

Marinho Lopes

**PARA ALÉM
DOS OMBROS
DE GIGANTES**

EDIÇÕES **(v.g.)**
VERBI GRATIA

FICHA TÉCNICA

Título: Para além dos ombros de gigantes

Autor: Marinho Lopes

Coordenação editorial: Pedro Cipriano

Revisão: Pedro Cipriano e Ana Filipa Piedade

Composição: Dália Rodrigues e Constança Gonçalves

ISBN: 978-989-9112-25-4

©2022 Edições Verbi Gratia

©2022 Marinho Lopes

Todos os direitos reservados de acordo com a legislação em vigor.

Edições Verbi Gratia

Nirvana Studios, Estúdio K

Estrada Militar de Valejas, nº66

2730-226 Barcarena, Oeiras

Portugal

Esta obra segue o Acordo Ortográfico de 1945

**PARA ALÉM
DOS OMBROS
DE GIGANTES**

PREFÁCIO

É do físico inglês Isaac Newton a conhecida expressão “Se consegui ver mais longe foi porque estava aos ombros de gigantes”. Hoje em dia, a frase é interpretada como significando que a ciência é cumulativa: Newton baseou-se nos trabalhos das gerações anteriores, como os de Copérnico, de Galileu e de Kepler, do mesmo modo que Einstein se baseou nos trabalhos de Newton. Este processo de construção da ciência explica o seu contínuo crescimento. Trata-se de uma das mais formidáveis obras humanas, que consiste em conciliar a tradição — o que já se conhece bem — com a inovação — o que se descobre. O que se descobre tem de respeitar aquilo que conhece bem.

O jovem físico português Marinho Lopes não só sabe bem o que é o processo científico como sente o ímpeto de o transmitir aos outros, num esforço de alargamento da cultura científica. Para isso usa um blogue que alimenta desde 2007, *Sophia of Nature*, a Sabedoria da Natureza, com o subtítulo *Conhecimento é poder* (aforismo da autoria do jurista e filósofo inglês Francis Bacon, contemporâneo da Revolução Científica e um dos primeiros teorizadores da ciência) que está na Internet à disposição de todos. O blogue que cobre numerosos tópicos de Física, de Matemática e da especialidade científica do autor, que é a aplicação da Física e da Matemática às Neurociências, contém

textos bem escritos que ajudam quem se queira iniciar nesses assuntos ou complementar alguma formação de base que já possua. Este livro é uma compilação de textos desse blogue, estando os temas aqui ordenados por capítulos, começando com um capítulo introdutório, intitulado *Criar ciência*, que explica o que é a ciência. A explicação dada por Newton e que hoje continua válida sobre o movimento da Lua em torno da Terra — a força de gravitação universal — é o tema do capítulo seguinte, seguindo-se uma explicação das marés — afinal a mesma força. Mesmo que o leitor já esteja familiarizado com a Física, aprende sempre qualquer coisa como, por exemplo, o facto de a Lua se estar a afastar da Terra a uma distância de 4 centímetros por ano. Não só a Lua não cai sobre nós, como está, embora lentamente, a fugir de nós. Seguem-se outros dois capítulos de astronomia: um, um pouco mais quantitativo (não muito, como bom divulgador, o autor evita a matemática) sobre medições astronómicas e o outro sobre movimentos celestes. Mais uma vez o leitor, porventura mais sábio, pode aprender, por exemplo, que o Natal pode muito bem vir a ser no Verão, no hemisfério Norte, devido ao movimento do eixo de rotação da Terra. Segue-se uma apresentação das leis de conservação, que são importantíssimas em Física e uma breve digressão sobre o pêndulo de Foucault, uma maneira engenhosa de medir, na Terra, o movimento de rotação do planeta em torno do seu eixo. Um pequeno capítulo sobre o fogo precede uma discussão maior sobre as quatro forças fundamentais da Natureza, que permitem as relações no “mundo das partículas”. O carácter dual da luz e da matéria, que está no cerne da teoria quântica, precede um capítulo sobre esta teoria. Por último, uns capítulos mais desligados sobre a supercondutividade, os males das radiações, os sentidos que nos permitem perceber o mundo e o movimento browniano, isto é, o misterioso movimento de um pólen em suspensão na água que levou no século XIX ao aumento de confiança na hipótese atómica.

O autor, doutorado na Universidade de Aveiro e a trabalhar como investigador na Universidade de Exeter, no Reino Unido, sabe do que

fala, pelo que o livro está cientificamente correcto. Faz um esforço de divulgação com o objectivo de tornar inteligível conceitos e teorias que podem não ser de compreensão fácil para quem lhes seja estranho. Por exemplo, logo no início faz uma analogia divertida entre fazer ciência e cozinhar arroz.

Eis pois uma obra de leitura fácil que não posso deixar de recomendar a quem tenha curiosidade por assuntos de Física. Merece felicitações o autor por trazer agora para a forma de livro, dando-lhe uma forma talvez mais perene, os seus continuados esforços de divulgação ao longo dos anos da sua curta mas já bem sucedida carreira. A ciência não pode existir se a sociedade não tiver a percepção do que ela é. E, como bem mostra este livro, a ciência, mais do que um corpo de conhecimentos, é um método de descobrir o mundo.

Coimbra, 31 de Dezembro de 2017

Carlos Fiolhais
Professor de Física da Universidade de Coimbra

NOTA INTRODUTÓRIA

Este livro consiste num conjunto de artigos de divulgação de Física dirigidos ao público em geral. Os artigos foram adaptados do meu blogue, *Sophia of Nature*¹, o qual tem como objectivo promover o interesse de todos pela ciência, com um foco especial na Física, na Matemática e nas Neurociências. Assim, proponho-lhe a si, leitor, a usá-lo para me colocar as potenciais questões que lhe possam surgir no decorrer da leitura deste livro.

Recordo aqui algumas palavras que escrevi na página de apresentação do *Sophia of Nature*:

Não saber não é mau, mau é não querer saber. O conhecimento constrói-se com perguntas. Só depois de constarmos um mistério é que poderemos procurar compreendê-lo. Reparem que a questão, além de preceder a resposta, é mais fundamental que esta: uma interrogação não é verdadeira nem falsa. Os enigmas sobrevivem ao tempo, enquanto as soluções aparentes transfiguram-se com o progresso da Ciência. Aliás, diria mais, a evolução da Ciência depende em primeiro lugar da sábia definição de boas questões, pois só estas podem conduzir a boas respostas.

1 <http://sophiaofnature.wordpress.com>

Estas palavras servem para o encorajar a não desistir de querer e de tentar saber mais sobre o mundo que o rodeia. Nascemos todos ignorantes e, ao longo da vida, vamo-nos informando em diferentes temáticas, em particular naquelas que cruzam o nosso caminho.

Aprender algo novo decorre assim de um esforço em tentar percorrer novos caminhos. Para nossa felicidade, vivemos na era da informação, onde ter acesso a novo conhecimento é uma mera questão de vontade pessoal.

Como consequência das diferentes vivências, surge um obstáculo inevitável: cada pessoa terá uma percepção diferente daquilo que lê. Como pode alguém apresentar as belezas do conhecimento humano para uma audiência tão diversa de modo a satisfazer a curiosidade e o entendimento de todos? Não pode. Peço, por isso, desde já a sua indulgência e compreensão para as ocasiões em que encontrar detalhes demasiado simples, outros demasiado complexos, por vezes em excesso, ou, pior que isso, em falta. O grau de dificuldade não é constante, numa tentativa de chegar a um público mais abrangente. Para concluir, refiro ainda que os artigos reunidos neste livro são quase independentes entre si, pelo que pode lê-los numa ordem diferente da exposta, ou seleccionar apenas aqueles que mais lhe interessar.

Janeiro de 2018

Marinho Lopes

I. CRIAR CIÊNCIA

O que faz um cientista? A imagem frequente é a de um indivíduo de bata branca, num laboratório, a misturar diferentes substâncias com o intuito de descobrir um novo composto cujas propriedades possam ter interesse numa dada aplicação. Esta ideia está mais ligada à Química, que é apenas uma das áreas de estudo da Ciência. Esta imagem pode conduzir à suposição de que a Ciência é criada através de um processo de tentativa e erro. De facto, este é um processo válido, mas não único. Comece-se por constatar que é um método incompleto, porque não fornece uma explicação lógica para o resultado obtido. Na tentativa e erro existe, por norma, um conjunto de premissas ou elementos que são combinados de forma aleatória com o intuito de chegar a um resultado desejado. Por exemplo, se não soubermos como cozinhar arroz, os elementos a determinar são: a proporção óptima de água a usar para uma dada quantidade de arroz; pressão, isto é, colocar ou não o testo na panela; tipo de fonte de calor; tempo de cozedura; quantidade de sal; etc. Assim, mesmo que depois de muitas tentativas cheguemos a uma receita cujo resultado é satisfatório, ficámos sem saber porque é que essa receita é melhor que uma outra que use, por exemplo, metade da quantidade de água. Em culinária, o processo até pode ser muitas vezes semelhante a este, mas há alguns detalhes

que são diferentes: o processo não é aleatório, pois o cozinheiro terá uma intuição que o ajudará a encontrar a solução desejada com maior rapidez. A intuição é consequência do conhecimento prévio que o cozinheiro tem sobre os ingredientes que pretende usar. Por outro lado, como também é evidente, um resultado negativo não nos diz apenas que aquela combinação está errada: poderá eliminar muitas outras. Se o arroz ficar demasiado seco, isso significa que precisa de mais água, logo uma só experiência permite determinar um limite mínimo para a água¹. Com sucessivas experiências, vão-se limitando os intervalos de valores das variáveis. Algo similar acontece no processo científico e é a forma de trabalhar de muitos dos investigadores na área de materiais, cujo objectivo é muitas vezes encontrar a *receita* ideal para criar um dado material para uma certa aplicação.

Porém, em muitos casos, há um tal número de variáveis que esta abordagem é inviável. Além disso, como referi em cima, este método não permite ao investigador compreender o porquê de a receita encontrada ser melhor que outras antes testadas. Daqui surge a necessidade de uma metodologia mais fundamental. Pegando no exemplo do arroz, poder-se-á estudar o que de facto acontece quando este está em contacto com a água a diferentes temperaturas. Neste caso, não só se obtêm os dados, como também se tenta explicá-los, criando para o efeito uma lei que descreva como o arroz se comporta em determinadas condições. Esta é uma abordagem fenomenológica. Ainda não responde ao porquê, mas tem maior potencial de gerar novo conhecimento em comparação com a tentativa e erro, pois conduz à criação de novas hipóteses. Se se observar, por exemplo, que o arroz expande através da absorção da água a uma taxa constante no primeiro minuto, poderá supor-se que o mesmo ocorrerá no segundo minuto e seguintes. Como pode imaginar, a suposição pode ser falsa, mas do seu teste chega-se a novo conhecimento. A lei fenomenológica encontrada poderá ser apenas válida durante alguns minutos, mas isso pode ser o suficiente para se determinar quanto tempo leva o arroz a

cozer, e qual a quantidade de água a usar. Este tipo de abordagem é muito útil em Ciência, pois permite-nos sistematizar conhecimento na forma de leis simples. Estas podem ser expressas através de equações matemáticas, onde são introduzidas constantes multiplicativas para que as unidades e valores combinem de forma correcta².

De qualquer forma, continuam a faltar os porquês. O porquê é-nos dado em última instância pela teoria. Digo em *última instância* porque, à primeira vista, um dado processo pode parecer ser explicado por um facto experimental, no entanto, se transpusermos o porquê para esse novo facto experimental, a resposta irá acabar por ser determinada pela nossa compreensão teórica inerente ao facto mais fundamental. Por outro lado, se continuarmos a perguntar *porquê* à teoria, esta acabará por se reduzir às suas definições e dogmas, que assentam na observação. Note-se que a teoria científica actual foca-se no *como* e não no *porquê* fundamental, que para já faz parte do domínio da Filosofia.

Deixemos o arroz na cozinha e passemos a analisar o exemplo mais paradigmático na História da Ciência que culminou na Lei da Gravitação Universal de Newton. Primeiro, Tycho Brahe registou de forma intensiva o movimento dos astros, isto é, observou e registou um fenómeno. De seguida, Kepler encontrou padrões subjacentes nesses dados que resultaram nas três leis de Kepler³. Por fim, Newton propôs a sua teoria da gravitação, que era capaz em simultâneo de explicar porque é que a alegada maçã lhe caiu na cabeça, porque é que a Lua não caía, as leis de Kepler, e muito mais. Usando a teoria de Newton, o Homem foi à Lua. Não foi por tentativa e erro: não se lançaram 20 missões Apollo tripuladas em direcção à Lua com a esperança que uma lá chegasse — a primeira que foi enviada chegou lá! Espero que isto deixe bem claro o poder da teoria: permite prever aquilo que nunca foi feito. Faço a ressalva de que os desastres que ocorreram na exploração espacial nunca tiveram a ver com problemas teóricos, mas antes com detalhes de engenharia, como foi o caso da queda do

2 O valor das constantes tem de ser determinado através de experiências de calibração.

3 O encontrar de coerência e de regras na natureza é fundamental na Ciência. Daqui surgem as leis fenomenológicas, como as leis de Kepler, que explicitam o padrão observado.

vaivém espacial Challenger. Richard Feynman explicou porque é que ele caiu, mostrando a experiência simples de que materiais elásticos perdem as propriedades elásticas com o frio.

Richard Feynman (1918 – 1988). Recebeu o Prémio Nobel da Física em 1965 pelas suas contribuições em electrodinâmica quântica. Foi o pioneiro que avançou com a ideia da computação quântica, bem como da nanotecnologia em geral. É também conhecido como tendo sido um professor de excelência, pelas suas brilhantes aulas e livros. Recomendo a leitura do seu livro semi-autobiográfico *Está a brincar, Sr. Feynman!*, onde poderão ficar a conhecer o rapaz que arranjava rádios pensando!

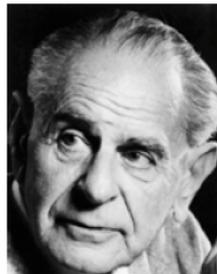


Foi o que aconteceu a um simples *o-ring* do vaivém e que culminou no desastre.

É claro que, na História da Ciência, nem todas as teorias foram tão bem sucedidas quanto esta. Karl Popper defendeu que nenhuma teoria pode ser atestada verdadeira, pois é impossível demonstrar que não existe uma experiência que possa mostrar que a teoria falha em determinadas condições. Note-se que basta um contra-exemplo para que uma teoria *tenha* que ser considerada falsa. Assim, o núcleo da Ciência, e em particular da Física, assenta em teorias cujas verificações experimentais sempre as demonstraram como correctas. Ou quase. Talvez não devamos ser demasiado peremptórios, pois são aceites e usadas teorias que na sua génese estão incompletas e que admitem não explicar *tudo*. Estando o nosso conhecimento incompleto, torna-se admissível o uso de teorias incompletas. Este é aliás um dos argumentos fundamentais de Thomas Kuhn contra a filosofia de Popper. Acrescente-se ainda que Popper considerava que, para uma teoria poder ser considerada científica, esta tinha que ser passível de

ser verificada falsa (a chamada falseabilidade). Este é um elemento importante na Ciência: ela é assente na verificação experimental. Se uma teoria não permitir ser testada, é natural que não possa ser considerada científica⁴.

Karl Popper (1902 – 1994). É considerado um dos maiores filósofos de Ciência do século XX. Eis algumas frases de Popper que ilustram a sua filosofia: *“No rational argument will have a rational effect on a man who does not want to adopt a rational attitude”*⁵; *“Science may be described as the art of systematic over-simplification”*⁶.



Voltando à questão inicial sobre o que fazem os cientistas: muitos estudam os *limites* da teoria existente, bem como procuram novas consequências dessa mesma teoria. Este trabalho é tanto experimental como teórico. O experimentalista, isto é, aquele que faz o trabalho *prático*, pensa em novos meios de colocar a teoria à prova, em novas condições. Em paralelo, o teórico estuda novas soluções matemáticas dessa teoria. O facto de se ter uma equação sobre um dado fenómeno físico não implica que se compreenda toda a teoria inerente. Aliás, muitas equações não são para já possíveis de analisar na sua íntegra, restringindo os teóricos a analisá-las apenas em determinadas condições. A anedota de que, quando um físico (ou matemático) procura calcular o volume de uma vaca, a assume como sendo uma esfera, é paradigmático disto mesmo. Muitas vezes é necessário estipular aproximações para se conseguir chegar a um resultado. De qualquer modo, o cientista não esqueceu a aproximação efectuada, pelo que poderá tentar, numa segunda abordagem, uma consideração mais próxima da realidade.

4 Esta é uma das críticas apontadas à Teoria das Cordas, pois não é para já possível testá-la.

Hoje em dia, com a ajuda dos computadores, os cientistas têm a oportunidade de começar a análise de um dado problema de forma bastante realista, pois o poder de cálculo dos computadores permite-lhes considerar muitas variáveis em simultâneo, bem como resolver equações muito complexas. Esta é porém uma abordagem que acaba por se assemelhar à da tentativa e erro, uma vez que o investigador acaba por não desenvolver uma sensibilidade em relação ao que está de facto a estudar. Em contraste, um tratamento simplificado do problema permite a introdução de novos elementos de modo faseado e controlado, conseguindo-se perceber em cada etapa qual o papel de cada elemento. Há um caso paradigmático disto: o governo do Reino Unido financiou uma investigação para determinar se o *beef on the bone* deveria ser ou não banido do mercado devido à epidemia das vacas loucas. O bife foi banido, porém o estudo padeceu de graves problemas lógicos na sua génese, não tendo sido analisados de forma cuidada os parâmetros em causa. Um outro exemplo ocorreu no estudo da *propagação* do vírus da imunodeficiência humana (VIH), onde um modelo que parecia realista e (mas) cheio de parâmetros deu um resultado muito menos fiável que um modelo muito mais elementar. Este modelo poderia parecer demasiado simplista, no entanto tinha a grande vantagem de possuir parâmetros cujo significado era claro. Apesar de aqui só referir dois⁵, há muitos outros exemplos.

Em termos históricos, é natural encarar o progresso da Ciência como o resultado do emergir de novos modelos e teorias. Quando a teoria vigente falha na explicação de algo, surge a necessidade de encontrar uma nova. Esta nova teoria não só tem que explicar um novo fenómeno até aí inexplicável, como terá em simultâneo que incorporar todos os sucessos da teoria antiga. Um exemplo disto é a Teoria da Relatividade Geral de Einstein, através da qual se podem deduzir os resultados da teoria de Newton. Por este motivo, de acordo com Popper, a Ciência é sempre incremental. Porém, mesmo aceitando que a nova teoria tem

5

Estes dois exemplos são discutidos no seguinte artigo: May, Robert M. "Uses and abuses of mathematics in biology", *Science* 303.5659 (2004): 790-793.

que explicar os triunfos da antiga, pode-se também conceber que o progresso da Ciência se faça através de revoluções científicas. De facto, segundo Thomas Kuhn, a nova teoria tem que muitas vezes redefinir conceitos de base o que, ao invés de se tratar de um mero incremento à teoria antiga, trata-se antes de uma transformação de paradigma. Por exemplo, Kuhn considera que o contributo supracitado de Einstein foi uma revolução científica, pois embora os resultados clássicos possam ser, de certo modo, obtidos a partir da Relatividade, a verdade é que os conceitos foram na sua génese alterados⁶. Não se trata, por isso, de um contributo incremental, mas antes disruptivo, segundo Kuhn.

Thomas Kuhn (1922 – 1996). Físico, historiador e filósofo de Ciência. É conhecido pelo seu livro *A Estrutura das Revoluções Científicas*, que foi muito influente quer no mundo académico, quer no mundo social, ainda que muitas vezes mal interpretado em ambos.



Alguns de vós já se poderão ter deparado com um talvez surpreendente cepticismo por parte de cientistas quando estes são defrontados com ideias novas. Pode parecer paradoxal que uma pessoa cujo trabalho é inventar novas ideias tenha uma certa resistência a elas. Se pensarem bem, não é paradoxal, é apenas uma consequência lógica: o cientista precisa de espírito crítico para ser capaz de crivar e seleccionar as ideias novas que possam ter potencial daquelas que não fazem sentido. Por outro lado, é também ele que tem um maior domínio do conhecimento actual, pelo que consegue compreender melhor porque é que algo funciona e porque é que certas propostas não têm cabimento. Se assim é, o leitor poderá pensar que o cientista também deveria ser capaz de explicar melhor as suas posições, devendo ter a capacidade de convencer o público, ao invés de dar

a ideia de que é fechado a sugestões. Creio que o problema está na comunicação, pois o *dicionário* do cientista é diferente, e é-lhe muitas vezes difícil traduzir... O que falta é talvez um jornalismo científico de qualidade que consiga fazer a ponte entre os dois mundos.

Esta barreira é, em particular, encontrada por aqueles entusiastas que, apesar de não terem conhecimentos técnicos, têm a mesma curiosidade que os cientistas em relação às leis que governam a natureza. Alguns até tentam definir e propor as suas próprias *teorias*. Como é natural, ficam muito desapontados quando expõem as suas ideias à crítica especializada na matéria. Sentem-se forçados a concluir que os cientistas têm mentes fechadas. A minha mensagem para todos eles é que a Ciência é de facto fechada: não é possível desenvolverem uma teoria científica se desprezarem todo o conhecimento científico até agora acumulado. Fazer Ciência sem a conhecer é impossível. Imaginemos que um sujeito do século XIX propunha a um físico que o tempo deveria ser relativo. O físico dir-lhe-ia que a ideia não fazia sentido e que se dedicasse à pesca. Não obstante, agora sabemos que Einstein mostrou que a ideia estava correcta. A diferença crucial é que Einstein alicerçou a noção de tempo relativo numa teoria bem formulada, onde a mecânica clássica não era refutada dentro dos limites onde já tinha sido verificada. Assim, o amador (de Física) tem que compreender que propor uma nova ideia não serve de nada se a mesma não for suportada por uma teoria matemática que confirme o que já é sabido pela experiência. Para isto, é necessário saber bastante Matemática, bem como, claro, ter a noção daquilo que a Ciência já *sabe*. Além disso, convém que a nova teoria responda a uma questão que até aí não tinha resposta.

Uma outra concepção errada com que já me deparei várias vezes é a de que *em teoria tudo é possível*, como se *teorias e imaginação* fossem o mesmo. Não são. Quando se fala numa previsão teórica ainda não verificada pela experiência, está-se quase sempre a discutir uma previsão que advém de uma teoria que já foi confirmada com muitas e diferentes experiências. Como disse em cima, uma só equação pode

ter muitas soluções. Em particular, algumas poderão ser de difícil verificação experimental: estas serão previsões da teoria até que as experiências sejam efectuadas. Portanto, não se está a imaginar, estão-se antes a usar factos para prever novo conhecimento. E não, nem *tudo é possível*, pois, se por um lado uma teoria prevê dados comportamentos e fenómenos, em simultâneo também rejeita outros. Caso um fenómeno impossível na teoria seja observado, então a teoria terá que ser rejeitada e já não será usada para prever novos fenómenos, pelo menos nesse domínio.

A natureza concedeu ao Homem o dom de reconhecer padrões, e esta foi e tem sido uma característica de extrema importância para a nossa sobrevivência. Este dom, porém, às vezes engana-nos e conduz-nos a conclusões precipitadas. O emergir da Ciência terá resultado da necessidade de filtrar as nossas observações e conclusões. Trata-se de uma metodologia que nos permite constatar a existência ou não desses padrões. Ainda hoje em dia, mesmo com o domínio científico sobre a nossa cultura, constata-se em conversas informais que muitos de nós têm o *vício* de inventar generalizações que na verdade não existem. Essas generalizações advêm de uma experiência parcial, pessoal, incompleta e muitas vezes filtrada dos próprios contra-exemplos, que são postos de parte por conveniência. Quantas terão sido as vezes em que começou a tentar encontrar exemplos ou contra-exemplos apenas para favorecer ou contrariar uma ideia pré-concebida sem que tenha tido o cuidado de tentar encontrar tanto os exemplos como os contraexemplos? Repare-se que, para sermos imparciais, teríamos que primeiro fazer um levantamento de todos os acontecimentos, e só depois de analisá-los a todos é que poderíamos tirar uma conclusão. Pelo contrário, o método que usamos no quotidiano é o oposto: partimos da conclusão e tentamos depois encontrar os exemplos que a suportam. Por vezes, até referimos algumas excepções, para de seguida recorrermos a algum sofisma que nos permita afirmar que esses casos não colocam a conclusão em causa. Dever-se-ia ter mais cuidado quando este tipo de raciocínio é aplicado a questões de saúde

e o mesmo é depois reproduzido por outros, por vezes com sequelas desastrosas. Pior ainda é quando se reveste este pseudo-conhecimento sob o nome da Ciência, citando estudos inexistentes ou fontes falsas, muitos comuns na *web*.

No extremo negativo surge a própria Ciência que, por vezes, padece deste problema. Os mais cépticos de certo que já se depararam com notícias sobre estudos onde foram obtidas conclusões muito questionáveis. Por vezes é a notícia que está mal escrita, outras vezes é mesmo o estudo que não faz sentido. É, portanto, preciso cuidado, pois nem tudo o que os cientistas alegam ser, de facto é. A Ciência não se constrói só de resultados correctos, nem de resultados positivos: os incorrectos e negativos acabam também por nos informar. Muitos destes estudos a que me refiro estudam correlações entre eventos que diríamos desconexos com base no senso comum. Note-se que embora a correlação possa existir, isso não implica causalidade. Por outro lado, a correlação pode estar restrita a determinadas condições não indicadas no estudo ou na notícia. Além disso, a interpretação do leitor pode também não ser a mais correcta. Um erro comum é pensar que uma implicação funciona nos dois sentidos, quando pode não funcionar: se A implica B, isso não significa que B implique A. Outro problema que se encontra em muitos estudos é o da reprodutibilidade. Segundo Popper, uma experiência só pode ser considerada científica se puder ser reproduzida tantas vezes quantas se desejar, por indivíduos diferentes, em laboratórios distintos; porém, muitos estudos parecem não obedecer a este princípio. A sua credibilidade é, por isso, muito questionável⁷.

Ernest Rutherford (1871 – 1937). Venceu o Prémio Nobel da Química em 1908 pelas suas contribuições na desintegração de elementos e estudos de radioactividade. Poderá parecer irónico que tenha ganho este prémio no domínio da Química, tendo em conta a citação referida abaixo, mas o tema encontra-se na interface da Química com a Física; aliás, Rutherford é considerado o pai da Física Nuclear.



Concluo com uma citação de Ernest Rutherford: *All science is either physics or stamp collecting*⁸. Esta afirmação controversa pretende explicitar a necessidade de usar a Matemática para fazer Ciência, pois só desse modo é que é possível sistematizar o conhecimento de forma coerente, lógica e concisa. Nos tempos de Rutherford, a Matemática quase só era usada na Física, pelo que as outras Ciências acabavam por se assemelhar a um conjunto de conceitos e ideias um pouco desconexos, ou seja, uma colecção de selos. Ao longo do século XX, a Matemática foi entrando noutras Ciências, muitas das vezes pela mão de físicos ou matemáticos que começaram a aplicar a sua bagagem teórica à Química, Biologia, e não só. É claro que hoje em dia a Matemática já faz parte até das Ciências não-exactas, sendo neste caso a estatística a ferramenta de eleição.

II. PORQUE É QUE A LUA NÃO CAI?

A resposta à questão foi dada por Isaac Newton. Aliás, ele foi mais longe. Não só explicou o porquê da Lua não cair na Terra, como também conseguiu explicar o porquê dos planetas orbitarem o Sol, a origem das leis de Kepler, que caracterizam as órbitas dos planetas e, em simultâneo, com a mesma teoria, explicitou de que modo é que um corpo caía na Terra, incluindo a maçã que, segundo a lenda, lhe caiu na cabeça! Curioso que a mesma teoria consiga explicar quer a queda das maçãs quer a não queda da Lua! Refiro-me à Lei da Gravitação Universal¹, formulada por Newton.

Um ano antes de Newton nascer, morreu Galileu Galilei (1564–1642), que descobriu que toda e qualquer trajectória de um objecto lançado ao ar descreve uma parábola², como podemos observar na figura 2.1. Para quem sabe um pouco de Matemática, não será novidade que uma curva parabólica é descrita por uma função quadrática. Note que se atirar um objecto em frente, de uma dada altura, o que espera observar será uma trajectória como aquela representada, começando a partir do ponto mais alto³.

1 Também conhecida por Lei da Atracção Universal.

2 Excepto se lançarmos a pedra para cima. Neste caso a trajectória é rectilínea segundo a direcção vertical.

3 Isto é, corresponderá a metade da curva, sendo o ponto de lançamento em $(x,y)=(3,5)$.

Isaac Newton (1643 – 1727). É reconhecido como um dos físicos e matemáticos mais influentes da História pelos seus contributos revolucionários. É o fundador da mecânica clássica, que assenta em três leis baptizadas com o seu nome, mais a Lei da Gravitação Universal. Além disso, por necessidade e para estabelecer as leis do movimento, inventou uma nova área da Matemática, o cálculo diferencial e integral (de forma independente e quase na mesma altura, o matemático alemão Gottfried Leibniz também o formulou). Newton é ainda conhecido por várias contribuições no campo da óptica.

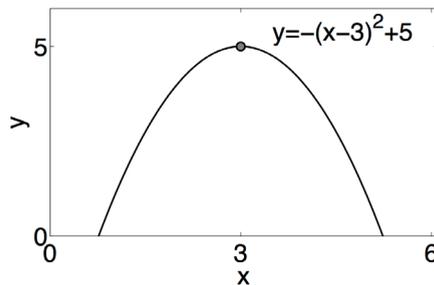
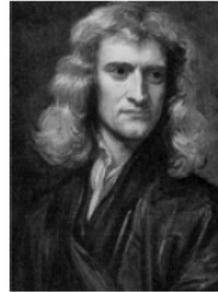


Figura 2.1: Este gráfico representa uma parábola, cuja expressão matemática é dada por $y = -(x-3)^2 + 5$.

Tendo isto em consideração, avancemos para um dos pensamentos brilhantes de Newton: o famoso Canhão de Newton (ver figura 2.2). Imagine que se constrói uma torre muito alta e, no topo desta, coloca-se um canhão. Se a torre for alta o suficiente para estar fora da atmosfera terrestre, os projecteis disparados não sofrem a resistência do ar. Assumindo que o canhão teria uma *potência* ajustável, à medida que se aumentava a força aplicada aos projecteis, a trajectória destes poder-se-ia desenhar em relação ao planeta Terra como um todo, isto é, num referencial aproximadamente esférico, como na figura

2.2. Assim, para uma determinada força de lançamento, o projectil poderá sobrevoar toda a Terra e voltar ao ponto de origem, ou seja, de onde foi disparado! Há um aspecto muito importante a notar: como estamos acima da atmosfera, a resistência ao movimento pode ser considerada nula, logo podemos aplicar a lei da conservação da energia, o que significa que o projectil chegará ao ponto de partida com a mesma energia com que foi disparado. De facto, sem resistência e mantendo-se a distância em relação à Terra inalterável, a energia conserva-se e, como tal, o objecto chega ao ponto de lançamento com a mesma velocidade com que foi lançado. Isto implica que o movimento irá repetir-se e irá continuar para *sempre*.

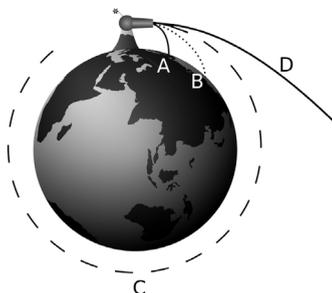


Figura 2.2: Canhão de Newton. Este canhão imaginário dispara projecteis acima da atmosfera terrestre. Para forças de disparo reduzidas, o projectil cai em posições próximas (A e B). Para uma força de disparo superior, o projectil poderá dar uma volta em torno da Terra (C) e, como não terá perdido energia, continuará em órbita. Acima de um dado limite, o projectil escapa-se para o espaço (D).

Apesar de este projectil não cair na Terra, isso não significa que não sinta a força gravítica desta. É esta força que lhe permite orbitar o planeta. Acontece é que a força e a velocidade do objecto são tais que o movimento deste nunca se dirige em direcção à Terra.

É este o princípio pelo qual se colocam satélites a orbitar a Terra. Claro que nesse caso a analogia sofre uma pequena variação: o canhão em vez de estar em cima de uma torre, está à superfície da Terra e a

apontar para cima⁴. Aqui o *canhão* terá de ser mais potente que aquele discutido em cima de modo a obter o mesmo resultado, visto que a força gravítica é maior *cá em baixo* e, além disso, tem de ser vencida a resistência do ar no lançamento. A Lua, como sabe, é ela mesma um satélite (natural), que está em órbita da Terra e onde permanecerá devido a este mesmo princípio. A diferença é que, no caso da Lua, ela não foi lançada. Está lá devido à forma como se formou, mas deixemos esses detalhes para uma outra ocasião. Na verdade, a Lua não só não irá cair no nosso planeta, como está a afastar-se devido ao efeito de maré! No entanto, não se preocupe com a hipótese de ficar sem luar, pois está-se a afastar a uma taxa de apenas quatro centímetros por ano.

4 Recomendo a procurar no YouTube por “Discovery launch”. Irá aparecer-lhe vários vídeos do lançamento do vaivém espacial Discovery.

III. EFEITO MARÉ

Se já estive mais de seis horas numa praia, atento ao deslocamento do mar, deverá ter presenciado o efeito de maré. O fenómeno é caracterizado por um *avançar* e *recuar* do mar, sendo denominada por *maré baixa* a fase em que o mar está mais recuado, em que praia tem um maior areal, e por *maré alta* quando o mar cobre uma maior área da praia. Neste capítulo vou explicar este efeito, bem como relacioná-lo com um facto bem conhecido de todos, mas que poucos sabem estar associado ao efeito de maré: a Lua apresenta-nos sempre a mesma face.

O responsável pelo efeito de maré é o satélite natural da Terra, a Lua. Este facto é cultura geral, porém, se interrogarmos este conhecimento empírico, deparamo-nos com questões cuja resposta o transcende. Neste caso, o senso comum afirma: *ora, a Lua tem uma massa considerável, logo a força gravítica que ela aplica nos oceanos da Terra deverá ser capaz de os fazer deslocar*. Daqui se depreende também que o deslocamento deverá ser no sentido da Lua, visto que a gravidade é atractiva. Assim, a rotação que a Terra perfaz num dia sobre si própria faz com que os oceanos se *movam* no sentido da Lua¹. Há um problema grave com esta explicação: se a Terra só dá uma volta sobre si própria

¹ Em boa aproximação pode-se considerar que a Lua não se desloca no decorrer de um dia.

num dia, isto implica que só deveria haver uma maré por dia, no entanto, registam-se duas marés por dia! Esta questão colocou muitas mentes brilhantes a pensar desde a antiguidade clássica, mas só a de Isaac Newton deduziu a solução.

Antes de elucidar o efeito, tenho que expor algumas noções sobre o conceito de força.

Em Física, há dois tipos de grandezas: escalares e vectoriais. Uma grandeza escalar é caracterizada por um número. A temperatura é um exemplo de uma grandeza escalar: *a temperatura na sala é de 20 °C* — a informação, no que toca à temperatura, está completa. O mesmo não acontece, por exemplo, com a velocidade, que é uma grandeza vectorial. Se nos pedirem para nos deslocarmos a 5 km/h, é natural que questionemos: *para onde?* Assim, a grandeza velocidade só fica bem definida se, além da magnitude, se definir a direcção, o sentido e o ponto em que é aplicada. Por exemplo, a direcção pode ser vertical, e o sentido de cima para baixo. Notar que os conceitos de *direcção* e *sentido* têm significados específicos neste contexto e não devem ser confundidos. Todas as grandezas vectoriais são definidas por magnitude, direcção, sentido e ponto de aplicação. A representação mais comum de vectores é através de setas, em que o comprimento da seta representa a magnitude, o segmento de recta da seta indica a direcção, a seta o sentido e o ponto onde começa o segmento é o ponto de aplicação do vector.

Aplicando esta conceptualização para o caso da força que a Lua exerce na Terra: a força tem uma dada magnitude, tem a direcção da recta que une a Lua com a Terra e o sentido aponta para a Lua. Usando a representação supramencionada, teríamos uma seta localizada na Terra a apontar para a Lua².

Outro conceito necessário à presente explicação é o de centro de massa. Trata-se de um ponto imaginário no qual a massa de um corpo se *equilibra*. Por exemplo, o centro de massa de um lápis é mais ou

2 De igual modo, a Terra exerce também uma força sobre a Lua. Todos os corpos com massa exercem atracção gravítica noutros corpos com massa.