir, nas indicações para a construção da tabela de frequências.

### Tabela de frequências para dados de tipo qualitativo

Se os dados são de tipo qualitativo, na **tabela de frequências** a informação é organizada, de um modo geral, em 3 colunas: coluna das categorias ou classes – onde se indicam as categorias observadas para a variável em estudo; coluna das frequências absolutas – onde se regista o total de elementos da amostra que pertencem a cada categoria e coluna das frequências relativas – onde se coloca, para cada categoria, a sua frequência relativa. Nesta última coluna, as frequências relativas podem ser substituídas pelas percentagens.

Por exemplo, a seguinte amostra que resultou de observar a variável “Cor dos olhos” em 20 alunos de uma turma

Castanhos, Pretos, Castanhos, Azuis, Castanhos, Castanhos, Pretos, Castanhos, Verdes, Castanhos, Pretos, Castanhos, Azuis, Castanhos, Castanhos, Pretos, Pretos, Castanhos, Pretos, Pretos

pode ser resumida na seguinte **tabela de frequências**:

Categoria	Frequência absoluta	Frequência relativa
Castanhos	10	0,50
Pretos	7	0,35
Azuis	2	0,10
Verdes	1	0,05
Total	20	1,00

### Tabela de frequências para dados de tipo quantitativo discreto

Se os dados são de natureza quantitativa discreta, as

classes são os diferentes valores que surgem no conjunto dos dados. Na **tabela de frequências** para estes dados a informação é organizada, no mínimo, em 3 colunas: coluna das *classes* – onde se indicam todos os valores distintos que surgem na amostra, que representamos por  $X_i^*$ ; coluna das frequências absolutas – onde se regista o total de elementos da amostra que pertencem a cada classe (ou número de vezes que cada valor  $x_i^*$  surge na amostra) e coluna das frequências relativas (ou percentagens).

A **tabela de frequências** pode ainda incluir mais 2 colunas: a coluna das frequências absolutas acumuladas – onde, para cada classe, se coloca a soma da frequência absoluta observada nessa classe com as frequências absolutas observadas nas classes anteriores e a coluna das frequências relativas acumuladas – onde, para cada classe, se coloca a soma da frequência relativa observada nessa classe com as frequências relativas observadas nas classes anteriores. Esta coluna é bastante útil para o cálculo de algumas medidas, como a mediana e os quartis.

Por exemplo, a seguinte amostra que resultou de observar a variável *Número de irmãos em 20 alunos de uma turma*

1 2 1 0 1 1 0 2 3 1 1 1 0  
2 3 1 0 0 2 2

pode ser resumida na seguinte **tabela de frequências**:

Classe	Frequência absoluta	Frequência relativa %	Frequência absoluta acumulada	Frequência relativa acumulada %
0	5	25	5	25
1	8	40	13	65
2	5	25	18	90
3	2	10	20	100
Total	20	100		

A partir da tabela anterior verifica-se que a mediana dos dados é 1, o quartil inferior é 0,5 e o quartil superior é 2.

Convém salientar que as colunas referentes às frequências acumuladas só fazem sentido em tabelas de frequências onde a variável em estudo se possa orde-

nar (no exemplo da tabela de frequências para dados de tipo qualitativo, apresentado anteriormente, não tem sentido considerar as frequências acumuladas).

## Tabela de frequências para dados de tipo quantitativo contínuo

Se os dados são de natureza quantitativa contínua, consideram-se classes na forma de intervalos. Sempre que possível estes intervalos devem ter a mesma amplitude.

Na **tabela de frequências** para dados quantitativos contínuos a informação é organizada, no mínimo, em 3 colunas: coluna das *classes* – onde se identificam os intervalos (classes) em que se subdividiu a amostra; coluna das frequências absolutas – onde se regista o total de elementos da amostra que pertencem a cada classe e coluna das frequências relativas (ou percentagens).

A **tabela de frequências** anterior pode ainda incluir mais 3 colunas: coluna do representante da classe – onde se indica o ponto médio de cada intervalo de classe (usualmente escolhido para representante da classe); coluna das frequências absolutas acumuladas e coluna das frequências relativas acumuladas.

Perante uma amostra de dados contínuos, a metodologia para a organização dos dados não é única e pressupõe que se tomem algumas decisões no que respeita

- o número de classes
- a amplitude das classes
- o valor a partir do qual se começam a construir as classes

Para obter o número  $k$  de classes, um processo que

pode ser seguido consiste em começar por utilizar a regra de Sturges. Uma vez obtido o número  $k$  de classes, considera-se para amplitude de classe  $h$ , um valor arredondado, por excesso, do que se obtém dividindo a amplitude da amostra por  $k$ .

Constroem-se as classes como intervalos semiabertos, fechados à esquerda e abertos à direita (ou vice-versa, como em PESTANA e VELOSA (2010), página 130), sendo o extremo esquerdo do primeiro intervalo o mínimo da amostra.

Considere-se a seguinte amostra que resultou de observar a variável Altura em 30 alunos de uma turma

164	166	170	170	147	131	151	148	173
143	180	167	166	162	160	180	148	158
173	150	159	174	149	158	171	140	164
			158	167	160			

Utilizando a metodologia descrita, pode-se obter a seguinte tabela de frequências:

Classes	Ponto médio	Frequência absoluta	Frequência relativa %	Frequência absoluta acumulada	Frequência relativa acumulada %
[131;141[	136	2	7	2	7
[141;151[	146	6	20	8	27
[151;161[	156	7	23	15	50
[161;171[	166	9	30	24	80
[171;181[	176	6	20	30	100
		30	100		

Ver

[ActivALEA nº 6 - Tabelas de Frequência](#)

(<http://www.alea.pt/html/statofic/html/dossier/html/dossier.html>)

## Referências

1. Graça Martins, M. E., Loura, L., Mendes, F. (2007) – Análise de dados, Texto de apoio para os professores do 1º ciclo, Ministério da Educação, DGIDC. ISBN: 978-972-742-261-6. Depósito legal 262674/07.
2. Montgomery, D. C., Runger, G. C. (1999) – Applied statistics and probability for engineers. John Wiley & Sons, Inc. ISBN: 0-471-17027-5.
3. Pestana, D., Velosa, S. (2010) – Introdução à Probabilidade e à Estatística, Volume I, 4ª edição, Fundação Calouste Gulbenkian. ISBN: 978-972-31-1150-7. Depósito Legal 311132/10.
4. Velleman, P.F. (1976) Interactive Computing for exploratory data analysis I: display algorithms, 1975 Proceedings of the Statistical Computing Section. Washington, DC: American Statistical Association.

### Autor

Maria Eugénia Graça Martins

Departamento de Estatística e Investigação Operacional  
da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

### Editor

José Francisco Rodrigues

Departamento de Matemática da  
Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

## Tetraedro

**Tetraedro.** do gr. *tetrá*, “número quatro” + *edron*, “face”. O tetraedro, juntamente com o dodecaedro, o cubo, o octaedro e o icosaedro formam os Sólidos Platónicos.

**Tetraedro** é um poliedro regular com 4 faces.

### Notas

Um tetraedro tem 4 faces, 6 arestas e 4 vértices.

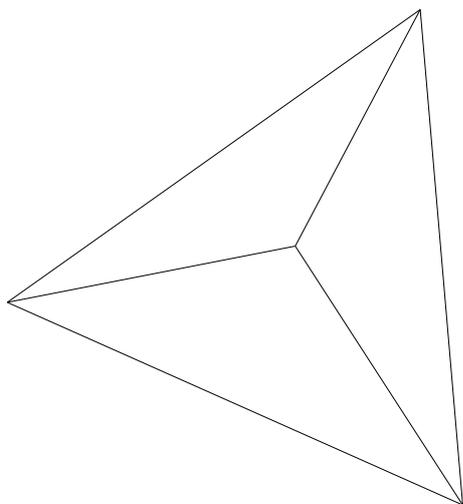


Figura 1 - Tetraedro, representação translúcida

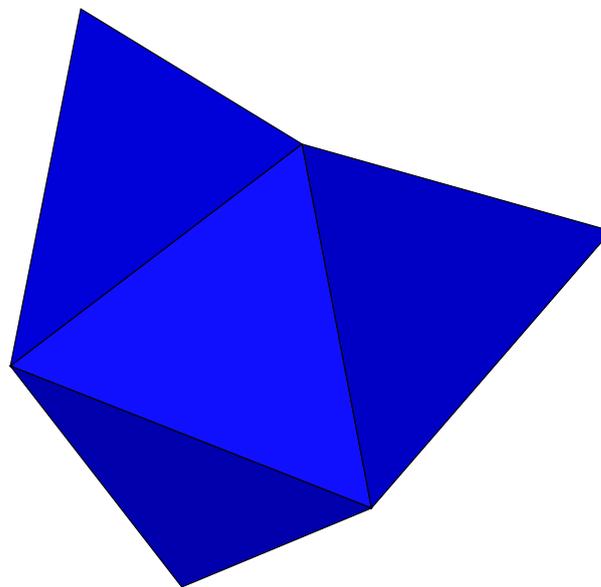


Figura 3 - Tetraedro em planificação

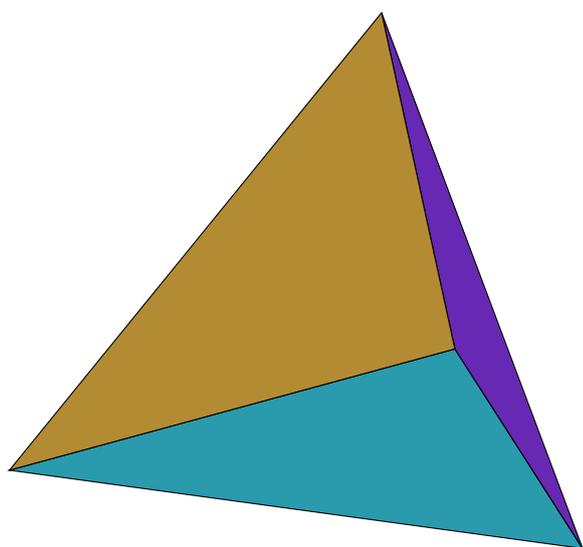
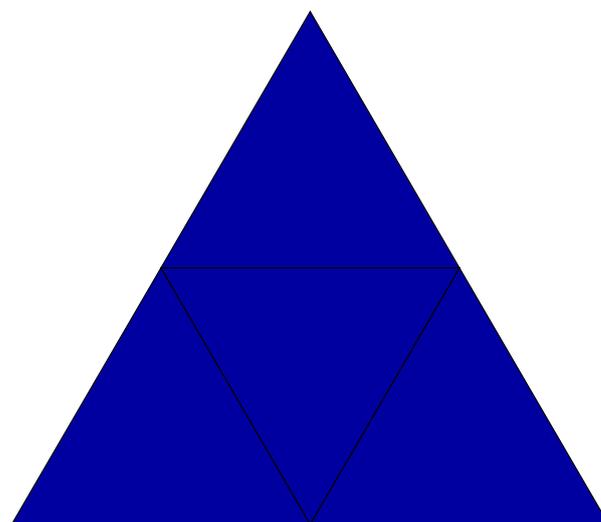


Figura 2 - Tetraedro, representação opaca



As faces do tetraedro são triângulos equiláteros.

**Materiais relacionados disponíveis na [Casa das Ciências](#):**

1. [Sólidos Geométricos](#)

### Autor

Andreia Cardoso  
Mestrado em Engenharia Física pela  
Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

### Editor

José Francisco Rodrigues  
Departamento de Matemática da  
Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

Referência: Cardoso, A. (2013), Revista de Ciência Elementar, 1(01):0024

# Triângulo

**Triângulo.** Do latim *triangulum*, de *tri*, “três”, e *angulus*, “ângulo”.

## Triângulo no plano

Um triângulo é um polígono com três lados. É pois a região do plano limitada por três segmentos de reta **a**, **b** e **c** (os seus **lados**), contíguos dois a dois nas suas extremidades **A**, **B** e **C** (os **vértices**).

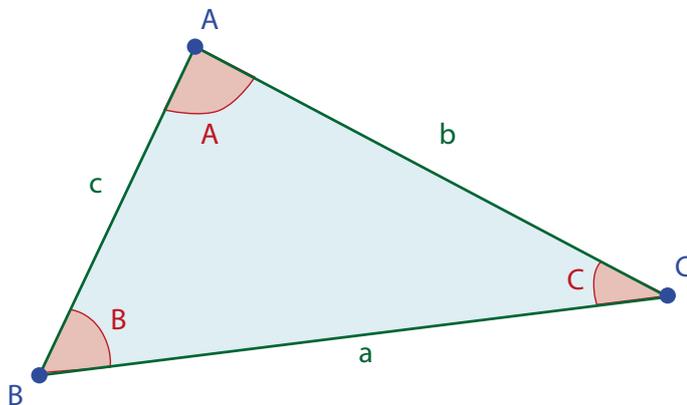


Figura 1 - Triângulo. Elementos principais.

Um triângulo **ABC** possui seis elementos principais (ver figura 1)

- lados **a**, **b** e **c**
- 3 vértices **A**, **B** e **C**

**a** diz-se o lado oposto ao vértice **A**, **b** o lado oposto ao vértice **B** e **c** o lado oposto ao vértice **C**. Os ângulos internos, ou as suas medidas, são designadas habitualmente pelas letras maiúsculas **A**, **B**, **C**, afetas aos respectivos vértices (figura 1).

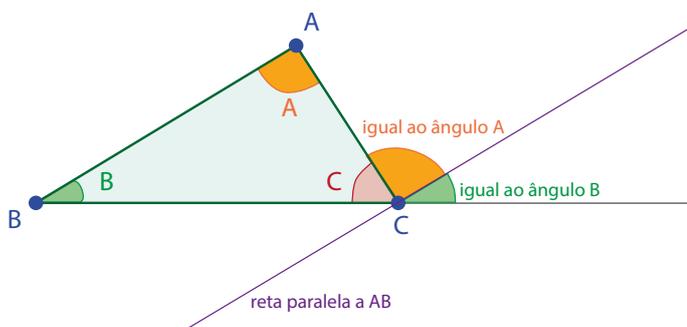


Figura 2 - A soma dos ângulos internos é igual a 180°.

Um dos resultados básicos é o seguinte “A soma dos ângulos internos de um triângulo plano é igual a 180°”.

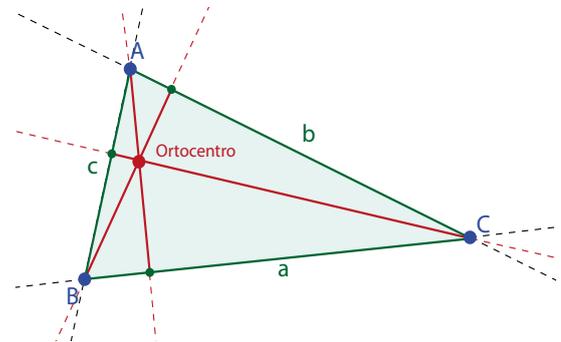


Figura 3 - Elementos secundários. Alturas e ortocentro.

## Classificação de triângulos

Os triângulos podem ser classificados quanto aos seus lados e quanto aos seus ângulos.

Quanto aos seus **lados** os triângulos classificam-se em:

	<b>Triângulo equilátero:</b> tem os seus três lados com o mesmo comprimento;
	<b>Triângulo isósceles:</b> tem dois lados com o mesmo comprimento;
	<b>Triângulo escaleno:</b> tem todos os lados com comprimento desigual.

Quanto aos seus **ângulos** os triângulo classificam-se em:

	<b>Triângulo acutângulo:</b> tem os três ângulos internos agudos;
	<b>Triângulo retângulo:</b> um dos três ângulos do triângulo é um ângulo reto;
	<b>Triângulo obtusângulo:</b> um dos três ângulos do triângulo é um ângulo obtuso.

Um triângulo ABC possui vários elementos secundários (ver figura 3)

- 3 alturas. Uma **altura** é a reta perpendicular baixada de um vértice para o lado oposto.

**Facto notável:** as 3 alturas interseam-se num único ponto a que se chama o ortocentro do triângulo. Por altura também se entende o comprimento do segmento de reta baixado de um vértice para o lado oposto (figura 3). Este conceito é útil quando se discutem questões métricas num triângulo. O contexto tornará claro a que nos referimos.

- 3 medianas. Uma **mediana** é a reta que une um vértice ao ponto médio do lado oposto.

**Facto notável:** as 3 medianas interseam-se num único ponto a que se chama o baricentro ou centro de gravidade do triângulo.

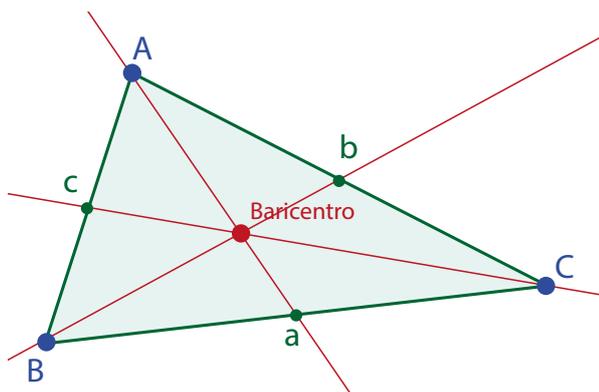


Figura 4 - Elementos secundários. Medianas e baricentro.

- 3 bissetrizes. As **bissetrizes** dos seus ângulos internos.

**Facto notável:** as 3 bissetrizes interseam-se num único ponto a que se chama o incentro do triângulo. O incentro é o centro da **circunferência inscrita** no triângulo (tangente a cada um dos lados).

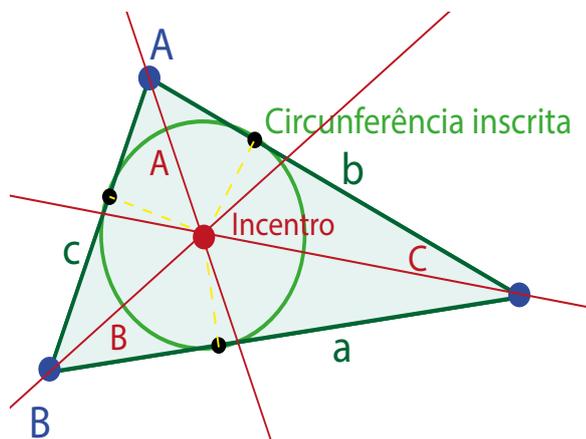


Figura 5 - Bissetrizes, incentro e circunferência inscrita.

- 3 mediatrizes - as **mediatrizes** dos seus lados, isto é, as retas perpendiculares a cada um desses lados e que passam pelos respectivos pontos médios.

**Facto notável:** as 3 mediatrizes interseam-se num único ponto a que se chama o **circuncentro** do triângulo. O circuncentro é o centro da **circunferência circunscrita** no triângulo (que passa pelos 3 vértices).

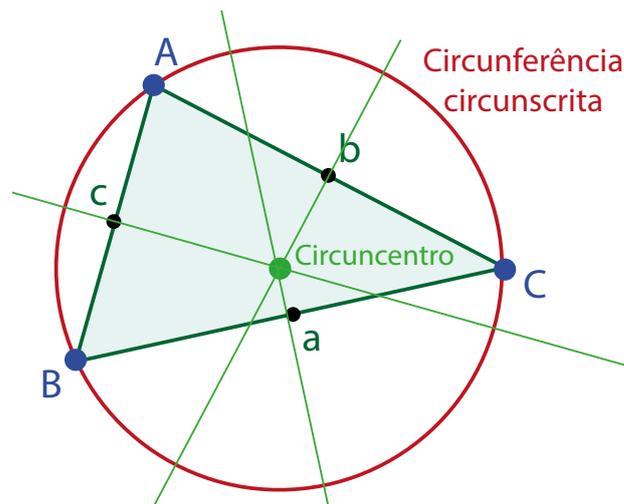


Figura 6 - Mediatrizes, circuncentro e circunferência circunscrita.

### A reta de Euler. Um facto extraordinário.

O ortocentro, baricentro e circuncentro de um triângulo, que se definiram anteriormente, passam todos por uma mesma reta a que se chama a reta de Euler (figura 6). Em geral o incentro não pertence à reta de Euler!

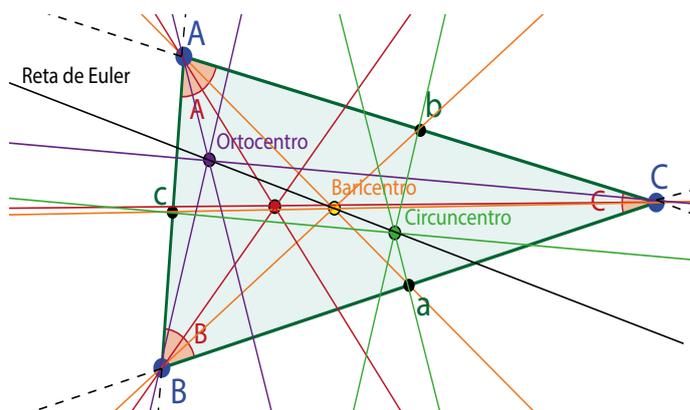


Figura 7 - Reta de Euler.

### Teorema de Pitágoras

Num triângulo retângulo, o quadrado da hipotenusa é igual à soma dos quadrados dos catetos:

$$a^2 = b^2 + c^2$$

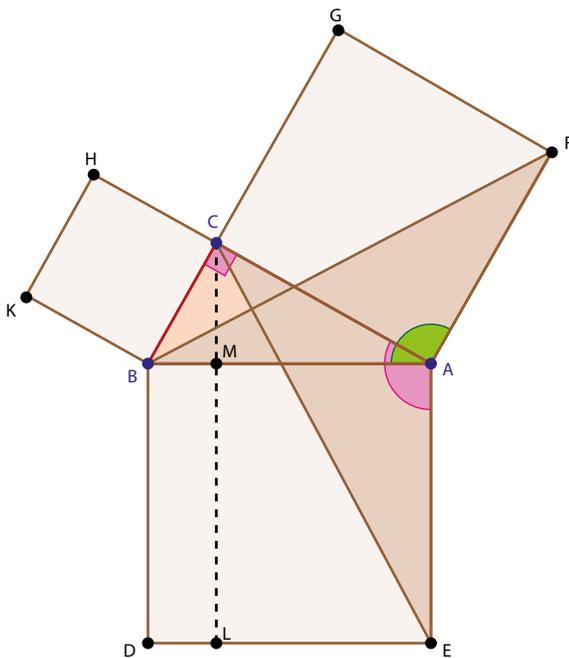


Figura 8 - Teorema de Pitágoras. Demonstração de Euclides (300 AC)

Existem dezenas de demonstrações do Teorema de Pitágoras. Em 1940, num livro de Elisa Loomis, intitulado *The Pythagorean Proposition*, incluem-se 367 provas diferentes! Na figura 8 ilustra-se a demonstração de Euclides:

- Os triângulos  $ABF$  e  $AEC$  são “iguais” (isto é, são isométricos). De facto,  $AE = AB$ ,  $AF = AC$  e  $\angle(BAF) = \angle(CAE)$ .
- Para calcular a área do triângulo  $ABF$ , retângulo em  $C$ , Euclides faz intervir a base  $AF$  e a altura.

## Outros triângulos

Como vimos, um dos resultados básicos para triângulos no plano (Euclideano) é o seguinte “A soma dos ângulos internos de um triângulo plano é igual a  $180^\circ$ ”. É possível imaginar outras geometrias onde este resultado é falso.

Por exemplo, imaginemos uma geometria na superfície

de uma esfera onde as Retas são os círculos máximos, isto é, as circunferências obtidas intersectando a esfera com um plano que passa no seu centro.

Nesta geometria esférica, a soma dos ângulos internos de um triângulo esférico é superior a  $180^\circ$ !

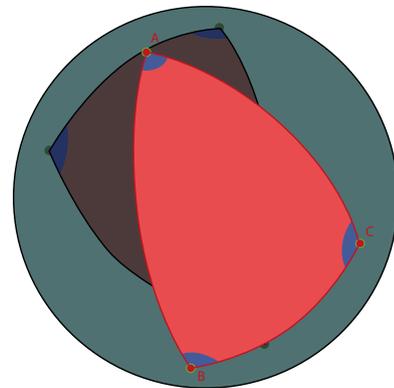


Figura 9

Um outro exemplo, imaginemos uma geometria no interior de um disco plano  $D$ , mas em que as Retas são as partes em  $D$  das circunferências, ou das retas usuais, ortogonais à circunferência do bordo de  $D$ .

Nesta geometria, dita hiperbólica, a soma dos ângulos internos de um triângulo esférico é inferior a  $180^\circ$ !

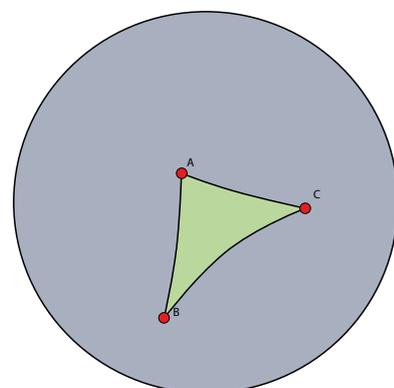


Figura 10

Clique [aqui](#) para aceder à versão *html* com material interativo.

## Referências

1. Amorim, D. P. - *Compêndio de Geometria, Volume 1 - Classes 1ª, 2ª e 3ª, 9ª Edição*, Biblioteca Básica de Textos Didáticos de Matemática, SPM, Depósito legal 286438/04.
2. Baruk, S. (1992) - *Dicionário de Matemática Elementar, Volume 2, Edições Afrontamento*, ISBN: 972-36-0767-0, Depósito legal 227493/05.

### Autor

João Nuno Tavares  
Departamento de Matemática da  
Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

### Editor

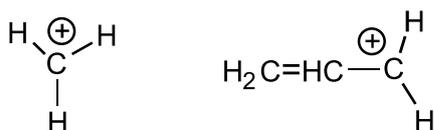
José Francisco Rodrigues  
Departamento de Matemática da  
Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

Referência: Nuno Tavares, J. (2013), *Revista de Ciência Elementar*, 1(01):0025

## Carbocatiões

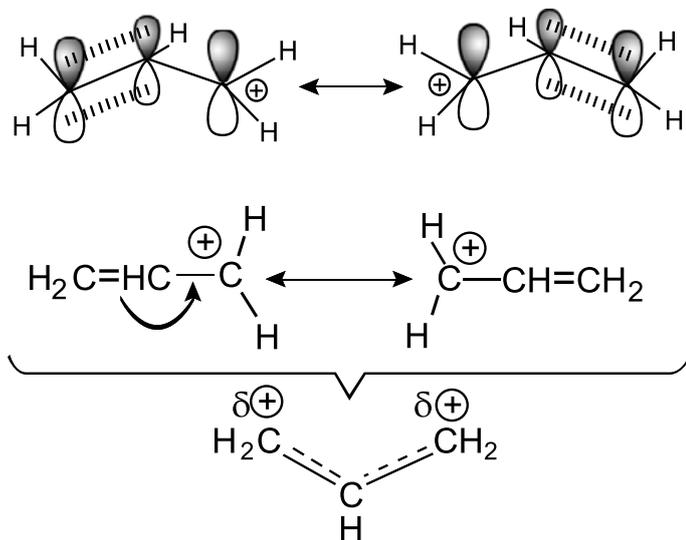
### Estrutura

Os carbocatiões, intermediários reativos em muitas reações orgânicas, são catiões em que a carga positiva está associada a um ou mais átomos de carbono, como por exemplo  $\text{CH}_3^+$  (carbocatião metilo) e  $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2^+$  (carbocatião alilo):



São normalmente muito reativos, o que lhes confere uma vida bastante curta. Foi J. Stiegler, em 1899<sup>[2]</sup>, quem propôs pela primeira vez a intervenção de carbocatiões como intermediários em Química Orgânica, ideia que foi desenvolvida mais tarde por H. Meerwein<sup>[3]</sup>.

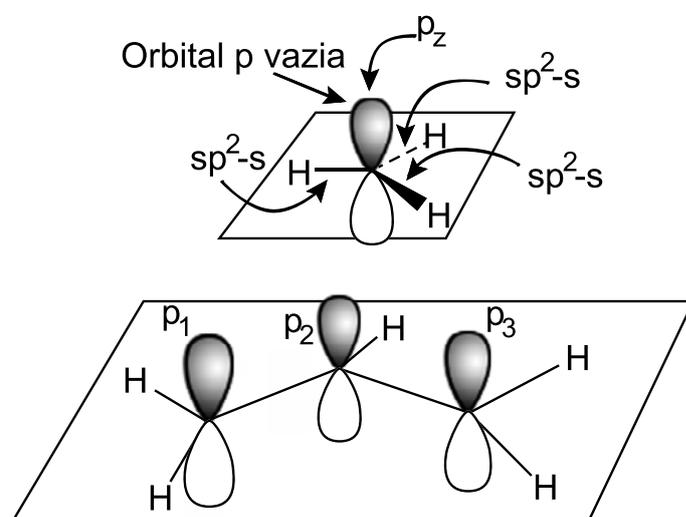
No carbocatião metilo a carga positiva está praticamente toda localizada no átomo de carbono mas no carbocatião alilo a carga está deslocalizada, o que se representa utilizando as seguintes estruturas contribuintes (ressonância):



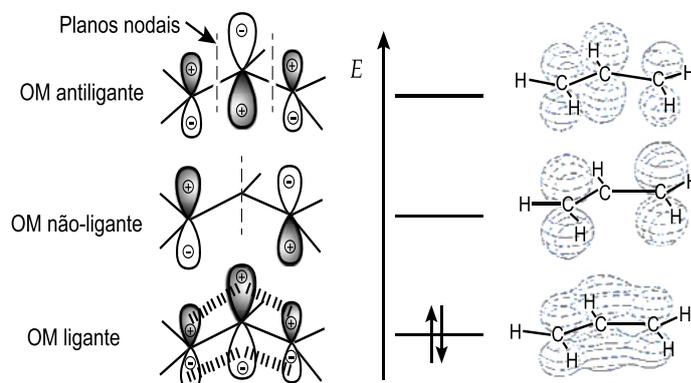
A verdadeira estrutura do carbocatião é algo parecida com a representação inserida por baixo da chave-ta e significa que na partícula não existem nem ligações duplas nem ligações simples, mas ligações com caráter intermédio entre duplo e simples, que se representaram por um traço tracejado sobre um traço cheio. Mostra, igualmente, que a carga positi-

va não está localizada num só átomo de carbono mas distribuída pelos carbonos terminais do carbocatião. Dada a simetria da partícula, as cargas  $\delta^+$  aqui são iguais a 0,5+.

A geometria em torno do átomo de carbono com carga positiva é plana, o que seria de esperar dada a repulsão dos pares eletrónicos que fazem as ligações do carbono aos três átomos adjacentes. A geometria destes dois carbocatiões está representada na figura:



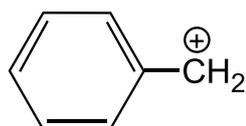
As três orbitais moleculares (OM)  $\pi$  do carbocatião alilo resultantes da combinação das três orbitais atômicas  $p$  são as seguintes:



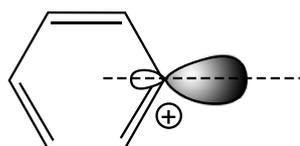
A OM de menor energia está completamente preenchida e estende-se sobre todo o sistema, o que confere às ligações C-C um caráter intermédio entre ligação simples e ligação dupla (3 eletrões em cada ligação, ou seja, dois eletrões  $\sigma$  e um eletrão  $\pi$  entre dois carbonos). A maior contribuição da orbital atômica

$p_{z2}$  para esta orbital molecular mostra que a densidade eletrónica é maior sobre o carbono central, ou seja, a deficiência eletrónica situa-se nos carbonos laterais (o que equivale a dizer que é neles onde existe excesso de carga positiva, como as estruturas contribuintes mostram).

Os carbocatiões podem apresentar estruturas variadas, como os carbocatiões benzilo e fenilo.

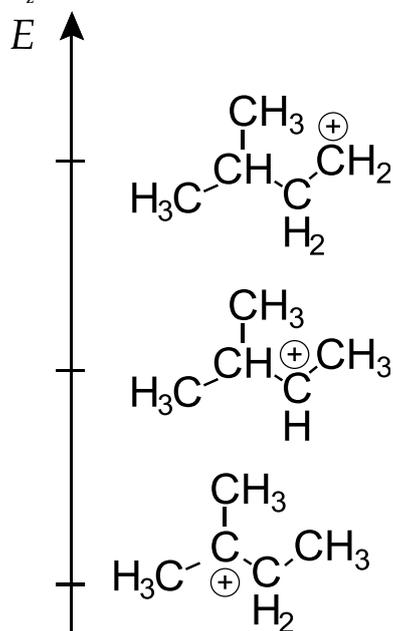


Carbocatião benzilo



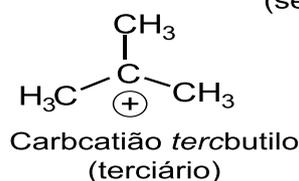
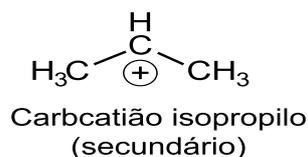
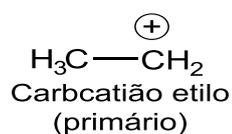
Carbocatião fenilo

O carbocatião benzilo é estabilizado pela deslocalização da carga positiva sobre todo o sistema pois o eixo da orbital  $p_z$  do carbono fora do anel é paralela aos eixos das seis orbitais atómicas  $p_z$  combinadas no benzeno; em contraste, no carbocatião fenilo a carga encontra-se centrada no carbono pois o eixo da orbital vazia  $sp^2$  do carbono é perpendicular aos eixos das orbitais  $p_z$  referidas.

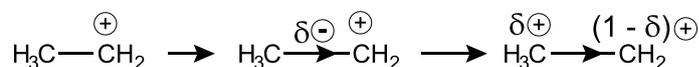


Os carbocatiões podem também ser estabilizados por dispersão da carga positiva por ação do efeito indutor e por hiperconjugação de outros átomos e grupo presentes.

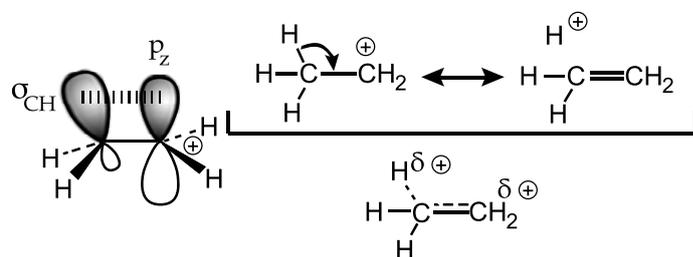
Os carbocatiões terciários são mais estabilizados que os secundários e estes mais estabilizados que os primários, devido aos efeitos dos grupos alquilo adjacentes.



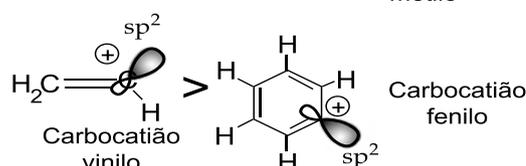
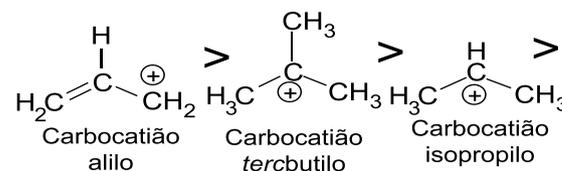
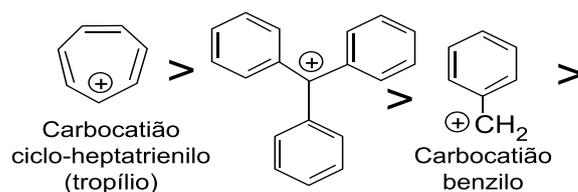
Os grupos alquilo, como o metilo, dadores de carga negativa  $\delta^-$ , dispersam a carga positiva sobre outros átomos (carga inicialmente localizada num só carbono), tornando o sistema mais estável.



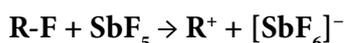
A hiperconjugação é uma estabilização resultante da interação de orbitais  $\sigma$  com orbitais  $p$  e  $\pi$ . A figura representa a hiperconjugação no carbocatião etilo e mostra que a carga positiva é dispersa sobre o sistema, a ligação C-H é enfraquecida e a ligação dupla tem caráter intermédio entre duplo e simples.



A deslocalização eletrónica (mesomerismo, ressonância), o efeito indutor e a hiperconjugação podem atuar simultaneamente e a sua importância decresce da deslocalização eletrónica até à hiperconjugação. Apresentam-se seguidamente carbocatiões cuja estabilidade decresce desde o tropílio (cicloheptatrienilo) até ao fenilo.

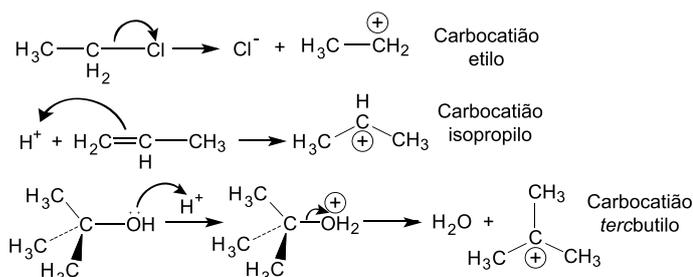


O catião tropílio forma-se rapidamente por dissolução em água de brometo correspondente, não reagindo com o solvente. Este catião, com  $4n+2$  elétrons  $\pi$  deslocalizados sobre o anel apresenta aromaticidade e daí a sua apreciável estabilidade. O carbocátion trifenilmetilo reage com a água, mas pode ser obtido em  $\text{SO}_2$  líquido. Em meio superácido os fluoroalcanos,  $\text{R-F}$ , são convertidos facilmente em carbocátions.

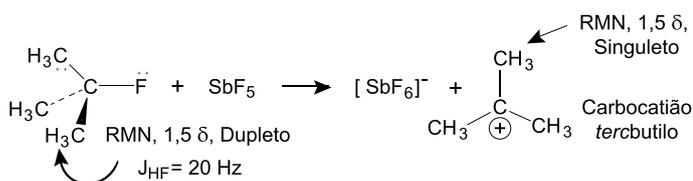


## Formação de Carbocátions

Os precursores mais vulgares de carbocátions são os haloalcanos (por cisão heterolítica da ligação C-X), os alcenos (por adição de eletrófilos à ligação dupla) e os álcoois (por desidratação dos correspondentes iões oxónio).



A extensão da ionização dos haloalcanos depende da estabilização do carbocátion formado (da sua estabilidade), da natureza do halogéneo ( $\text{I} > \text{Br} > \text{Cl} > \text{F}$ ) e do solvente (deve ser ionizante e ter capacidade de solvatação). Embora a existência dos carbocátions fosse deduzida com base em particularidades nas reações em que eles participam, em 1958, Doering *et al.*,<sup>[4]</sup> observaram pela primeira vez, por RMN, um carbocátion estável (o catião heptametilbenzenónio). Em 1963 G. Olah<sup>[5]</sup> conseguiu detetar diretamente carbocátions alquilo, muito mais reativos, formados a partir de fluoretos de alquilo em meio superácido ( $\text{SbF}_5$ ), onde permanecem sem sofrer qualquer modificação, podendo ser observados por IV e RMN.

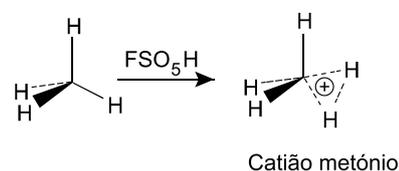
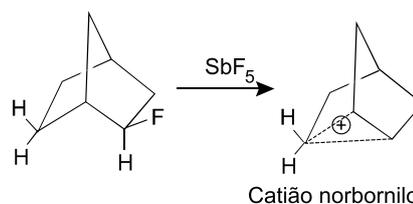


O sinal de RMN (duplete) correspondente aos grupos metilo no composto inicial, acoplados com o átomo

de fluor, desapareceu completamente dando lugar a um singuleto a campo muito mais baixo correspondente aos grupos metilo do carbocátion, em que a densidade eletrónica sobre os prótons foi apreciavelmente diminuída devido à proximidade da carga positiva.

## Iões carbónio não-clássicos

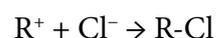
São catiões que não podem ser representados adequadamente por uma simples estrutura de Lewis por conterem um ou mais átomos de hidrogénio e carbono formando pontes entre dois centros eletronicamente deficientes. Estes catiões apresentam átomos de carbono pentacoordenados (como no catião norbornilo) ou átomos de hidrogénio dicoordenados (como no catião metónio)<sup>[7]</sup>. Uma das primeiras propostas da existência destes iões deve-se a Nevil, Salas e Wilson<sup>[8]</sup>, embora Winstein e Trifan<sup>[9]</sup> tenham tido um papel importante no desenvolvimento do conceito.



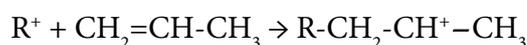
## Intervenção dos carbocátions em reações químicas

Os carbocátions, dada a sua baixa densidade eletrónica, atacam preferentemente pontos de densidade eletrónica elevada, formando ligações à custa de dupletos eletrónicos do substrato. São eletrófilos ou ácidos de Lewis. Assim, os carbocátions:

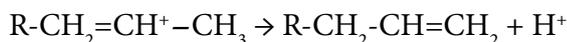
- **Reagem com iões negativos**



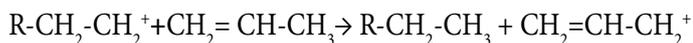
- **Adicionam a ligações múltiplas, originando novos carbocátions:**



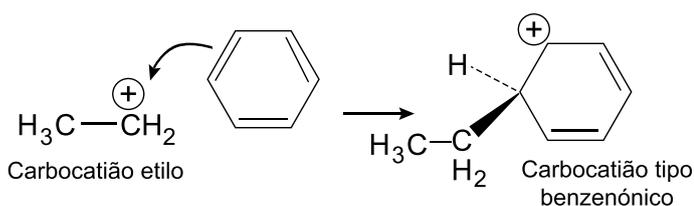
- **Eliminam prótons, formando compostos insaturados (cisão  $\beta$ ):**



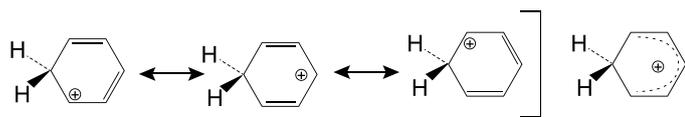
- **Removem hidreto:**



- **Adicionam ao anel aromático:**

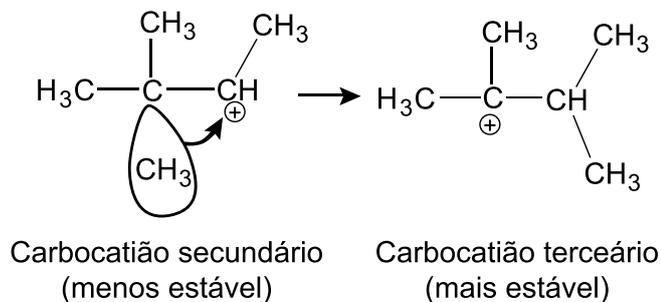
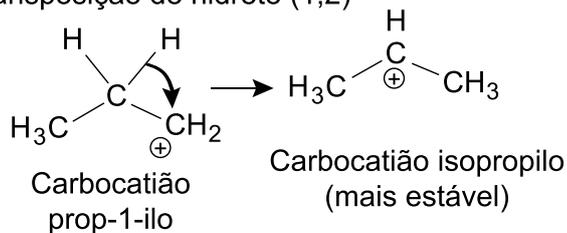


No novo carbocátion a carga positiva está deslocalizada do anel, como sucede no carbocátion benzenônio



- **Sofrem rearranjos, transformando-se em cátions de maior estabilidade:**

Transposição de hidreto (1,2)



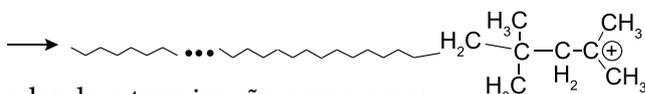
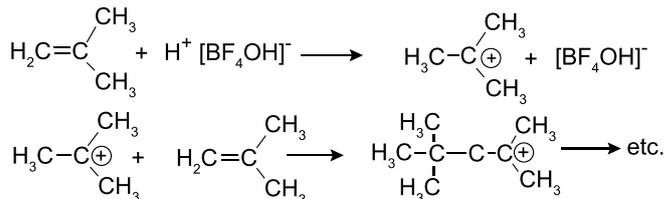
## Processos industriais em que intervêm carbocátions

Os carbocátions são os intermediários mais comuns nas reações da Química Orgânica, intervindo também em importantes processos industriais, como

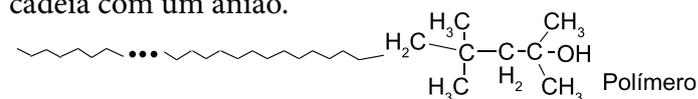
a polimerização, a alquilação de alenos, o cracking catalítico e outros.

- **Polimerização catiónica**

A borracha butílica é um polímero obtido por polimerização catiónica do isobutileno iniciada por  $BF_3$  na presença de vestígios de água, em diclorometano, a temperaturas muito baixas.

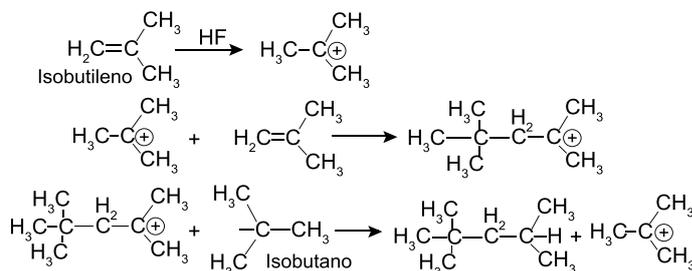


podendo a terminação ocorrer por reação deste carbocátion de longa cadeia com um anião.



- **Alquilação de alenos**

A alquilação de alenos realiza-se para obter hidrocarbonetos ramificados de elevado índice de octano, como o "isooctano" (2,2,4-trimetilpentano). Realiza-se na presença de ácidos concentrados, como  $HF$  e  $H_2SO_4$ .



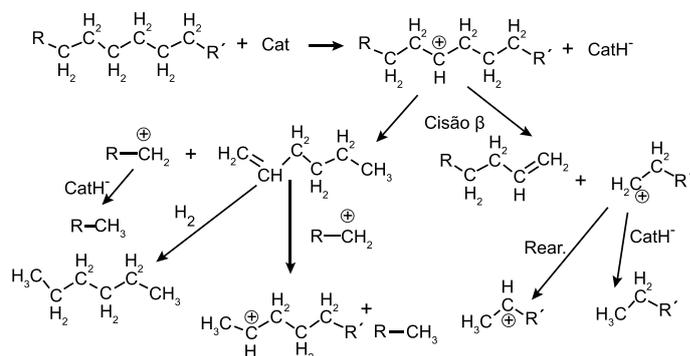
Além do "isooctano" obtêm-se alenos derivados do catião dímero por cisão  $\beta$  C-H, embora em pequena percentagem.

- **Cracking catalítico<sup>[10]</sup>**

O cracking catalítico realiza-se a temperaturas da ordem de 480-540 °C e destina-se a converter hidrocarbonetos de cadeia longa em hidrocarbonetos de menores cadeias para serem utilizados como com-

bustíveis (gasolinas, queroseno, óleos leves e GLP). Utilizam-se catalisadores à base de sílica-alumina, contendo Ni e outros metais. Estes catalisadores ácidos removem hidreto de alcanos e adicionam prótons a alcenos, originando carbocátions. Os carbocátions formados, a estas temperaturas elevadas, sofrem cisões  $\beta$ , originando moléculas com cadeias menores. Ocorrem, também, rearranjos que originam ramificações das cadeias. Muitas vezes o cracking catalítico realiza-se na presença de hidrogénio (hidrocracking), que reduz a quantidade de alcenos produzidos e remove enxofre

e azoto sob a forma de  $\text{H}_2\text{S}$  e  $\text{NH}_3$ .



## Referências

1. a) K.P.C.Vollardt e N.E.Schore, Organic Chemistry, W.H.Freeman, 1999.  
b) R. Morrison e R. Boyd, Química Orgânica, Fundação Calouste Gulbenkian, 1996.  
c) N. L. Allinger et al, Organic Chemistry, Worth Publishers, Inc., 1971.  
d) W. H. Brown, Organic Chemistry, Saunders College Publishing, 1995.
2. J. Stiegler, Am. Chem. J., 21,101(1899).
3. H. Meerwein, Ber., 55, 250(1922).
4. W. Doering et al., Tetrahedron, 4, 178-185(1958)
5. George Andrew Olah, Prémio Nobel da Química em 1994 pela sua contribuição para a química dos carbocátions, apresenta uma interessante revisão do assunto na sua Nobel Lecture, p.156, de 8 Dez. 1994.
6. H. C. Brown e R. Schleyer, "The Non-classical Ion Problem", Plenum Press, New York, 1977.
7. E.V.Anslyn Dennis e A. Dougherty, Modern Physical Organic Chemistry, Wiley, p 55, 2006.
8. T. P. Nevil, E. de Sodas e C.L.Wilson, J. Chem. Soc.,1188 (1939).
9. S. Winstein e D.S.Trifan, J. Amer. Chem. Soc.,71,2958(1949).
10. Doris Kolb e Kenneth E. Kolb, J. Chem. Educ.,56, 465(1979).

### Autor

Carlos Corrêa

Departamento de Química e Bioquímica da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

### Editor

Jorge Gonçalves

Departamento de Química e Bioquímica da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Referência: Corrêa, C. (2013), Revista de Ciência Elementar, 1(01):0026

# Mistura

Quando se juntam diferentes substâncias e não ocorre qualquer reação química entre elas, forma-se aquilo que se designa por mistura.

Se da adição resultar a formação de apenas uma fase onde não se consiga distinguir nenhuma das substâncias (a olho nú, ao microscópio ou por centrifugação), a mistura diz-se homogénea e designa-se por solução. Se se formarem duas ou mais fases que sejam distinguíveis, então a mistura designa-se heterogénea. Existe, ainda, um terceiro tipo de misturas denominado mistura coloidal, onde as substâncias não se dissolvem (como nas soluções), mas formam antes uma suspensão aparentemente homogénea devido ao

tamanho das partículas ser demasiado pequeno e, por isso, também não se enquadrar na categoria de misturas heterogéneas.

A classificação das misturas baseia-se na dimensão das partículas da substância dispersa:

- Solução:  $< 10^{-9}$  m (1 nm)
- Mistura coloidal: entre  $10^{-9}$  e  $10^{-6}$  m (entre 1 nm e 1  $\mu\text{m}$ )
- Mistura heterogénea:  $> 10^{-6}$  m (1  $\mu\text{m}$ )

Como exemplos de misturas heterogéneas tem-se "água + areia", "enxofre + limalha de ferro", "água +

azeite”, “sacarose + farinha”, granito ou cimento.

As misturas coloidais são, frequentemente, classificadas quer como homogéneas, quer como heterogéneas, conforme a sua aparência. São exemplos de misturas coloidais o sangue, o leite, a espuma, a maionese, a gelatina, o fumo, as nuvens, o nevoeiro.

Como exemplos de soluções, são vulgares “água + etanol”, “água + sacarose”, “acetona + clorofórmio”, “oxigénio + azoto + metano”, “água + dióxido de carbono” e ligas metálicas como “cobre + estanho” (bronze) ou “ferro + carbono” (aço). Estas misturas permanecem homogéneas até se atingir o valor da solubilidade do

soluto (substância presente em menor quantidade) no solvente considerado (substância presente em maior quantidade). A partir deste ponto, qualquer adição de soluto origina a formação de novas fases, pelo que a mistura passa a designar-se por heterogénea.

As misturas podem ser separadas nos seus componentes por vários processos físicos. Estes processos incluem a decantação, filtração, centrifugação, cristalização, destilação, cromatografia, etc. A escolha do processo de separação mais adequado depende do tipo de mistura (solução ou mistura heterogénea), das características físico-químicas dos componentes da mistura e do equipamento disponível.

## Autor

Luís Spencer Lima

Doutoramento em Química pela Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

## Editor

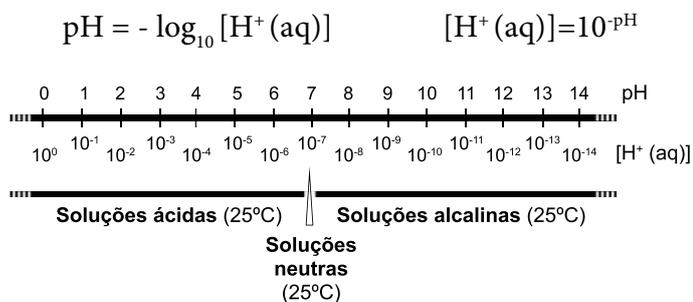
Jorge Gonçalves

Departamento de Química e Bioquímica da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Referência: Spencer Lima, L. (2013), Revista de Ciência Elementar, 1(01):0027

# pH

Tanto em Química como na vida corrente é muitas vezes necessário exprimir quantitativamente a acidez e a basicidade de soluções de um modo fácil, de preferência por um simples número. Assim, em 1909 o bioquímico dinamarquês Sorensen, para medir a acidez de soluções aquosas diluídas, introduziu uma grandeza denominada pH, que quantifica a maior ou menor quantidade de  $H^+(aq)$  existente por litro de solução, através da relação



A escala de pH foi introduzida para simplificar a escrita de concentrações expressas por números muito pequenos. Assim, em vez de  $[H^+(aq)] = 0,000025 \text{ mol. dm}^{-3}$  ou  $2,5 \times 10^{-5} \text{ mol. dm}^{-3}$ , é mais prático escrever

pH = 4,60.

A 25 °C, soluções com pH < 7 dizem-se **ácidas** e soluções com pH > 7 dizem-se **alcalinas** ou **básicas**; as soluções **neutras**, a 25 °C, têm pH = 7,0.

Solução	pH
Suco gástrico	~ 1,3 - 2,5
Vinagre	~ 2 - 3
Sumo de tomate	~ 4
Urina	~ 4,7 - 7,4
Café	~ 5,0
Chuva normal	~ 5,6
Leite	~ 6,6
Saliva	~ 6,8 - 7,3
Bílis	~ 7,6 - 8,5
Água do Mar	~ 8
Suco pancreático	~ 9
Amónia	~ 11

Tabela I - Exemplo de soluções aquosas ácidas e alcalinas (25 °C)

Em soluções aquosas diluídas (até cerca de  $0,1 \text{ mol. dm}^{-3}$ ),

a acidez é tanto maior quanto maior for  $[H^+ (aq)]$ . Para soluções mais concentradas, em que a abundância de moléculas de água para solvatar os iões  $H^+$  é mais escassa, os iões  $H^+$  encontram-se menos ligados a moléculas de água e a acidez do meio (capacidade para doar protões) é superior e não pode ser medida pelo pH. Por esta razão é vulgar apresentar-se a escala de pH compreendida entre 0 e 14, pois dada a relação

$$[H^+ (aq)] \times [HO^- (aq)] = 10^{-14} \quad (25 \text{ }^\circ\text{C})$$

se  $[H^+ (aq)] = 1 \text{ mol.dm}^{-3} = 10^0 \text{ mol.dm}^{-3}$ , vem  $\text{pH} = 0$ . Se  $[HO^- (aq)] = 1$  vem  $[H^+ (aq)] = 10^{-14} \text{ mol.dm}^{-3}$  e  $\text{pH} = 14$ .

O pH é medido utilizando eléctrodos de vidro, que deixam de dar resultados aceitáveis quando  $[H^+ (aq)]$  e  $[HO^- (aq)]$  se tornam superiores a  $0,1 \text{ mol.dm}^{-3}$  (pH fora do intervalo 1 - 13).

Na definição rigorosa de pH, em vez de concentração, utiliza-se a atividade,  $a_{H^+}$ .

A atividade é uma grandeza termodinâmica que se torna igual à concentração em soluções bastante diluídas. A acidez e a alcalinidade de soluções de ácidos e de bases muito concentrados é medida por outras funções de acidez, com as **Funções de Acidez de Hammett**.

## Autor

Carlos Corrêa

Departamento de Química e Bioquímica da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

## Editor

Jorge Gonçalves

Departamento de Química e Bioquímica da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Referência: Corrêa, C. (2013), Revista de Ciência Elementar, 1(01):0028

# Processo de Haber-Bosch

O processo de Haber-Bosch (por vezes designado simplesmente como processo de Haber) é um procedimento industrial de obtenção de amoníaco a partir de diazoto e di-hidrogénio no estado gasoso.<sup>[1]</sup> Pelo desenvolvimento deste processo e pela sua industrialização, os químicos alemães Fritz Haber (1868 – 1934) e Carl Bosch (1874 – 1940) foram galardoados com o Prémio Nobel da Química, respetivamente, em 1918<sup>[2]</sup> e 1931<sup>[3]</sup>.

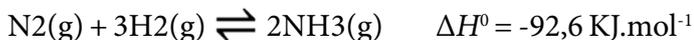
Muito antes da Revolução Industrial, os agricultores já compreendiam as vantagens existentes em adubar os terrenos de cultivo. Na década de 1840 o químico alemão Justus von Liebig (1803 – 1873) apercebeu-se da importância do azoto na fertilização de terrenos agrícolas. Pelo facto de existirem poucos adubos naturais e ser necessário importar guano de ilhas do Oceano Pacífico, era necessário encontrar um processo que captasse o azoto atmosférico e o convertesse num composto que pudesse ser utilizado para a fertilização. Além disso, o amoníaco podia ser convertido em ácido nítrico, o precursor da pólvora e de outros explosivos, tais como o TNT e a nitroglicerina. No entanto, apesar de já se saber que o diazoto correspondia à maior parte do conteúdo da atmosfera terrestre,

a química inorgânica ainda não tinha estabelecido um processo para o captar. Assim, quando em 1909 o químico alemão Fritz Haber conseguiu fixar o diazoto atmosférico em laboratório, a sua descoberta foi bastante interessante quer do ponto de vista económico, quer militar. Haber conseguiu produzir amoníaco utilizando ósmio como catalisador e um reator que aguentava uma pressão de 175 atm e uma temperatura de 550 °C.<sup>[1]</sup>

Esse trabalho fez com que o diretor da BASF enviasse dois dos seus melhores engenheiros para junto de Haber, o engenheiro metalúrgico Carl Bosch e o especialista em catálise Alwin Mittasch (1869 – 1953). Em 1910, Bosch recebeu instruções para industrializar o processo de obtenção de amoníaco e, em 1912, a primeira indústria piloto de obtenção de amoníaco pelo processo Haber-Bosch já produzia uma tonelada de amoníaco por dia.<sup>[1]</sup> O processo de obtenção por este método permitiu sintetizar quase a totalidade de amoníaco necessário para a produção de fertilizantes. Além disso, o facto de o amoníaco poder ser convertido em compostos úteis na síntese de explosivos (TNT e nitroglicerina, por exemplo) fez com que a

sua exploração tivesse ainda mais sucesso ao longo da Primeira Guerra Mundial.

A síntese do amoníaco pelo processo de Haber-Bosch pode ser resumida na seguinte equação química:

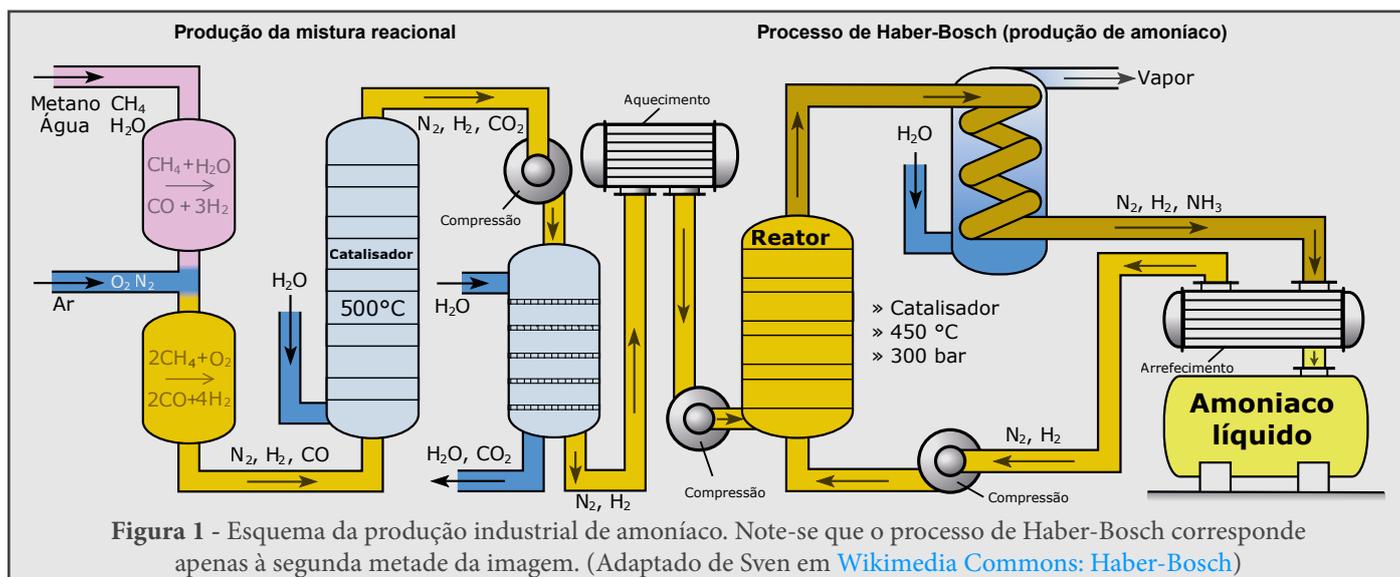


Analisando a equação acima, podem extrair-se duas grandes conclusões<sup>[4]</sup>:

- Como 1 mole de  $\text{N}_2$  reage com 3 moles de  $\text{H}_2$  para originar 2 moles de  $\text{NH}_3$ , é possível maximizar a produção de amoníaco se a reação ocorrer a pressões elevadas;
- Dada a natureza exotérmica da reação direta, quanto menor a temperatura do vaso reacional, maior será a produção de amoníaco.

Assim, das conclusões acima, compreende-se que o processo de Haber-Bosch deve ser realizado a pressões elevadas e à temperatura mais baixa possível. Neste sentido, o processo de Haber-Bosch original deve ser realizado a uma pressão de cerca de 200 bar e uma temperatura entre 500 °C e 600 °C.<sup>[5,6]</sup> A catálise deste processo deve ser feita com ferro, óxido de alumínio ou óxido de potássio.<sup>[7]</sup>

O processo de remoção do amoníaco resulta dos diferentes pontos de ebulição dos componentes no vaso reacional. Como o amoníaco possui um ponto de ebulição mais elevado que o do diazoto e o do di-hidrogénio, é possível condensar apenas o amoníaco, reciclando o diazoto e o di-hidrogénio gasosos que ainda não reagiram. Em Portugal, este processo de obtenção de amoníaco foi utilizado, até dezembro de 2008, na empresa industrial Amoníaco de Portugal, S.A.<sup>[8]</sup>.



## Referências

1. F. Aftalion, A history of the international chemical industry, 2nd edition, Philadelphia, PA: Chemical Heritage Press, 2001, ISBN: 978-0-94-190129-1.
2. [Nobel Lecture: The synthesis of ammonia from its elements](#), consultado em 03/04/2012. H. Meerwein, Ber., 55, 250(1922).
3. [Nobel Lecture: The development of the chemical high pressure method during the establishment of the new ammonia industry](#), consultado em 03/04/2012.
4. R. Chang, Chemistry, 10th edition, Boston: McGraw-Hill, 2010, ISBN: 978-0-07-351109-2.
5. L. Lloyd, Handbook of industrial catalysts, New York: Springer, 2011, ISBN: 978-0-387-49962-8.
6. A. Stwertka, A guide to the elements, 2nd edition, New York: Oxford University Press, 2002, ISBN: 978-0-19-515026-1.
7. A. Jones, Access to chemistry, Cambridge, UK: Royal Society of Chemistry, 1999, ISBN: 0-85404-564-3.
8. C. Corrêa, F. P. Basto, N. Almeida, Química no Mundo Real, 1ª edição, Porto: Porto Editora, 2008, ISBN: 978-972-0-42249-1.

### Autor

Daniel Ribeiro

Mestrado em Ensino de Física e Química pela Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

### Editor

Jorge Gonçalves

Departamento de Química e Bioquímica da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

## Processos físicos de separação

Os processos físicos de separação são um conjunto de procedimentos que permitem separar misturas (homogêneas ou heterogêneas) em outras misturas menos complexas ou em substâncias (puras) – ver figura 1.<sup>[1]</sup> Estes processos de separação são fundamentais no estudo e desenvolvimento da Química.

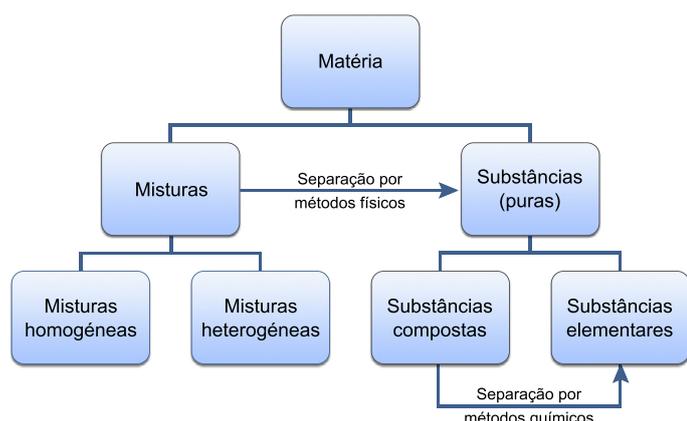


Figura 1 - Diagrama de classificação da matéria. Note-se a importância dos processos de separação. (Adaptado de Chemistry, de Raymond Chang)

Salvo raras exceções, quase todas as substâncias encontram-se no estado impuro ou misturadas com outras substâncias. Decorre deste facto a necessidade de separar as misturas nos seus componentes individuais. Além disto, dependendo do grau de miscibilidade de uma mistura, pode haver a necessidade de utilizar dois ou mais processos físicos de separação para que as substâncias que formam essa mistura possam ser devidamente separadas.

Os processos de separação são normalmente processos físicos e os nossos antepassados tiveram já que utilizar alguns destes processos de separação para que pudessem subsistir. Por exemplo, a água era filtrada, ou até mesmo fervida, antes de ser consumida.

Quando as misturas são separadas por processos físicos de separação, cada componente conserva as suas

propriedades. Por exemplo, uma mistura de sal e água pode ser separada por evaporação da água e deixando o sal no estado sólido como resíduo. Para separar uma mistura de areia e sal, podemos tratá-la com água para dissolver o sal, recolher a areia por filtração, e depois evaporar a água para recuperar o sal no estado sólido. Para ilustrar o processo de separação magnética é usual misturar limalha de ferro com enxofre em pó para originar o que parece ser, a olho nú, uma mistura homogênea<sup>[2]</sup> e remover depois o ferro utilizando um íman. Alternativamente o enxofre pode ser separado por extração sendo dissolvido em dissulfuro de carbono, dado que o ferro não é solúvel.

De entre todos os processos físicos de separação, podem destacar-se os seguintes<sup>[3]</sup>:

- decantação;
- filtração;
- peneiração;
- centrifugação;
- sublimação;
- separação magnética;
- extração (com solvente específico);
- destilação;
- cristalização;
- cromatografia(s);
- evaporação (de solvente).

As aplicações dos processos físicos de separação na área de engenharia química são muito importantes. Um bom exemplo é a refinação do petróleo. O petróleo bruto é uma mistura de vários hidrocarbonetos e é valioso na sua forma natural. No entanto, existe maior procura económica para os produtos petrolíferos purificados, como o gás natural, a gasolina, o gasóleo, o querosene, os óleos lubrificantes, o asfalto, entre outros.

### Referências

1. R. Chang, Chemistry, 10th edition, Boston: McGraw-Hill, 2010, ISBN: 978-0-07-351109-2.
2. K. Whitten, General Chemistry, 7th edition, Belmont, CA: Thomson Brooks/Cole, 2007, ISBN: 978-0-53-440860-2.
3. C. Corrêa, F. P. Basto, N. Almeida, Química, 1ª edição – Caderno Auxiliar, Porto: Porto Editora, 2008, ISBN: 978-972-0-42248-4.

### Autor

Daniel Ribeiro

Mestrado em Ensino de Física e Química pela Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

### Editor

Jorge Gonçalves

Departamento de Química e Bioquímica da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Referência: Ribeiro, D. (2013), Revista de Ciência Elementar, 1(01):0030

# Raio atômico

Considerando os átomos com forma esférica, o raio atômico seria o raio de uma esfera que incluisse praticamente toda a nuvem eletrônica. No entanto, a nuvem eletrônica não apresenta uma fronteira rigorosamente definida, uma vez que os elétrons não se encontram em órbitas bem definidas, sendo a sua distribuição espacial descrita por uma função de densidade de probabilidade, segundo o atual modelo de orbitais do átomo. Deste modo, dado que os átomos não são exatamente esferas rígidas, existem várias propostas de avaliação do tamanho dos átomos: raio metálico, raio covalente e raio de Van der Waals.

Se se conhecer a distância entre os núcleos de dois átomos ligados, pode considerar-se o raio atômico como metade dessa distância, como sucede nos elementos metálicos, em que o raio atômico se passa a designar por raio metálico. O mesmo se passa com elementos não metálicos covalentemente ligados em moléculas diatómicas (e.g.  $\text{Cl}_2$ ); nestas circunstâncias, o raio atômico adota a designação de raio covalente.

Quando temos em presença dois átomos não ligados, os elétrons de cada átomo não se movem independentemente dos elétrons do outro átomo; movem-se de modo a conduzir a polarizações instantâneas de que resulta a atração entre os átomos (forças de van der Waals). A energia do sistema vai diminuindo com a aproximação, passa por um mínimo, e cresce depois rapidamente devido à repulsão entre os núcleos. A distância entre os núcleos quando a energia potencial é mínima, é igual à soma dos raios de van der Waals. Se os átomos são iguais, os raios de de van der Waals são metade desta distância. Se os átomos são diferentes, pode determinar-se o raio atômico de um a partir do conhecimento do raio do outro.

O valor do raio atômico dos elementos varia entre 30 e 300 pm, cerca de um milhão de vezes mais pequeno que um glóbulo vermelho (6 a 8  $\mu\text{m}$ ).[1] No entanto,

o valor do raio de um átomo é cerca de dez mil vezes maior que o seu núcleo (1-10 fm).

O raio atômico é uma propriedade periódica, pois varia de acordo com a posição do elemento na Tabela Periódica, diminuindo genericamente ao longo de um período e aumentando monotonamente ao longo de um grupo. Ao longo do período, cada elemento sucessivo apresenta mais um próton e um elétron que o imediatamente anterior, mas o número de camadas eletrônicas ocupadas não aumenta com o aumento do número de elétrons. Logo, ao longo do período, o aumento da carga nuclear efetiva, provocada pelo aumento do número de prótons, origina átomos com os elétrons mais fortemente atraídos para o núcleo do que resulta um menor raio atômico. À medida que descemos no grupo, o número de camadas eletrônicas ocupadas aumenta, os elétrons de valência encontram-se numa camada mais exterior, onde a carga nuclear efetiva é menor (maior blindagem), os elétrons estão menos fortemente atraídos e, por isso, o raio atômico é maior.

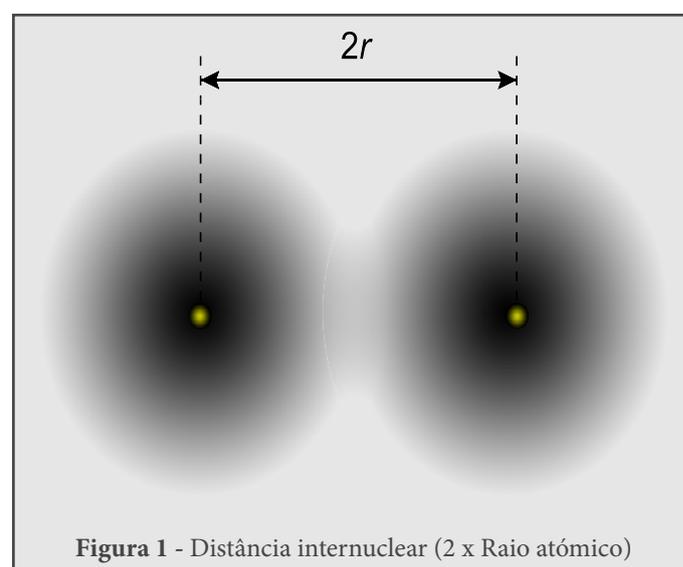


Figura 1 - Distância internuclear (2 x Raio atômico)

## Referências

1. [http://en.wikipedia.org/wiki/Red\\_blood\\_cell](http://en.wikipedia.org/wiki/Red_blood_cell)

### Autor

Ricardo Ferreira Fernandes  
Mestrado em Química pela Faculdade de Ciências da  
Universidade do Porto

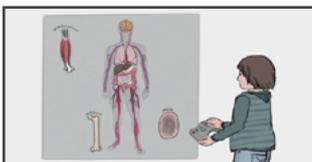
### Editor

Jorge Gonçalves  
Departamento de Química e Bioquímica da Faculdade de  
Ciências da Universidade do Porto

Referência: Ferreira Fernandes, R. (2013), Revista de Ciência Elementar, 1(01):0031



A Casa das Ciências é um projeto da Fundação Calouste Gulbenkian, na sequência da forte tradição de apoio à qualidade da educação em Portugal, que esta instituição tem desenvolvido em diferentes frentes ao longo dos anos.



Trata-se de um projeto da Fundação que se desenvolve em torno de um portal para professores de Ciência e que se assume como um veículo integrador e amplificador dos esforços atuais na utilização das Tecnologias da Informação no processo de Ensino/Aprendizagem feitos por agentes muito diferenciados, e cujos resultados se encontram dispersos.



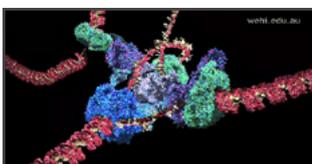
Pretende este portal dar visibilidade e utilidade aos esforços de muitos docentes, reconhecendo-lhes o mérito que efetivamente têm, transformando-se num sítio web de referência para todos os professores de Ciência em língua portuguesa.



Sendo um instrumento de suporte à atividade docente nas diferentes áreas das ciências, tem merecido, e espera-se que continue a merecer, o apoio generalizado não só dos professores e instituições de educação básica e secundária mas também das instituições de educação superior.



Por outro lado, tem-se vindo a assumir como um portal de professores para professores, um espaço onde coexistem materiais que os próprios professores consideram úteis e eficazes para a sua atividade profissional, com materiais já validados internacionalmente e que são, sempre que possível, traduzidos e adaptados, todos previamente avaliados dos pontos de vista científico e pedagógico, e organizados de forma a acompanhar os programas oficiais.



A aceitação pela Comissão Editorial, e a publicação de uma determinada peça neste portal, tem sido vista e sê-lo-á cada vez mais, como prestigiante para os autores, em analogia com a publicação científica usual.



A Casa das Ciências, enquanto repositório de informação que se pretende qualificada para professores, possui, entre os materiais digitais destinados à atividade educativa, textos de caráter científico orientados predominantemente para alunos e professores, mas também passíveis de serem lidos por todas as pessoas, imagens

– fotografias e ilustrações – orientadas para os processos ilustrativos que os professores sempre usam nas suas aulas e todo o tipo de apresentações, vídeos, animações, simulações, etc.

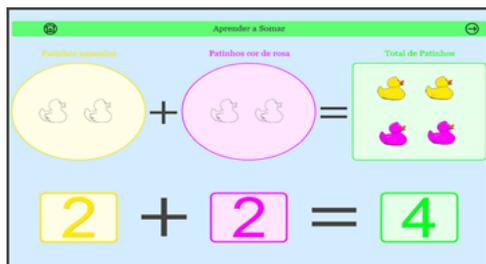
O total destes materiais ultrapassa os 5 000 recursos diferentes que se destinam a servir o ensino das Ciências em português.

**Mais de 400 animações em Flash**  
**Mais de 300 simulações em Java**  
**Mais de 160 documentos (alguns interativos) em PDF**  
**Mais de 1 300 imagens publicadas**  
**Mais de 780 artigos de ciência elementar**

Vale a pena uma visita.



# Sugestões de recursos educativos

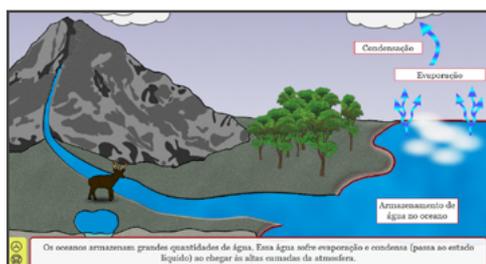


## Somar é fácil!

**Descrição:** Aplicação interativa que permite uma primeira abordagem ao conceito de soma! Destina-se a alunos do pré-escolar e 1.º ciclo do ensino básico. Esta aplicação também está disponível para Android.

**Tema:** Operações elementares

**Autor:** Casa das Ciências



## A água

**Descrição:** Aplicação interativa que aborda as diferentes fases do ciclo da água e permite ao utilizador interagir com os diferentes elementos de uma paisagem típica com nuvens, rios, oceano, animais e plantas.

**Tema:** Aspetos físicos do meio local / Ciclo da água

**Autor:** Casa das Ciências



## Os cinco sentidos e a perceção do mundo

**Descrição:** Aplicação interativa que aborda de forma simples e muito interessante os cinco sentidos (visão, audição, olfato, paladar e tato) e o funcionamento dos órgãos associados a cada um deles.

**Tema:** Diversidade dos seres vivos e sua interação com o meio

**Autor:** Natacha Martinho e João Fernandes

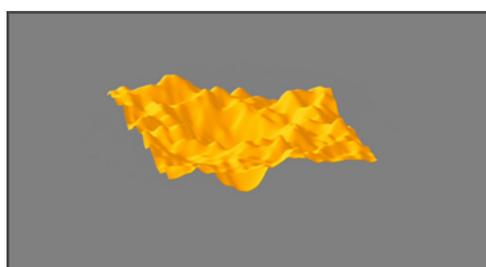


## Números fracionários

**Descrição:** Aplicação interativa que parte do exemplo da divisão de um chocolate para introduzir a escrita de frações e o cálculo com números fracionários.

**Tema:** Números e operações

**Autor:** Casa das Ciências



## Animação de mancha solar

**Descrição:** Atividade interativa que tem como objetivo visualizar as alterações ocorridas à superfície do Sol e onde se demonstra o processo de criação da animação de uma mancha solar.

**Tema:** Astros do Sistema Solar

**Autor:** Miguel Neta



## Questões sobre luz e visão

**Descrição:** Apresentação para quadro interativo (Activinspire) com um banco de questões sobre luz, defeitos de visão e cor, muito útil para consolidar conhecimentos.

**Tema:** A luz

**Autor:** Maria José e Maria João Pereira



## Extração do DNA

**Descrição:** Vídeo com uma demonstração detalhada da extração do DNA de diferentes frutos, utilizando apenas recursos / materiais de uso comum no nosso dia-a-dia.

**Tema:** Transmissão da vida

**Autor:** Diana Lobo

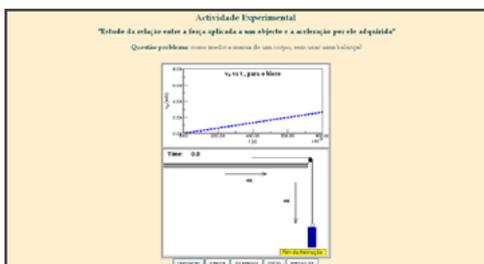


## Função quadrática

**Descrição:** Recurso que utiliza a calculadora gráfica como instrumento de estudo da função quadrática e modelação matemática. Inclui *powerpoint*, ficheiros *.tns* e ficha de trabalho.

**Tema:** Função quadrática

**Autor:** Zaida Roque

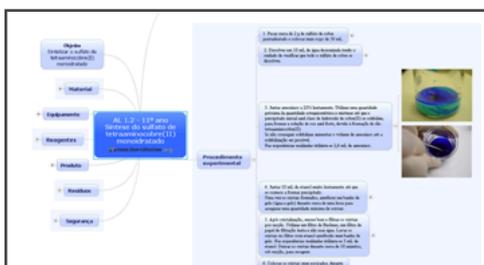


## Estudo experimental (virtual) da 2.ª Lei de Newton

**Descrição:** Atividade experimental virtual sobre o estudo da relação entre uma força externa exercida sobre um corpo e a aceleração adquirida por este (2ª Lei de Newton).

**Tema:** 2.ª Lei de Newton

**Autor:** Paulo Simeão Carvalho



## AL1.2 | 11.º ano

**Descrição:** Aplicação interativa que permite uma visão global sobre toda a atividade laboratorial 1.2 - síntese de sulfato de tetraaminocobre (II) monohidratado.

**Tema:** Produção industrial do amoníaco

**Autor:** J. Pinto, T. Pires e M. Ribeiro

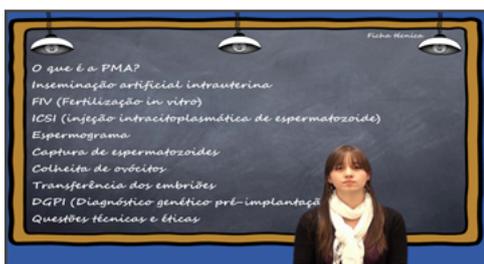


## Modelos matemáticos na música

**Descrição:** Proposta de trabalho de grupo para investigar as relações matemáticas existentes entre as frequências das notas musicais e criação de modelos matemáticos com as frequências da escala temperada.

**Tema:** Função exponencial e função logarítmica

**Autor:** Ana Pinção, Ana Gomes, Bernardino Jorge, Carlos Silva e Jorge Carvalho



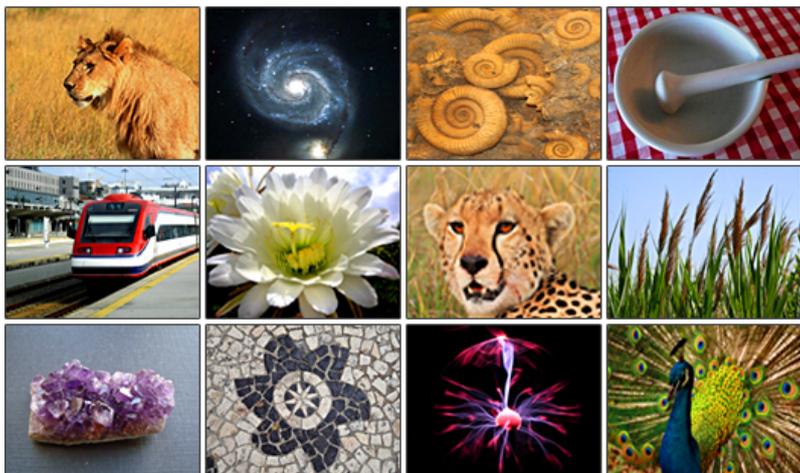
## Procriação medicamente assistida

**Descrição:** Este recurso apresenta a procriação medicamente assistida: as técnicas atualmente em uso, uma breve perspectiva histórica e as questões éticas em torno do tema.

**Tema:** Reprodução e manipulação da fertilidade

**Autor:** Carmen Madureira e Cândido Pereira

# Banco de Imagens da Casa das Ciências



Um dos interessantes componentes do portal da Casa das Ciências é o do Banco de Imagens.

Vale a pena contar um pouco da história da sua criação. Por volta de 2009, a “Casa” em colaboração com as Direções Regionais de Educação e Instituições do Ensino Superior, realizou, um pouco por todo o país, pequenas ações de divulgação do projeto em que, simultaneamente, procurávamos saber como era recebido e o que se poderia fazer para que fossem encontradas respostas que se adequassem à necessidade dos professores. Um dos padrões que nos acompanhou por quase toda

a parte foi o da falta de imagens para ilustrar questões científicas, sobretudo imagens de utilização livre, cientificamente consistentes e “sem” “acrescentos” publicitários que nem sempre são desejáveis e que os professores pudessem utilizar nas suas apresentações, documentos, testes, etc.

A ideia foi-se cimentando, fomos criando um modelo que permitisse uma utilização partilhada simples e, em meados de 2011, foi colocado on-line, com alguns desafios a fotógrafos/cientistas, que partilhassem algum do seu espólio.

Da fotografia, nasceu a necessidade da ilustração; da ilustração científica a necessidade da didática; desta, as adequações aos diferentes ciclos (nomeadamente para os ciclos mais elementares não se mostrou nada simples) e por aí adiante.

Hoje, temos mais de 1.300 imagens distribuídas por diferentes áreas disciplinares, com maior incidência ainda nas Ciências Naturais (Biologia e Geologia), mas com todas as outras com sinais evidentes de crescimento e a precisar do “seu” particular contributo. As categorias que, por ora, estão criadas, são as que indicamos abaixo, algumas ainda com muito pouca informação, mas tudo depende de si.

Garantimos apenas uma coisa. Quando a imagem é depositada, alguém (por norma alguém da especialidade) a vê, faz a sua apreciação e a publica. Se o não fizer, terá a obrigação de lhe dizer porquê.

## Notas finais

O descritivo das imagens deve ter informação clara e precisa. Refira o que a imagem contém e certifique-se que está cientificamente correto.

Mais de **1.300 imagens** distribuídas por área disciplinar

Astronomia

Informática

Biologia

Introdução às Ciências

Física

Matemática

Geologia

Química

Imagens com licença Creative Commons para utilizar nas suas

apresentações ou publicações *web*

Visite-nos em

[imagem.casadasciencias.org](http://imagem.casadasciencias.org)



Cobra-de-pernas-tridáctila - *chalsides striatus* (Foto de Paulo Talhadas dos Santos)

## Fotos e ilustrações nas suas apresentações

---

No banco de imagens da Casa das Ciências, pode encontrar uma grande variedade de imagens para utilizar nas suas aulas ou publicações *web*. Estão disponíveis imagens das diversas áreas científicas, todas com licença Creative Commons, e que podem ser utilizadas ou alteradas para fins educacionais, desde que citado o autor original.

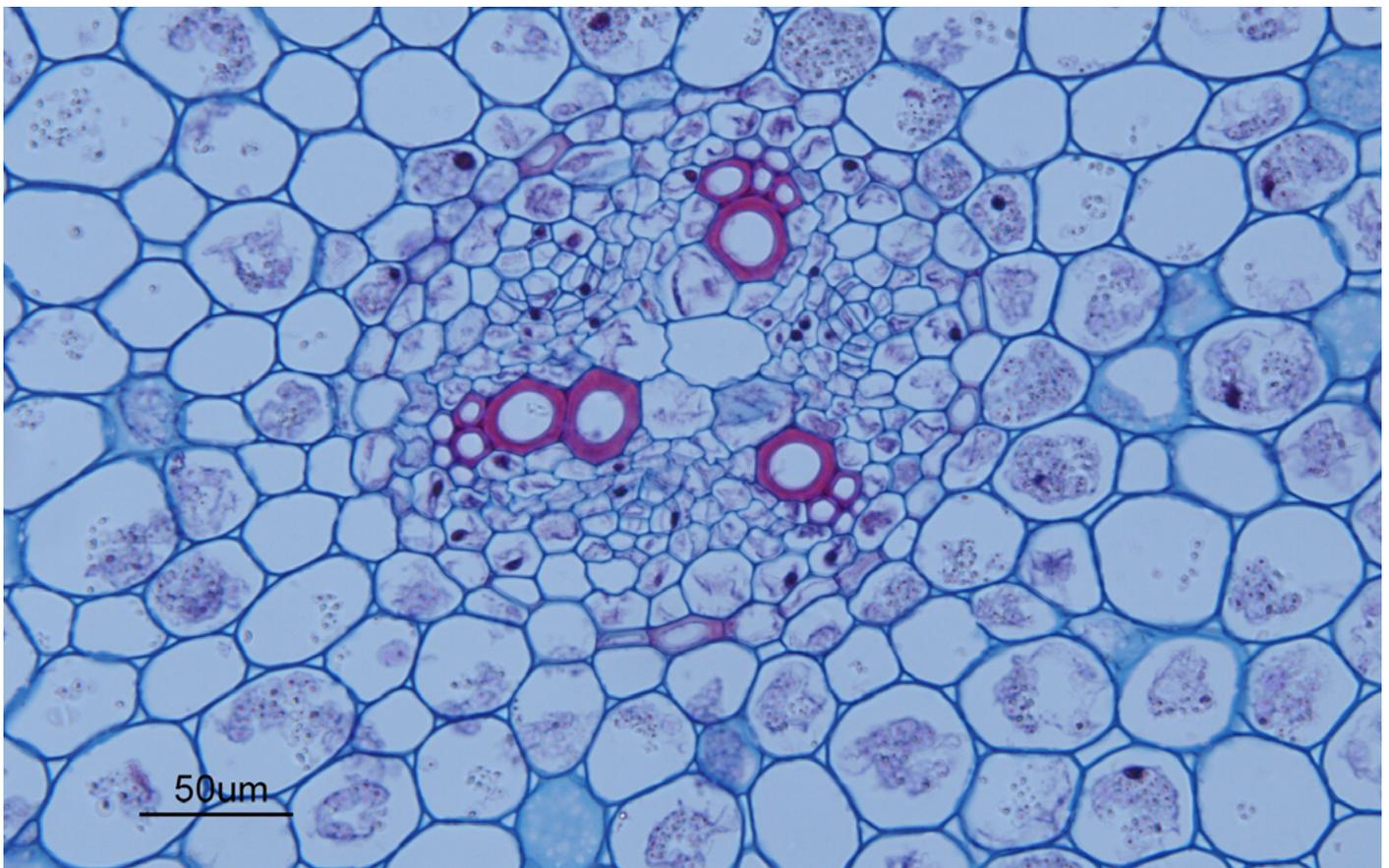
As imagens que se seguem são apenas alguns exemplos do que é possível encontrar no banco de imagens da Casa das Ciências. Dê uma espreitadela em [imagem.casadasciencias.org](http://imagem.casadasciencias.org). Há sempre imagens novas a serem publicadas e, já agora, aproveite para submeter também as suas!



Mata-moscas - *Amanita muscaria* (Foto de Paulo Talhadas dos Santos)



Minhoca (*Lumbricidae*) (Foto de Paulo Talhadas dos Santos)



Estrutura primária de raiz de dicotiledónia (xilema triarco) - (Foto de José Pissarra)

# Banco de imagens



Cratera do Fogo na Ilha do Fogo - C



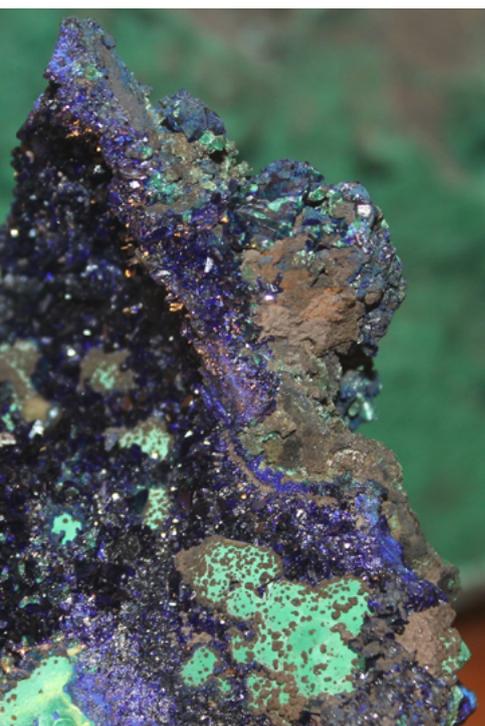
Discordância do Telheiro (Foto de Paulo Fonseca)



Azurite (Foto de)



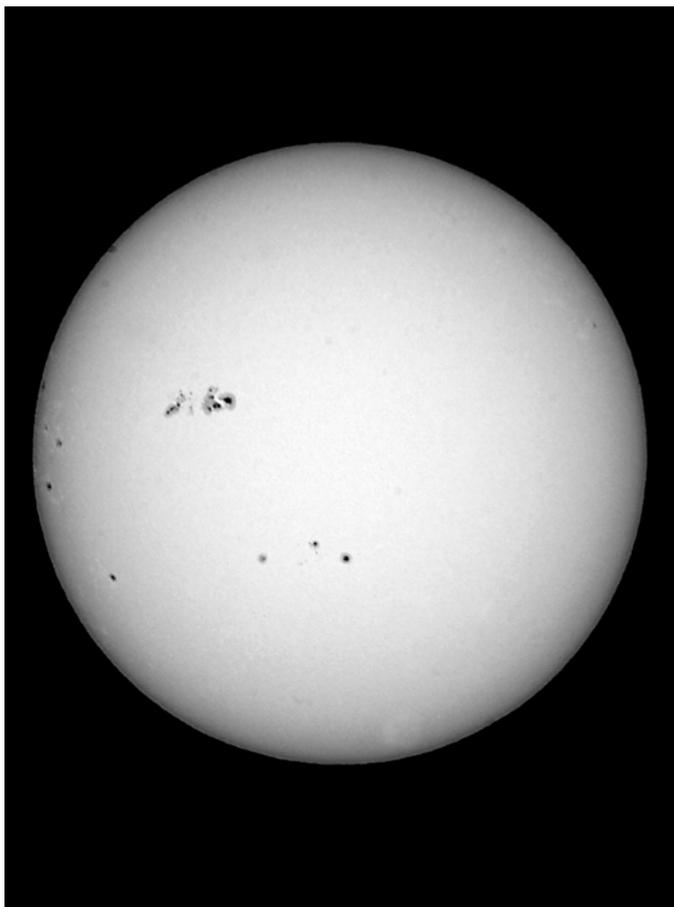
abo Verde (Foto de Nuno Machado)



e Miguel Sousa)



Exploração de gesso em Óbidos (Foto de Luís Duarte)



Manchas Solares (Foto de Álvaro Folhas)



Separação magnética (Foto de Carlos Corrêa)



Papel indicador de pH (Foto de Daniel Ribeiro)



Esta revista surgiu a pensar em si e por isso é muito importante para nós conhecer as suas opiniões. Envie-nos os seus comentários e sugestões para o endereço [rce@casadasciencias.org](mailto:rce@casadasciencias.org).

Nesta primeira revista não há mensagens dos leitores. Nem poderia haver pois só agora é que ela vai começar a ser lida. Mas é muito importante para nós que nos vão dando conta da forma como este novo espaço da Casa das Ciências está a ser encarado por vós e que nos digam como pode ser melhorado.

O que pode colocar aqui?

Tudo aquilo que entender que nos deva dizer e que seja público.

A sua opinião, os seus desejos sobre o papel ou conteúdo da revista, um comentário sobre um artigo, ou sobre o Editorial ou artigos de opinião. Enfim, tudo o que habitualmente se escreve nestas rubricas numa publicação periódica.

Naturalmente que a Produção, bem como a Coordenação Editorial se reservam o direito de publicar ou não tudo o que nos for remetido.

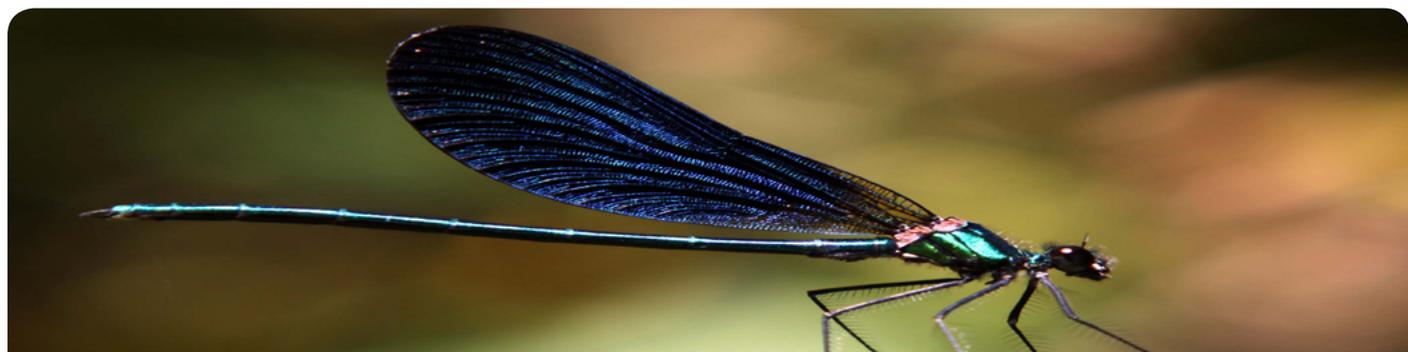
Apesar disso e das elementares regras de bom senso que se indicam ao lado, contamos com a vossa participação ativa e dar-lhe-emos toda a atenção.

Desde logo aqui ficam então algumas “regras” fundamentais para a participação nesta sua página.

- *O que quer dizer, diga de forma clara e autenticada. Ou seja, não publicaremos textos que sejam anónimos.*
- *É obrigatório endereço de resposta.*
- *Não será considerada correspondência que ultrapasse as 30 linhas de texto impresso.*
- *Não será considerada correspondência que tenha fins publicitários ou não enquadrada no âmbito da revista.*
- *Não será aceite qualquer correspondência com conteúdo que a produção considere impróprio ou irrelevante.*
- *A RCE reserva-se o direito de resumir ou sintetizar os textos enviados.*
- *Não existe nenhuma obrigatoriedade de publicação, reservando-se a Coordenação Editorial o direito à seleção do que se publica.*

Este espaço está reservado para si!

Envie-nos os seus comentários e sugestões para  
[rce@casadasciencias.org](mailto:rce@casadasciencias.org)





# Casa das Ciências

Portal Gulbenkian para professores