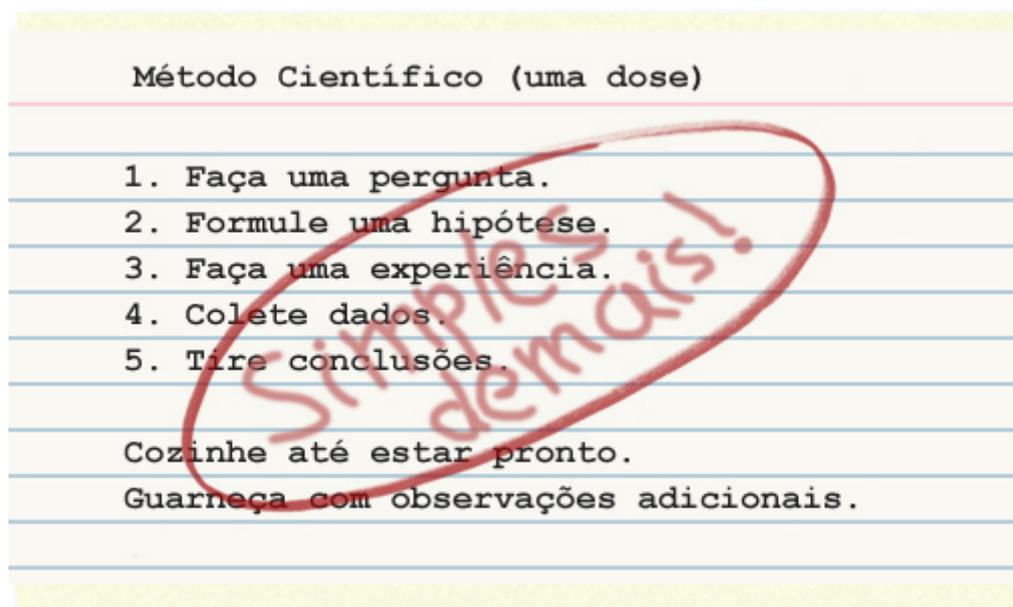


Como a ciência funciona

O Método Científico é tradicionalmente introduzido no primeiro capítulo dos compêndios escolares de [ciência](#) como sendo uma simples receita, para seguir quando se faz investigação científica. Apresentado desta forma, e apesar de realçar vários pontos importantes, o método científico corre o risco de ser visto como sendo demasiado linear e como se fosse uma "receita de cozinha": tire um problema da prateleira, adicione umas [observações](#), misture com algumas questões, polvilhe com uma [hipótese](#), ponha a mistura numa [experiência](#) a 350° — e *voilà*, 50 minutos mais tarde pode tirar uma conclusão do forno! Isto poderia funcionar se a ciência fosse como o pudim flan instantâneo, mas a ciência é complexa e não pode ser reduzida a uma sobremesa pré-empacotada.



Esta representação linear, passo-a-passo, do processo da ciência é simplista, mas pelo menos numa coisa está certa. Capta a essência da lógica da ciência: o [teste](#) de ideias através do uso de [evidência](#). Contudo, esta visão do método científico é tão simplificada e rígida que, na realidade, não é útil para expor com precisão o modo como a ciência funciona no mundo real. Descreve mais exatamente como a ciência é resumida *depois de ter sido produzida* — em livros e artigos de revistas — do que como a pesquisa científica é realmente realizada.

A visão linear e simplificada do método científico sugere que a investigação científica segue uma fórmula invariável e linear.

Na realidade, os cientistas quando fazem o seu trabalho efetuam múltiplas actividades diferentes, seguindo diversas e variadas sequências. A investigação científica exige frequentemente que se repitam os mesmos passos, tantas vezes quanto as necessárias, de modo a enquadrar novas ideias e informação.

A visão linear e simplificada do método científico sugere que a ciência é feita por cientistas isolados avançando sozinhos ao longo desta sequência de passos.

Na realidade, a ciência depende de interações dentro da comunidade científica. Partes diferentes do processo da ciência podem ser executadas por pessoas diferentes, em alturas diferentes.

A visão linear e simplificada do método científico sugere que a ciência é uma atividade pouco criativa.

Na realidade, o processo da ciência é excitante, dinâmico, e imprevisível. A ciência depende de gente criativa que sabe pensar de maneira diferente!

A visão linear e simplificada do método científico sugere que a ciência chega a conclusões.

Na realidade, as conclusões científicas podem sempre ser revistas se tal for justificado pela existência de nova evidência. A investigação científica é frequentemente uma atividade em evolução, levantando novas questões à medida que outras vão sendo resolvidas.

O verdadeiro processo da ciência

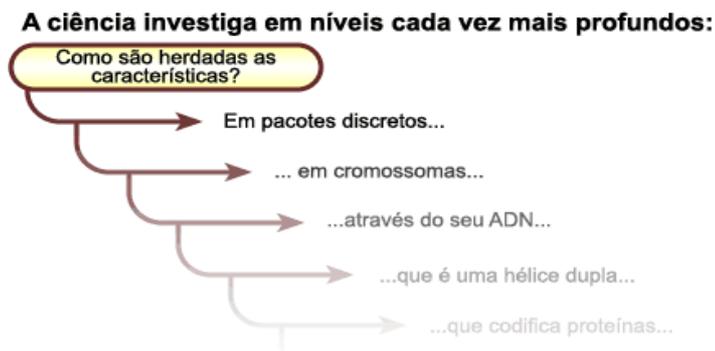
O processo da [ciência](#), tal como está representado no seguinte fluxograma, é a antítese do modelo "livro de receitas". (Mova o cursor do rato sobre o fluxograma para mostrar um nível adicional de detalhe; cada bolha de texto é um link para uma secção relevante so Saber Ciência) Ao contrário da sequência de passos lineares, normalmente associada à versão simplificada do método científico, este processo é não-linear.



- **O processo da ciência é iterativo.**

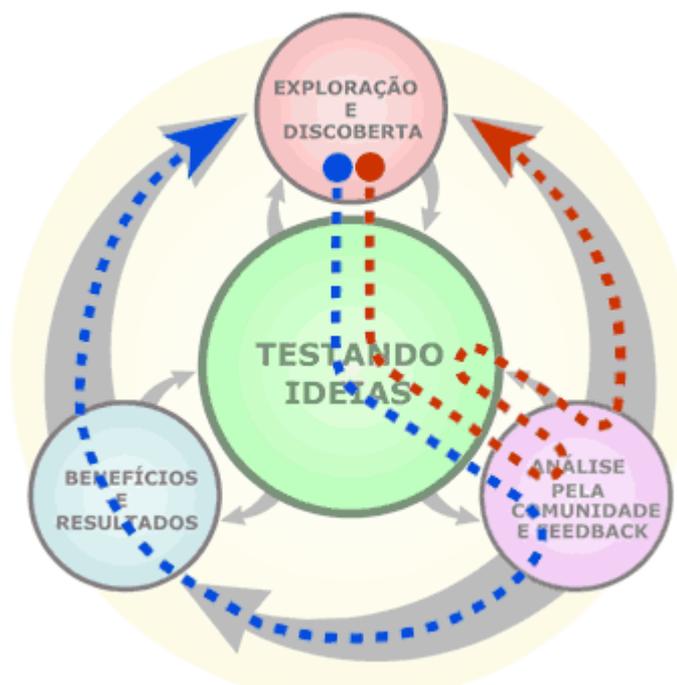
A ciência nutre-se de si mesma, em que ideias úteis servem de base e são utilizadas para saber ainda mais sobre o [mundo natural](#). Frequentemente, isto significa que investigações sucessivas de um tópico nos reconduzem à mesma questão, mas a níveis sempre mais aprofundados. Como exemplo, consideremos o ponto básico de como explicar o funcionamento da hereditariedade biológica. No início do século XIX, Gregor Mendel mostrou que a hereditariedade é particulada — ou seja, que a informação é passada em pacotes discretos que não podem ser diluídos. Um século mais tarde, Walter Sutton e Theodor Boveri (entre outros) ajudaram a mostrar que essas partículas associadas à hereditariedade, hoje conhecidas como genes, se encontravam localizadas nos cromossomas. [Experiências](#) feitas por Frederick Griffith, Oswald Avery e muitos outros, rapidamente forneceram mais detalhes sobre esta matéria, ao mostrar que o transporte de informação genética é efetuado pelo ADN dentro dos cromossomas. Finalmente, em 1953, James Watson e Francis Crick, novamente ajudados pelo trabalho de muitos outros, delinearam a estrutura molecular do ADN, deste modo produzindo uma descrição ainda mais detalhada da hereditariedade. Ainda mais tarde, nos anos 60 do século passado, Marshall Nirenberg e Heinrich Matthaei, entre outros, usaram este conhecimento para desvendar o código molecular usado na codificação de proteínas pelo ADN. E a história não termina aqui. Através do trabalho levado a cabo pelos biólogos, os nossos conhecimentos nesta área

continuam a expandir-se e a aprofundar-se: o modo como os genes são controlados, como estes padrões de controlo são por sua vez herdados, e a forma como os genes produzem as características físicas que passam de geração em geração.



- **O processo da ciência não é predeterminado.**

Cada fase do processo abre vários caminhos possíveis, e o próximo passo poderá levar-nos a uma verdadeira surpresa. Por exemplo, em vez de nos levar a uma conclusão sobre movimentos tectónicos, o [teste](#) de uma ideia acerca da tectónica de placas poderia levar à [observação](#) inesperada de uma camada rochosa. E essa camada rochosa poderia subsequentemente chamar a atenção para uma extinção marinha, a qual por sua vez poderia levantar uma questão sobre a extinção dos dinossauros — o que poderia depois conduzir a investigação numa direção completamente diferente.



À primeira vista, este processo pode parecer esmagadoramente complexo. Mesmo quando nos restringimos a uma única linha de pesquisa, a ciência pode envolver um grande número de pessoas que se dedicam a atividades muito diversas, usando metodologias diversas, em épocas diversas — a ciência é simplesmente muito mais dinâmica, flexível, imprevisível e vibrante do que os manuais escolares normalmente dão a entender. Mas tal não é motivo para se entrar em pânico! O processo científico pode ser complexo, mas os detalhes são menos importantes do que a imagem panorâmica do conjunto...

Um modelo para investigações científicas

O processo da [ciência](#) envolve muitos níveis de complexidade, mas os aspetos mais importantes deste processo são fáceis de compreender:

Há muitas formas de encetar o processo — desde serendipidade (por exemplo, ser atingido na cabeça pela proverbial maçã), a interesse em resolver um problema prático (por exemplo, encontrar um novo tratamento para a diabetes), a um desenvolvimento [tecnológico](#) (por exemplo, necessário para construir um telescópio mais avançado) — e, muitas os vezes, os cientistas começam uma investigação à boa moda antiga: perscrutando aqui e ali, remexendo, fazendo um brainstorming, efetuando algumas [observações](#) novas, conversando com colegas acerca de uma ideia, ou através da leitura da literatura científica.

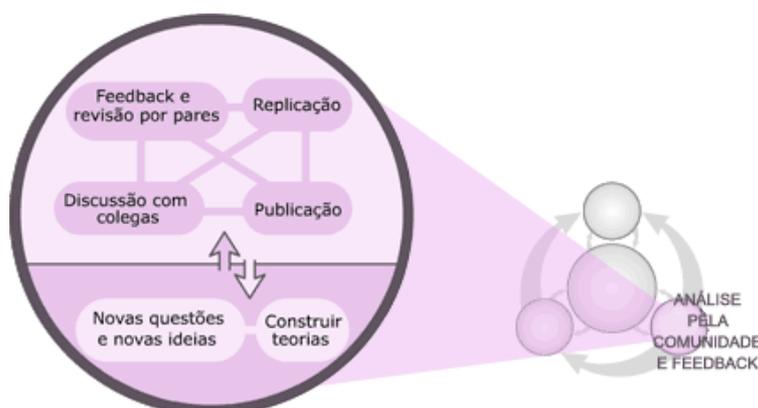


Os testes científicos encontram-se no centro deste processo. Na ciência, todas as ideias são [testadas](#) com [evidência](#) obtida através de observações feitas no [mundo natural](#). Esta evidência pode tomar muitas formas — desde núcleos de gelo da Antártida, a [experiências](#) feitas com um acelerador de partículas, às descrições detalhadas dos sedimentos numa camada rochosa. Não se pode avançar ao longo do processo da ciência sem examinar o que esta evidência tem a dizer sobre as suas ideias acerca da forma como o mundo funciona — mesmo que isso signifique abandonar uma das suas [hipóteses](#) preferidas.

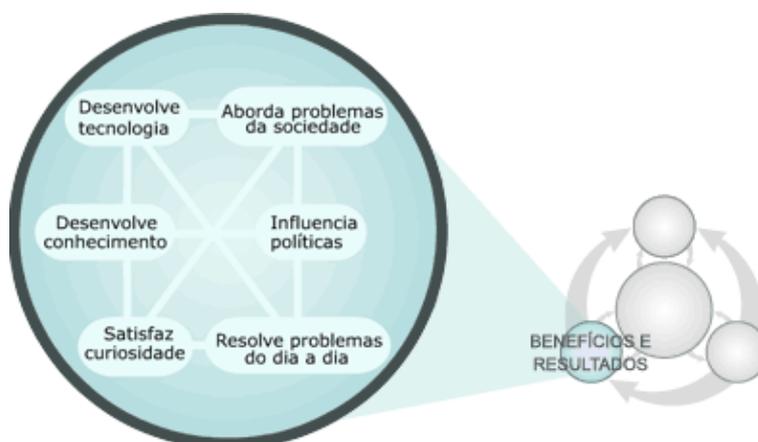


A comunidade científica ajuda a assegurar o rigor da ciência. Os membros da comunidade científica (ou seja, investigadores, técnicos de laboratório, educadores, e estudantes, entre outros)

desempenham várias funções no processo da ciência, mas são especialmente importantes na criação de ideias, na análise de ideias, e no exame da evidência a favor ou contra estas ideias. Através da ação desta comunidade, a ciência corrige-se a si mesma. Por exemplo, nos anos 90, John Christy e Roy Spencer anunciaram que medições da temperatura feitas por satélite (em vez de na superfície da Terra) pareciam indicar que a Terra estava a arrefecer, e não a aquecer. Contudo, outros investigadores cedo chamaram a atenção para a forma como as observações tinham sido feitas: os dados apresentados não tinham sido corrigidos para levar em conta o facto dos satélites perderem lentamente altitude. Uma vez tomado em conta este efeito, as medições feitas por satélite eram muito mais consistentes com os resultados observados na superfície da Terra, os quais apontavam para um aumento da temperatura. Christy e Spencer imediatamente reconheceram a necessidade de levar em conta esta correção.



O processo da ciência está entrelaçado com a sociedade. O processo científico influencia a sociedade (por exemplo, pesquisa no campo dos raios-X levou ao desenvolvimento da tomografia computadorizada) e, por sua vez, é influenciado pela sociedade (por exemplo, receio por parte da população no que respeita à propagação do HIV, levou ao estudo das interações moleculares no sistema imunitário).



Exploração e descoberta



As etapas iniciais da investigação científica são frequentemente estimuladas por [observações](#), colocando questões, ou fazendo [experiências](#) preliminares — basicamente olhando aqui e ali — mas os caminhos que nos levam a estas etapas, assim como os caminhos para onde elas nos levam, podem ser diversos. Observações intrigantes surgem por vezes da forma mais inesperada. Por exemplo, a descoberta da radioatividade deveu-se à observação, totalmente fortuita, de que placas fotográficas (um antecessor dos filmes fotográficos) armazenadas perto de sais de urânio davam sinal de terem sido expostas. Outras vezes, observações interessantes (e a investigação por estas estimulada) tornam-se subitamente possíveis devido ao desenvolvimento de uma nova [tecnologia](#). Por exemplo, o lançamento do Telescópio Espacial Hubble em 1990 permitiu que os astrónomos obtivessem imagens mais nítidas do universo e de zonas mais longínquas do que tinha sido possível até então. Estas observações levaram subsequentemente a descobertas importantes em áreas de estudo bastante diversas, tais como a formação de estrelas e planetas, a natureza dos buracos negros, ou a expansão do universo.



Observações feitas através de imagens como esta, obtida com o Telescópio Espacial Hubble, podem levar a novos avanços científicos.

Muitas vezes, trocas de impressões com os colegas e a leitura do trabalho publicado por outros cientistas podem clarificar um conjunto de observações ou levantar novas questões — tal como foi demonstrado pela descoberta do papel desempenhado pelos clorofluorcarbonetos (CFC) na diminuição da camada de ozono ...

EXPLORANDO OS AEROSSÓIS

Em 1973, observações feitas por cientistas químicos mostraram que os gases CFC estavam a ser lançados no ambiente através do uso de aerossóis e ar condicionado, entre outras fontes. Mas foram as discussões com o seu colega e supervisor que levaram Mario Molina a perguntar-se sobre qual seria o seu destino último. Dado que os gases CFC estavam a acumular-se rapidamente na atmosfera, a questão era intrigante. Mas, antes de poder abordar este problema (o que mais tarde o levaria a ganhar o Prémio Nobel e a fornecer uma explicação para o buraco na camada de ozono), Molina precisava de mais informação. Ele ainda tinha que se informar melhor sobre os estudos feitos por outros cientistas acerca da química atmosférica, e o que Molina descobriu apontava para o destino inquietante dos gases CFC.



Mario Molina

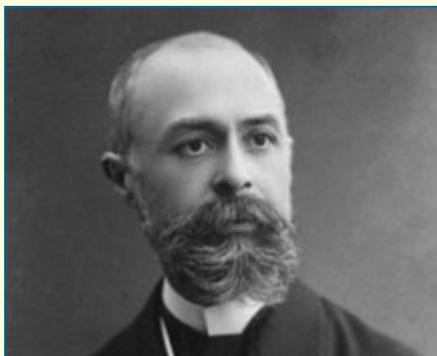


[Leia mais sobre a história de Mario Molina.](#)

Para além disso, ainda que fazer observações e colocar questões seja uma parte essencial do processo científico, por si mesmo isso não chega para lançar uma investigação científica. Em geral, os cientistas também devem possuir conhecimento científico prévio — toda a informação e conhecimentos que foram acumulando durante os seus estudos científicos, complementados por discussões com colegas e a leitura da [literatura científica](#). Tal como vimos na história de Mario Molina, uma compreensão alargada do que os outros cientistas já resolveram, dentro de um determinado tópico, é uma parte crítica do processo. Este conhecimento de fundo permite aos cientistas reconhecer observações reveladoras por aquilo que são, fazer ligações entre ideias e observações, e determinar que questões podem ser abordadas com os instrumentos atualmente disponíveis. A importância deste corpo de conhecimentos no processo da ciência ajuda a explicar porque é que a ciência é frequentemente apresentada de forma errónea nos compêndios escolares, ou seja como sendo essencialmente um conjunto estático de factos. Na realidade a ciência é um processo, mas um processo que se baseia no conhecimento acumulado pela comunidade científica para avançar.

A ATITUDE CIENTÍFICA

Algumas descobertas científicas são atribuídas a um caso de serendipidade (ou seja, um acaso feliz) em que alguém estava no lugar certo no momento certo para fazer uma observação — mas muito raramente sucede que a serendipidade por si só leve a uma nova descoberta. As pessoas capazes de transformar um acontecimento fortuito numa descoberta fundamental são normalmente aquelas que possuem conhecimentos de fundo e um modo de pensar científico, ambos necessários para dar sentido a uma observação afortunada. Por exemplo, em 1896, Henri Becquerel fez uma observação inesperada. Ele descobriu que placas fotográficas armazenadas perto de sais de urânio ficavam manchadas, tal como se tivessem sido expostas a raios solares — isto apesar de terem sido mantidas dentro de uma gaveta num ambiente privado de luz. Outra pessoa, com uma atitude menos científica e sem conhecimentos suficientes de física, teria amaldiçoado a sua má sorte e deitado fora as placas danificadas. Mas Becquerel ficou intrigado pelo que viu. Ele reconheceu que se tratava de algo cientificamente interessante. Subsequentemente fez várias experiências que lhe permitiram identificar o urânio como sendo a causa da danificação das placas, e no processo descobriu a radioatividade. A chave para a história desta descoberta reside em parte na estranha observação inicial feita por Becquerel, mas também na sua forma de pensar. Para além dos necessários conhecimentos científicos, Becquerel tinha também uma atitude científica. Sem dúvida, ele fez algumas observações críticas — mas depois tentou aprofundar a questão, interrogando-se sobre o *porquê* das placas terem sido expostas, e tentando eliminar diversos fatores que poderiam ter causado a exposição, de modo a chegar à explicação física por detrás deste feliz acidente.



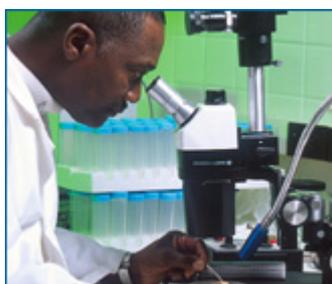
Henri Becquerel



A placa fotográfica danificada que intrigou Becquerel

Observação para além dos nossos sentidos

Frequentemente, quando ouvimos falar de [observações](#), imaginamos que estas tenham sido feitas "com os nossos próprios olhos". No mundo da [ciência](#), porém, as observações podem ser feitas de muitas formas diferentes. Obviamente, nós *podemos* fazer observações através dos nossos sentidos — vendo, sentindo, ouvindo, e cheirando — mas também podemos usar instrumentos para expandir e refinar os nossos sentidos básicos: termómetros, microscópios, telescópios, radares, detetores de radiação, cristalografia de raios-X, etc. E, quando se trata de observar, estes instrumentos fazem-no muito melhor do que nós! Para além disso, o ser humano não pode observar diretamente muitos dos fenómenos que a ciência investiga (por exemplo, por mais que se olhe para um ecrã de computador, não há forma de observar os seus átomos constituintes, ou a radiação ultravioleta que emite). Em casos como este, temos que nos apoiar em observações indiretas feitas através de instrumentos que, para além de nos poderem proporcionar um maior número de observações, também as realizam com uma precisão que os nossos sentidos nunca poderiam alcançar.

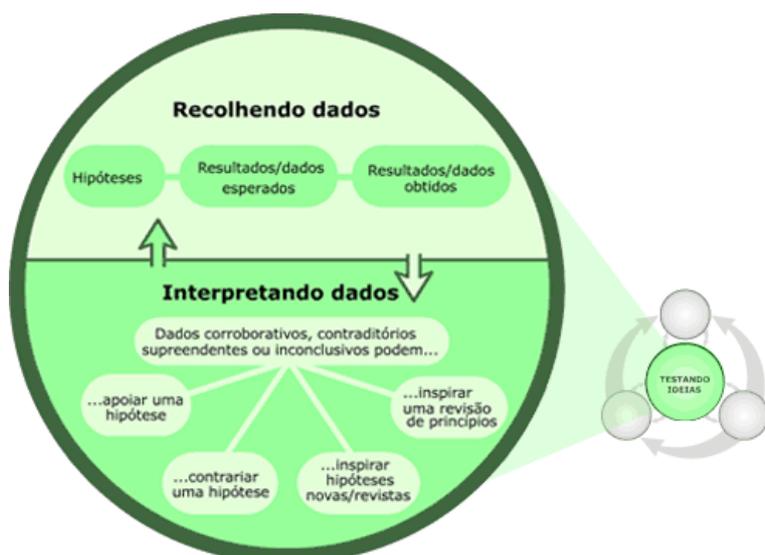


Instrumentos como o Telescópio Espacial Hubble, microscópios e submersíveis ajudam-nos a observar o mundo natural.

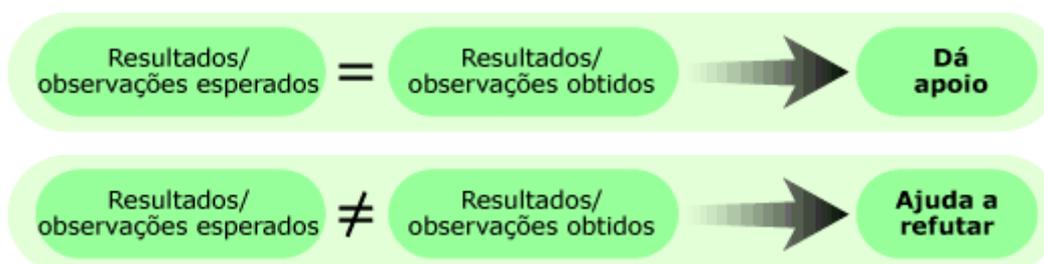
As observações produzem aquilo que os cientistas chamam de [dados](#). Quer a observação seja um resultado [experimental](#), medidas de radiação feitas por um satélite orbitando a Terra, o registo em infravermelhos da erupção de um vulcão, ou apenas a descrição da forma como uma certa espécie de pássaro bate sempre no solo com uma das patas enquanto procura alimento — tudo isto são dados. Os cientistas analisam e interpretam os dados de modo a determinar até que ponto é que a informação obtida dá validade às suas [hipóteses](#) e [teorias](#). Será que os dados apoiam uma ideia em detrimento das demais, ajudam a refutar uma ideia, ou será que sugerem uma explicação completamente diferente? Apesar de poder parecer uma coisa complicada, frequentemente representada através de gráficos detalhados ou análises estatísticas complexas, é importante lembrar que, ao nível mais básico, os dados são apenas observações.

As observações inspiram, dão suporte, e ajudam a refutar hipóteses e teorias científicas. Contudo, teorias e hipóteses (as estruturas fundamentais do conhecimento científico) não podem ser "lidas" diretamente da natureza. Uma bola que cai (não importa o quão detalhadas as nossas observações possam ser) não nos diz diretamente como é que a gravidade funciona, e colecionar observações sobre as diferentes espécies de tentilhões nas Ilhas Galápagos não nos diz diretamente como foi que os seus bicos evoluíram. O conhecimento científico é construído à medida que os cientistas produzem novas hipótese e teorias, [testam](#) estas últimas continuamente através de observações feitas no [mundo natural](#), e continuam a refinar essas explicações com base em novas ideias e observações. Observar é essencial para o processo da ciência, mas é apenas parte da história.

Testando ideias científicas

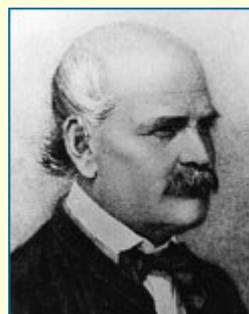


O teste de [hipóteses](#) e [teorias](#) é a essência do processo da [ciência](#). Em princípio, qualquer aspeto do [mundo natural](#) *poderia* ser explicado de muitas formas. O trabalho da ciência consiste em reunir todas as explicações plausíveis e usar testes científicos para as filtrar, retendo as ideias que são apoiadas pela [evidência](#) e abandonando todas as outras. Os testes científicos podem ser conceptualizados como uma sequência de dois passos lógicos: (1) o que é que [esperaríamos](#) ver se uma ideia estivesse correta, e (2) essas expectativas estão de acordo com o que [observamos](#) na prática? Diz-se que uma ideia é corroborada quando as observações realizadas (ou seja, os resultados) condizem com o que se esperava observar. Inversamente, diz-se que uma ideia não foi corroborada quando não há acordo entre as expectativas e as observações realizadas.



TESTANDO IDEIAS SOBRE A FEBRE PUERPERAL

Para um exemplo simples de como os testes científicos funcionam na prática, considere o caso de Ignaz Semmelweis, um médico que exerceu funções numa maternidade durante o século XIX. Na maternidade onde trabalhava, uma percentagem anormalmente alta de jovens mães morriam do que na altura se chamava febre do parto. Semmelweis considerou várias explicações possíveis para esta elevada taxa de mortalidade. Duas das muitas ideias



Ignaz Semmelweis

que ele contemplou foram (1) que a febre podia ser provocada pela posição da parturiente, a qual se encontrava normalmente deitada de costas durante o parto (em vez de estar de lado), e (2) que a febre podia ser causada por médicos cujas mãos não estariam devidamente limpas (muitas vezes, os médicos efetuavam autópsias imediatamente antes de examinar mulheres em trabalho de parto).

Semmelweis testou estas ideias considerando as expectativas geradas por cada uma delas. Se era verdade que a febre do parto se devia ao parto ocorrer numa posição decúbito dorsal, então uma mudança de procedimento, em que a parturiente se manteria deitada de lado, deveria levar a uma menor taxa de mortalidade. Semmelweis tentou mudar a posição do trabalho de parto, mas a incidência de febre do parto não diminuiu; as observações levadas a cabo na prática não correspondiam aos resultados esperados. Contudo, se a febre puerperal fosse causada pelas mãos sujas do médico, então se os clínicos começassem a lavar as mãos cuidadosamente com um desinfetante poderoso antes de atender as mulheres em trabalho de parto, tal deveria levar a uma diminuição do número de casos de febre do parto. Quando Semmelweis tentou este procedimento, as taxas de febre do parto diminuíram vertiginosamente; as observações estavam de acordo com as expectativas, dando suporte à segunda hipótese considerada.



Um atol

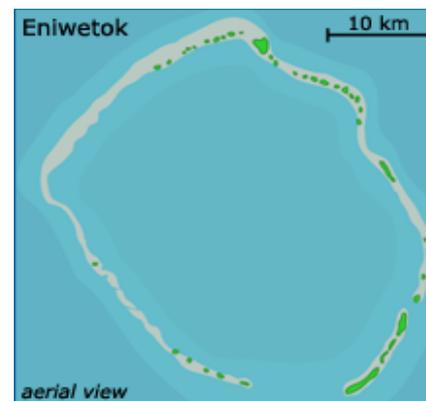
Testando nos trópicos

Iremos agora examinar um exemplo totalmente diferente de teste científico: a investigação da origem dos atóis tropicais (recifes coralinos). Consideremos o atol de Eniwetok (Anewetak) nas Ilhas Marshall — um anel oceânico de coral exposto circundando uma lagoa central. Desde o século XIX até aos dias de hoje, os cientistas têm tentado compreender o que é que dá suporte às estruturas coralinas sob a superfície marinha, assim como o processo exato de formação dos

atóis. Eniwetok *poderia* ter-se formado de várias maneiras:

Hipótese 1: O coral cresce apenas na proximidade da superfície do oceano, em zonas onde a luz penetra. Por conseguinte, é possível que o anel de coral de Eniwetok tenha crescido sobre o cume de uma montanha submarina que, por sua vez, foi formada por detritos oceânicos ou através de ações tectónicas.

Hipótese 2: Uma hipótese alternativa é a de que Eniwetok originalmente se teria desenvolvido ao redor de uma ilha vulcânica, a qual depois se afundou lentamente até ficar imersa, enquanto que o recife de coral continuou a crescer em direção à



superfície. A atividade vulcânica submarina (os chamados pontos quentes) pode produzir ilhas no meio do oceano, à medida que a lava arrefece e se vai acumulando em redor de um ponto quente. Contudo, eventualmente o movimento das placas tectónicas acaba por afastar a ilha para uma zona distante do ponto quente, impedindo a continuação do seu desenvolvimento. Entretanto, os organismos coralininos crescem nas águas pouco profundas em torno da ilha vulcânica, formando um anel. À medida que o tempo passa, erosão e movimentos tectónicos fazem com que a ilha afunde lentamente (ou sucumba), levando consigo o anel de coral. Mas o coral é um organismo vivo e continua a crescer rumo à superfície à medida que o seu substrato afunda. Com o passar do tempo, a ilha poderia afundar-se cada vez mais nas profundezas oceânicas, enquanto o coral continuará a prosperar, crescendo na direção da superfície e mantendo a sua configuração anelar original.

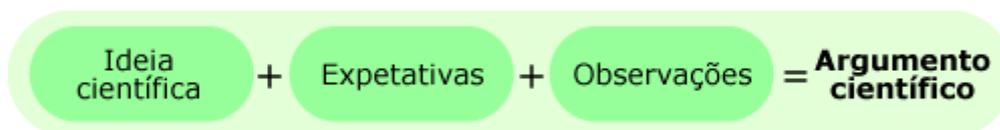


Qual destas hipóteses fornece a melhor explicação para a formação de Eniwetok? Será o atol uma construção no cume de uma montanha submarina, ou uma torre de coral em crescimento sobre um antigo vulcão afundado? Qual destas explicações recebe um suporte mais completo por parte da evidência disponível?

Se Eniwetok tivesse crescido sobre uma montanha submarina, então esperaríamos que o atol fosse constituído por uma camada relativamente fina de coral no topo de uma aglomeração rochosa de calcário ou basalto. Mas se tivesse crescido em direção ao alto em redor de uma ilha que sucumbe lentamente, então esperaríamos que o atol fosse constituído por muitas centenas de metros de coral, por baixo do qual encontraríamos rocha vulcânica. Quando os geólogos efetuaram perfurações em Eniwetok em 1951, como parte de um estudo preliminar para o teste de armas nucleares, a sonda de perfuração penetrou através de 1219 metros de coral antes de atingir o basalto vulcânico! As observações reais contradiziam a explicação baseada na montanha submarina, mas davam suporte à hipótese da ilha em submersão. É claro, muitas outras [linhas de evidência](#) foram usadas para fazer luz sobre as origens dos recifes de coral, mas a espessura surpreendente da camada de coral em Eniwetok foi uma evidência bastante convincente para muitos geólogos.

A lógica de argumentos científicos

Consideradas juntamente, as [expetativas](#) geradas por uma ideia científica e as [observações](#) realizadas na prática para averiguar a precisão destas expetativas, formam aquilo que nós chamamos um [argumento científico](#). Isto assemelha-se um bocadinho aos argumentos apresentados durante um caso em tribunal — uma descrição lógica do que pensamos e porquê. Um argumento científico faz uso de [evidência](#) para tentar demonstrar que uma certa ideia científica é correta ou incorreta. Por exemplo, a ideia de que as jovens mães correm o risco de contrair certas doenças porque os médicos frequentemente têm as mãos sujas, gera a expetativa de que a taxa de incidência deste tipo de doenças deveria diminuir se fosse exigido aos médicos que lavassem as mãos antes de realizarem um parto. Quando este [teste](#) foi efetivamente realizado no século XIX, os resultados confirmaram as expetativas, formando um poderoso argumento científico em suporte desta ideia — e de lavarmos as mãos!



Os elementos de um argumento científico (a ideia científica, as expetativas geradas por esta ideia, e as observações efetuadas para testá-las) relacionam-se sempre da mesma forma lógica. Contudo, no que respeita à execução do processo científico, a ordem pela qual estes elementos são reunidos pode variar. Por vezes a ideia chega primeiro, e os cientistas depois procuram fazer observações que lhes permitam determinar se a ideia é correta. Outras vezes, um conjunto de observações iniciais leva os cientistas a conceber uma nova ideia. Ainda outras vezes, a ideia e as observações estão disponíveis, mas ninguém fez a ligação entre ambas, isto até que alguém chega e descobre que as duas podem estar relacionadas uma com a outra.



O teste de ideias através do uso de evidência pode não parecer nada mais do que a aplicação do senso comum — e, na sua essência, assim é! — mas existem algumas subtilezas neste processo:

- **As ideias podem ser testadas de muitas maneiras.** Alguns testes são relativamente simples (por exemplo, crescer 1000 moscas da fruta em laboratório e contar quantas têm olhos vermelhos), mas outros podem requerer uma boa quantidade de tempo (por exemplo, esperar pela próxima passagem do cometa Halley), esforço (por exemplo, ordenar cuidadosamente e meticulosamente milhares de microfósseis), e/ou o desenvolvimento de instrumentos especializados (como um acelerador de partículas). Para saber mais sobre este assunto, veja [Táticas para testar ideias](#).
- **A evidência pode incidir de diversas formas sobre uma ideia.** Para saber mais, veja [Revendo resultados](#).
- **Múltiplas linhas de evidência e vários critérios devem ser tomados em conta quando se**

procede à avaliação de uma ideia. Para saber mais, veja [Ideias em competição: A explicação perfeita para os dados](#) ou [Ideias em competição: Outras considerações](#).

- **O teste de uma ideia requer sempre que se façam algumas suposições.** Para saber mais, veja [Fazendo suposições](#).

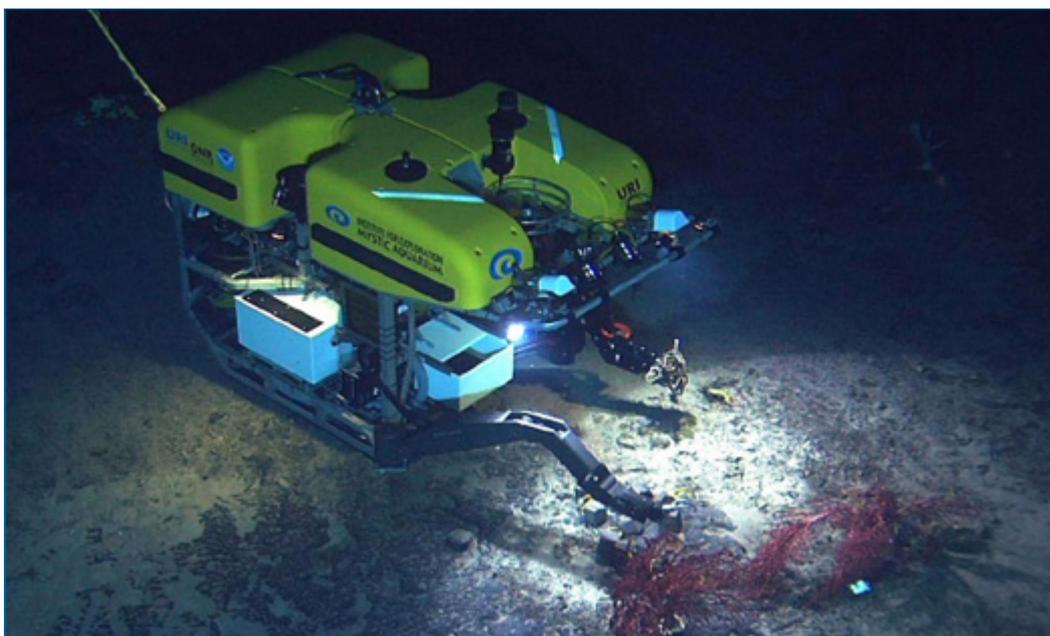
Apesar de todos estes detalhes, é importante lembrar que, no fundo, [hipóteses](#) e [teorias](#) vivem ou morrem dependendo de funcionarem ou não — por outras palavras, dependendo do quão úteis são a explicar [dados](#), gerar expectativas, fornecer explicações satisfatórias, inspirar novas questões científicas, responder a questões e resolver problemas. A ciência analisa e filtra muitas ideias e desenvolve-se sobre aquelas que *funcionam*!

Táticas para testar ideias

As [experiências](#) são uma das formas que podemos usar para [testar](#) alguns tipos de ideias, mas a [ciência](#) não vive apenas de experiências. Existem muitas outras formas de testar ideias cientificamente...

O que é uma experiência?

Uma experiência é um teste que envolve a manipulação de algum fator ou fatores num sistema, a fim de ver como essas alterações afetam o resultado ou o comportamento do sistema. Idealmente, as experiências também requerem o [controle](#), na medida do possível, de todos os outros fatores, de modo a isolar a causa dos resultados experimentais. As experiências podem ser testes simples efetuados em laboratório — como, por exemplo, deixar rolar uma bola ao longo de diferentes planos inclinados, de modo a determinar o efeito do ângulo no tempo que a bola leva a rolar ao longo do plano. Mas experiências em grande escala também podem ser efetuadas no mundo real. Por exemplo, experiências clássicas no campo da ecologia envolveram a remoção de uma espécie de cirrípede das rochas na zona entre-marés da costa escocesa, de modo a averiguar o efeito desta mudança nas outras espécies de cirrípedes ao longo do tempo. Mas quer sejam feitas em pequena ou grande escala, no laboratório ou diretamente na natureza, e requerendo anos ou apenas alguns milésimos de segundo para completar, as experiências distinguem-se dos outros tipos de testes por se basearem na manipulação de alguns fatores e, idealmente, no controlo de todos os outros.



As experiências podem até ter lugar no fundo do oceano. No caso ilustrado, um veículo operado à distância recolhe cubos de basalto ali colocados cerca de um ano antes. Estes cubos podem servir, potencialmente, de novos ancoradouros para os organismos coralinos. A experiência consiste em examinar a forma como o coral se reproduz e dispersa.

Experiências naturais

Alguns aspetos do [mundo natural](#) não podem ser manipulados e, portanto, não podem ser analisados através de experiência direta. Pura e simplesmente, não é possível voltar atrás no tempo e introduzir tentilhões em três grupos de ilhas diferentes para observar a sua subsequente evolução. Não podemos mudar a posição dos planetas para ver como é que as suas órbitas seriam alteradas pela nova configuração. E não podemos fazer com que os vulcões entrem em erupção de modo a investigar a forma como eles afetam o ecossistema circundante. Contudo, fenómenos antigos, distantes ou de grande escala, *podem* ser estudados com os métodos descritos a seguir e, em muitos casos, podemos [observar](#) os resultados de [experiências naturais](#) que têm lugar nestes sistemas. Experiências naturais ocorrem quando o universo, de certa forma, faz a experiência por nós — isto é, o aparato experimental relevante já existe na natureza, e tudo o que temos a fazer é observar os resultados.



Apesar de não podermos manipular experimentalmente fenómenos como os vulcões, podemos contudo observar cuidadosamente o resultado destas experiências naturais. Nesta foto, um geólogo obtém uma amostra de lava do Kilauea, um vulcão localizado no Havai.

🔍 Para aprender como uma experiência natural forneceu evidência em suporte da [teoria](#) geral da relatividade, veja [Iluminando a relatividade: Experiências com as estrelas](#).



Um dente de *Tyrannosaurus rex* pode dizer-nos muitas coisas sobre a dieta deste animal.

Mais do que apenas experiências

Para muitas ideias científicas, o teste através de experiências é impossível, inapropriado, ou apenas uma parte da história. Nestes casos, efetuar um teste é frequentemente uma questão de fazer as observações certas. Por exemplo, não podemos fazer experiências em estrelas longínquas de modo a testar ideias sobre o tipo de reações nucleares que ocorrem no seu interior, mas *podemos* testar estas ideias construindo sensores que nos permitem observar os tipos de radiação que as estrelas emitem. Da mesma forma, não podemos efetuar experiências para testar ideias sobre o que o *Tyrannosaurus rex* comia, mas *podemos* testar estas ideias através de observações detalhadas, comparando os dentes fossilizados desta espécie de dinossauros com dentes de organismos modernos que se nutrem de alimentos diversos. E, é claro, muitas ideias podem ser testadas quer através de experiências, quer através de observações diretas. Por exemplo, podemos testar ideias sobre a forma como os clorofluorcarbonetos interagem com a camada de ozono, efetuando experiências químicas e através de estudos observacionais da atmosfera.

Analisando dados

A avaliação de uma ideia à luz da [evidência](#) disponível deveria ser uma atividade simples e óbvia, não é verdade? Ou existe acordo entre os resultados e as [expectativas](#) geradas por uma ideia (ou seja os resultados suportam a ideia) ou não (ou seja, rejeitam-na). Por vezes, este processo é relativamente simples (por exemplo, perfurações de um atol coralino ou revelam uma espessa camada de coral, ou apenas uma fina camada superficial). Mas frequentemente tal não é o caso. O mundo real é intrincado e complexo e, muitas vezes, interpretar a evidência associada a uma certa ideia está longe de ser uma tarefa fácil. Para complicar ainda mais a situação, torna-se frequentemente necessário pesar múltiplas [linhas de evidência](#) de modo a determinar a validade de uma dada ideia.



Recolher dados em bruto:

```

TTGGCTATAACTSCACCATCAGAGC
ATCTAAAGTTCTCTATGGGAATACC
TAAGACAGAGGATCATGATCGCATT
TGCAACTATCGCGCAACACAACACTG
ACTGACGTCATTCAGACGGGCACTT
  
```

Analisar dados:

```

fly:  ACTTGGCTATAACTGCA
spider: ACTTGTATAGGTCGA
lobster: ACTTGGCTATAGCTGCC
  
```

Interpretar resultados:



Consenso da comunidade:



Os [testes](#) científicos geram tipicamente aquilo que os cientistas chamam de [dados](#) em bruto — [observações](#), descrições ou medições inalteradas, tal como foram obtidas — as quais devem ser posteriormente analisadas e interpretadas. Os dados tornam-se evidência apenas depois de terem sido interpretados de modo a esclarecer o grau de rigor de uma ideia científica. Por exemplo, a investigação das relações evolucionárias entre crustáceos, insetos, diplópodes, araneídeos (aranhas) e os seus vizinhos taxonómicos, pode fornecer a sequência genética de um gene específico em cada um destes organismos. Estes são os dados em bruto mas, na realidade, o que é que eles nos dizem? As longas sequências de Ás, Tês, Gês e Cês que formam o ADN não podem, por si próprias, dizer-nos se os insetos se encontram mais próximos dos crustáceos ou dos araneídeos. Em vez disso, os dados têm que ser analisados através de cálculos estatísticos, o uso de tabelas e/ou representações gráficas. No presente caso, uma bióloga poderá iniciar a análise da informação genética alinhando sequências diferentes, chamando a atenção para semelhanças e diferenças, e efetuando cálculos com o objetivo de quantificar o grau de similitude entre as diversas sequências. Apenas então poderá interpretar os resultados e descobrir se estes dão ou não suporte à [hipótese](#) de que os insetos se encontram geneticamente mais próximos dos crustáceos do que dos araneídeos.

dos araneídeos.

Além disso, o mesmo conjunto de dados pode ser interpretado de maneiras diversas. Consequentemente, um outro cientista poderia analisar os mesmos dados usando um método novo e chegar a uma conclusão diferente sobre a relação entre insetos, crustáceos e araneídeos. No fim, a comunidade científica acabará por chegar a um consenso acerca de como um conjunto de dados deve ser interpretado, mas este processo poderá levar algum tempo e normalmente envolve o uso de

linhas de evidência adicionais.

CALCULANDO CONFIANÇA

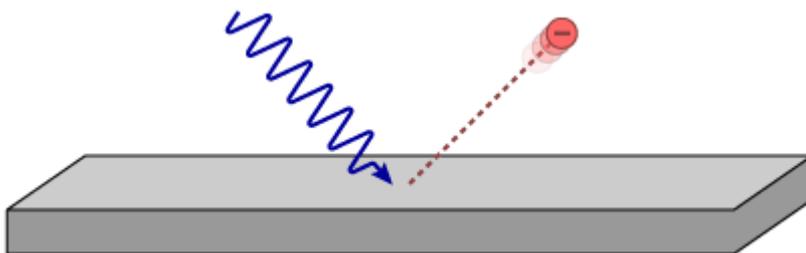
Interpretar o resultado de um teste significa frequentemente que devemos lidar com [incerteza](#) e [erro](#). "Mas espere um momento," — estará talvez pensando — "eu estava convencido que a ciência tinha por objetivo construir conhecimento e *reduzir* incerteza e erro." E tal é verdade. Contudo, quando os cientistas chegam a uma conclusão ou fazem um cálculo, frequentemente eles tentam dar uma indicação estatística da confiança que têm nos resultados. Na linguagem do dia-a-dia, incerteza e erro significam que uma resposta não é clara ou que algo foi feito de forma incorreta. Porém, quando os cientistas falam de incerteza e erro, normalmente estão a referir-se ao grau de *confiança* que eles têm num determinado valor. Por exemplo, dizer que a temperatura é de 37° C (com uma margem de incerteza de mais ou menos 0.2° C, na realidade significa que temos grande confiança de que a temperatura real se encontra entre 36.8 e 37.2° C.

Revendo resultados

Normalmente os cientistas consideram *múltiplas* ideias sobre como algo funciona e, com base na [evidência](#) disponível, tentam determinar qual delas é a mais correta. Contudo, os resultados de um [teste](#) (quer seja uma [experiência](#) ou um outro tipo de estudo) estão frequentemente cheios de surpresas.



- **A evidência pode favorecer uma hipótese sobre todas as outras.** Por exemplo, durante a perfuração de um atol coralino descobriu-se que a camada de coral tinha mais de mil metros de espessura, dando claramente suporte à ideia de que os atóis se desenvolvem em redor de ilhas vulcânicas em lenta imersão. Com certeza, muitas outras [linhas de evidência](#) ajudaram a cimentar a validade desta ideia, em detrimento de todas as explicações alternativas.
- **A evidência pode ajudar a excluir algumas das hipóteses.** Da mesma forma, os resultados do projeto de perfuração levado a cabo no atol ajudaram a refutar uma hipótese alternativa — a ideia de que os atóis crescem no cume de montanhas submarinas que, por sua vez, foram formadas por detritos oceânicos. Este segundo modelo teria sido compatível com [observações](#) que revelassem que os atóis são constituídos apenas por uma fina camada de coral.
- **A evidência pode levar à revisão de uma hipótese.** Por exemplo, experiências e observações deram por muito tempo suporte à ideia de que a luz era constituída por ondas. Contudo, em 1905, Einstein mostrou que um fenómeno bem conhecido (mas que até então tinha permanecido inexplicável) — o efeito fotoelétrico — fazia perfeito sentido se a luz fosse constituída por partículas discretas. Isto levou os físicos a modificarem as suas ideias sobre a natureza da luz; a luz comportava-se *simultaneamente* como uma onda *e* como uma partícula.



O efeito fotoelétrico é um fenómeno em que eletrões são

emitidos por uma superfície metálica quando esta é exposta à luz de certas frequências. Este efeito não só foi compreendido quando Einstein sugeriu que a luz era constituída por partículas cuja energia podia tomar apenas certos valores discretos.

- **A evidência pode revelar uma suposição incorreta, levando o cientista a rever as suas suposições e, possivelmente, a reformular a forma como o teste deve ser feito.** Por exemplo, nos anos 70 os geólogos tentaram testar ideias para determinarem em que altura teria ocorrido a transição do período Cretáceo ao período Terciário, através da medição da quantidade de irídio existente nas camadas rochosas correspondentes a essa fase. O teste baseava-se na [suposição](#) de que o irídio se deposita a uma taxa baixa mas constante. Contudo, para sua grande surpresa, a camada rochosa em análise continha quantidades extraordinariamente elevadas de irídio, uma indicação clara de que a forma como o teste original tinha sido planeado se baseava na falsa suposição de o irídio se depositar a uma taxa baixa e constante.

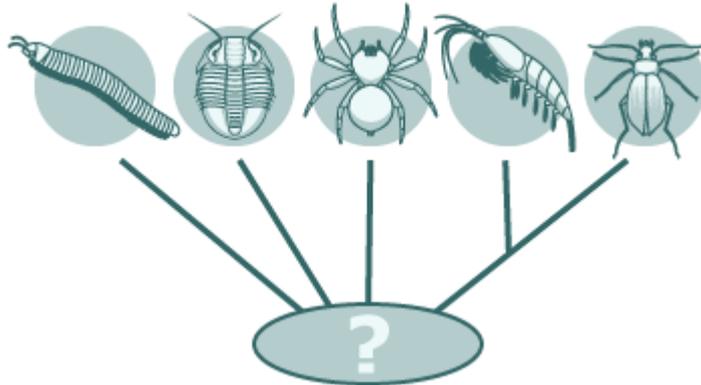
📌 O teste de uma ideia requer sempre que se façam algumas suposições. Para saber mais, veja [Fazendo suposições](#).

- **A evidência pode ser tão surpreendente que inspira uma hipótese ou questão científica totalmente nova.** Por exemplo, a descoberta inesperada de elevadas quantidades de irídio nas rochas correspondentes à fase de transição entre os períodos Cretáceo e Terciário, acabou por inspirar uma nova hipótese sobre um tópico diferente: que a extinção massiva que ocorreu no fim do Cretáceo tinha sido provocada por uma catastrófica colisão de um asteroide.



- **A evidência pode ser inconclusiva, não dando suporte a nenhuma hipótese em particular.** Por exemplo, muitos biólogos têm investigado a anatomia e sequências genéticas dos artrópodes (crustáceos, insetos, diplópodes, araneídeos e os seus vizinhos taxonómicos),

de modo a determinar como estes grupos se encontram relacionados. Até ao momento, os resultados têm sido inconclusivos, não dando suporte consistente a nenhuma das propostas sobre a forma como estes grupos se inter-relacionam. Os biólogos continuam a recolher mais evidência com o objetivo de resolver esta questão.



Nova evidência pode repercutir no processo da [ciência](#) de muitas formas. Ainda mais importante, nova evidência ajuda-nos a avaliar ideias.

Ideias em competição: A explicação perfeita para os dados

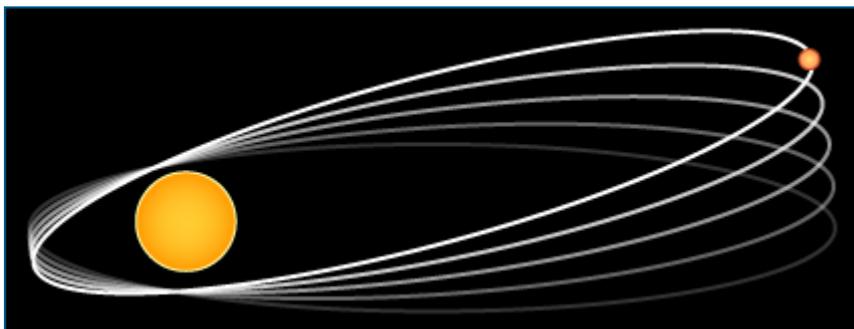
Vimos anteriormente que, no campo da [ciência](#), avaliar uma ideia não é necessariamente apenas uma questão de se fazer uma única [experiência](#) chave, ou de se obter um conjunto de resultados definitivos. Os cientistas frequentemente consideram várias ideias em simultâneo e [testam](#) essas ideias de muitas formas diferentes. Este processo gera múltiplas [linhas de evidência](#) relevantes para cada ideia. Por exemplo, duas ideias em competição sobre o modo como os atóis de coral se formam (imersão da ilha ou formação sobre montanha submarina) foram avaliadas com base em múltiplas linhas de evidência, incluindo [observações](#) das formas de recifes e atóis, a geologia de ilhas, estudos da distribuição de detritos planctónicos, e a perfuração de atóis coralinos. Além disso, linhas de evidência diferentes vão sendo reunidas cumulativamente ao longo do tempo, à medida que os cientistas trabalham sobre o problema e novas [tecnologias](#) são desenvolvidas. Por esta razão, a avaliação de ideias científicas tem sempre um carácter provisório. A ciência está sempre disposta a ressuscitar ou reconsiderar uma ideia se tal for justificado pela emergência de nova [evidência](#).



Portanto, não é de espantar que a avaliação de ideias científicas seja um processo iterativo e que esteja dependente de interações dentro da comunidade científica. Ideias [aceites](#) pela comunidade fornecem a melhor explicação presentemente disponível para a forma como o [mundo natural](#) funciona. Mas o que faz com que uma ideia seja melhor do que outra? Como podemos julgar o rigor de uma explicação? Os fatores mais importantes relacionam-se com a evidência — até que ponto as nossas observações estão de acordo com as [expectativas](#) geradas pela [hipótese](#) ou [teoria](#)? Quanto maior for o acordo entre ambas, maior será a probabilidade da hipótese ou teoria estar correta.

- **Os cientistas tendem a confiar mais nas ideias que fornecem as explicações mais precisas para as nossas observações do mundo natural.** Por exemplo, a teoria da relatividade geral explica as pequenas variações observadas na órbita de Mercúrio cada vez que este completa uma volta em torno do Sol (Mercúrio encontra-se suficientemente perto do Sol para passar pela zona onde o espaço-tempo é significativamente distorcido pela massa solar). A mecânica newtoniana, por outro lado, sugere que a aberração na órbita de Mercúrio deveria ser muito menor do que o valor observado na prática. Por consequência, a

relatividade geral fornece uma explicação mais rigorosa das ligeiras variações observadas da órbita de Mercúrio do que a mecânica newtoniana.



A órbita de Mercúrio varia ligeiramente cada vez que este completa uma volta em torno do Sol, um facto que pode ser explicado pela teoria da relatividade geral.

- **Os cientistas tendem a confiar mais nas ideias que fornecem uma explicação para um conjunto variado de observações.** Por exemplo, durante os séculos XVII e XVIII muitos cientistas ficaram desconcertados com a presença de fósseis marinhos nos Alpes Europeus. Alguns propuseram um dilúvio colossal para justificar a sua presença, mas tal hipótese não explicava o facto de todos estes fósseis pertencerem a espécies animais extintas. Outros cientistas sugeriam que o nível dos oceanos tinha oscilado várias vezes no passado, mas esta hipótese não explicava a altura das montanhas. Porém, a teoria da tectónica de placas ajudou a explicar estas observações díspares (montanhas elevadas, a elevação de pedaços do fundo oceânico, e rochas tão antigas que continham os fósseis de espécies animais há muito extintas), e muitas mais, incluindo a localização de vulcões e sismos, a forma dos continentes, e a presença de fendas enormes no fundo dos oceanos.
- **Os cientistas tendem a confiar mais nas ideias que fornecem uma explicação para observações até então inexplicáveis, desconhecidas, ou inesperadas.** Por exemplo, veja a história do Rudolph Marcus em baixo ...

ELETRÕES SALTITANTES!

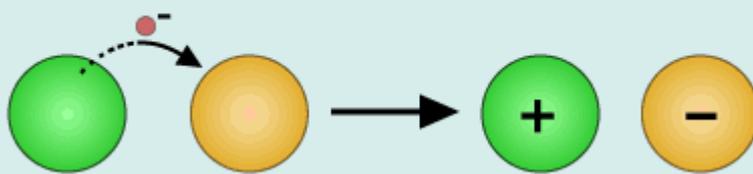
No mundo das reações químicas, as transferências eletrónicas parecem à primeira vista ter um papel bastante secundário: este tipo de eletrões salta entre moléculas sem quebrar uma única ligação química. No entanto, estas reações são essenciais para a vida. A fotossíntese, por exemplo, depende em fazer passar eletrões de uma molécula para outra, deste modo



Rudolph Marcus

transferindo a energia obtida através de exposição à luz solar, energia que pode ser usada posteriormente pela célula. Algumas destas reações ocorrem a velocidades vertiginosas, enquanto que outras são incrivelmente lentas — mas como podem duas reações, ambas envolvendo uma única transferência eletrónica, ter velocidades tão díspares?

Transferência eletrônica: um elétron salta de uma molécula para outra.



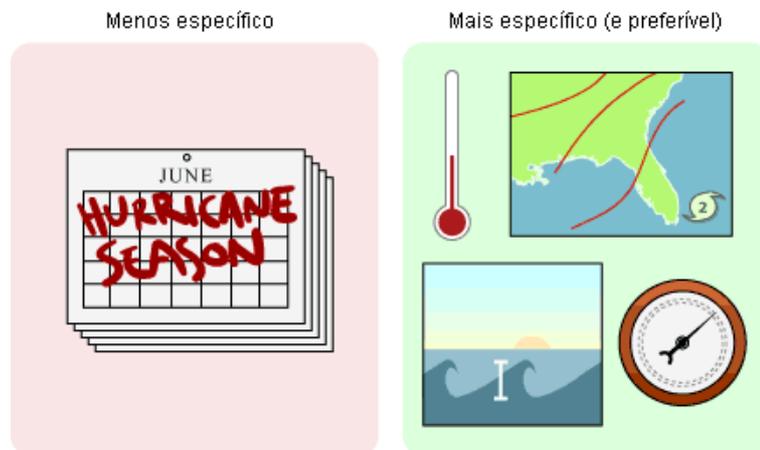
Durante os anos 50, Rudolph Marcus e os seus colegas desenvolveram uma explicação matemática simples para a taxa de variação de uma reação, baseada na quantidade de energia absorvida ou emitida pelo sistema. A explicação mostrou estar de acordo com as observações feitas na prática, mas gerou também uma expectativa contraintuitiva — a de que algumas reações que libertam imensa energia deveriam ocorrer a velocidades surpreendentemente baixas, e que deveriam abrandar ainda mais à medida que a emissão de energia aumentava. Seria como sugerir que, na maior parte das pistas de esqui, uma inclinação mais acentuada implicaria uma maior velocidade mas, nas pistas extremamente inclinadas, os esquiadores deslizam lentamente pela encosta abaixo! Esta expectativa, gerada pela ideia proposta por Marcus, era inteiramente inesperada. No entanto, 25 anos mais tarde, experiências confirmaram esta surpreendente expectativa, dando suporte à ideia e o Prémio Nobel a Marcus.

O que sucede quando a ciência não consegue produzir imediatamente a evidência relevante para testar uma ideia? A ausência de evidência não significa evidência de ausência. A ciência não rejeita uma ideia apenas porque a evidência relevante para a testar não se encontra imediatamente acessível. Por vezes, é necessário esperar por um acontecimento (por exemplo, o próximo eclipse solar), aguardar que uma descoberta-chave seja feita (por exemplo, fósseis de baleias no deserto do Paquistão), ou desenvolver uma nova tecnologia (por exemplo, um telescópio mais poderoso) e, até que se atinja essa etapa, temos que suspender o nosso julgamento sobre a validade da ideia.

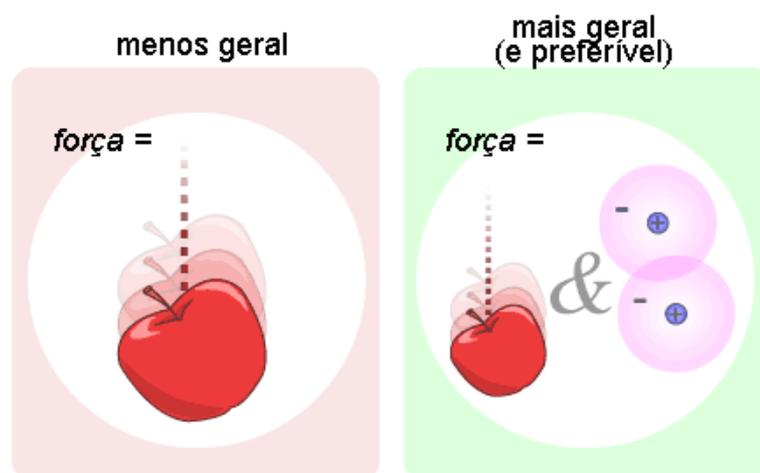
Ideias em competição: Outras considerações

Durante a avaliação de uma ideia científica, a evidência é que decide. Porém, por vezes a evidência disponível dá suporte em igual medida a hipóteses ou teorias diferentes. Neste tipo de situações, a ciência emprega frequentemente outros critérios na avaliação de potenciais explicações. Apesar de serem apenas regras gerais (e não padrões bem estabelecidos), os cientistas tendem normalmente a confiar mais em ideias que:

- **geram expectativas mais específicas (ou seja, são mais testáveis)**. Por exemplo, uma hipótese sobre a formação de furacões que gere expectativas específicas sobre as condições que levam a uma maior propensão para o eclodir deste fenómeno, poderá ser preferível a uma hipótese que apenas sugere a época do ano em que os furacões deverão ser mais frequentes.

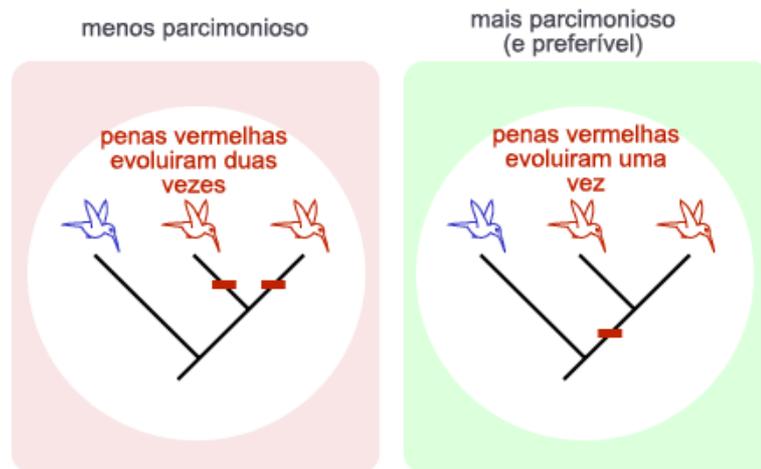


- **podem ser utilizadas num maior número de situações**. Por exemplo, uma teoria sobre a natureza da força que tenha aplicação quer ao nível das interações macroscópicas (por exemplo, a força gravitacional que a Terra exerce sobre uma maçã), quer ao nível das interações subatómicas (por exemplo, entre prótons e eletrões), poderá ser preferível a uma teoria cujo uso se restringe às interações entre objetos de grande dimensão.



- **são mais parcimoniosas**. Por exemplo, uma hipótese sobre a relação evolucionária entre

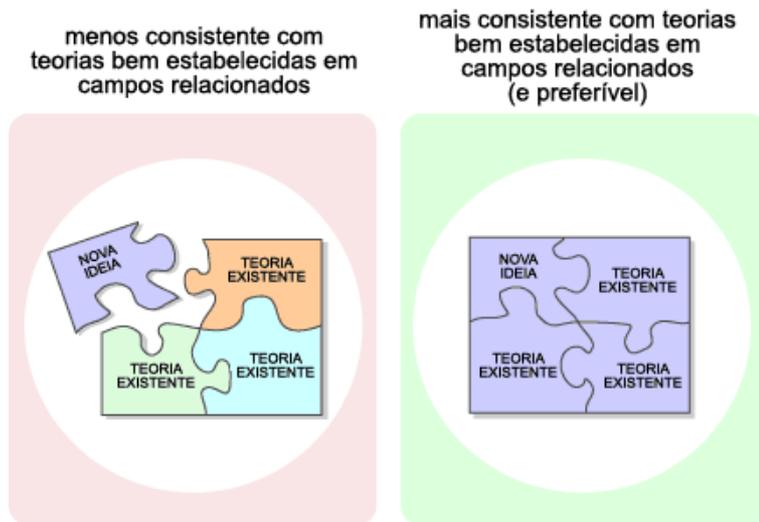
espécies de colibris que requeira apenas 70 passos evolucionários, poderá ser preferível a uma que postule 200 passos.



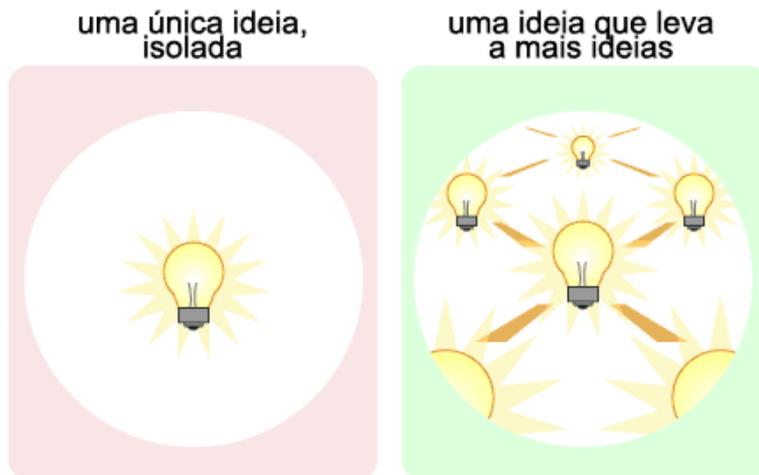
O PRINCÍPIO DA PARCIMÓNIA

O princípio da parcimónia sugere que, dadas duas explicações igualmente satisfatórias para o mesmo conjunto de [observações](#), uma explicação mais simples deve ser preferida a uma mais complexa e rebuscada. Como ilustração hipotética deste princípio, imagine que temos apenas algumas [linhas de evidência](#) num caso de uma jarra de biscoitos surripiada: uma jarra de biscoitos quebrada e vazia, um trilho de migalhas rumo à casota do cãozinho, e a dor de barriga do Fido. Talvez o Fido tenha roubado os biscoitos, ou talvez tudo tenha sido uma tramaio: o papagaio derrubou a jarra que estava na mesa e comeu os biscoitos, o gato fez o trilho de migalhas até à porta da casota, e o Fido tem dores de barriga porque esteve a vasculhar no caixote do lixo do vizinho. Ambas as explicações estão de acordo com a evidência disponível — mas qual delas é mais parcimoniosa?

- **são mais consistentes com teorias bem estabelecidas em campos vizinhos.** Por exemplo, uma das principais objeções levantadas contra a teoria da evolução, quando esta foi inicialmente proposta por Darwin, consistia no facto de a teoria não se encaixar com o que então se sabia sobre a idade do nosso planeta. Os físicos tinham estimado que a Terra teria apenas 100 milhões de anos, um período de tempo considerado insuficiente para explicar a diversidade da vida no nosso planeta se esta se devesse apenas a um processo evolutivo. Porém, à medida que o nosso conhecimento de geologia e física foi progredindo, a idade da Terra foi estimada com maior rigor como sendo na ordem de vários milhares de milhões de anos — uma perspetiva que se enquadra perfeitamente com a ideia de que toda a vida na Terra de desenvolveu a partir de um antepassado comum.



- **geram um maior número de novas ideias.** Por exemplo, a biologia evolutiva não só ajuda a compreender a história da vida na Terra, mas gera também ideias úteis que podem ser aplicadas em outros campos — especialmente nas áreas da medicina, agricultura e conservação. A capacidade que a ideia da evolução tem para gerar ideias poderosas em muitos outros campos reforça o seu valor como teoria.



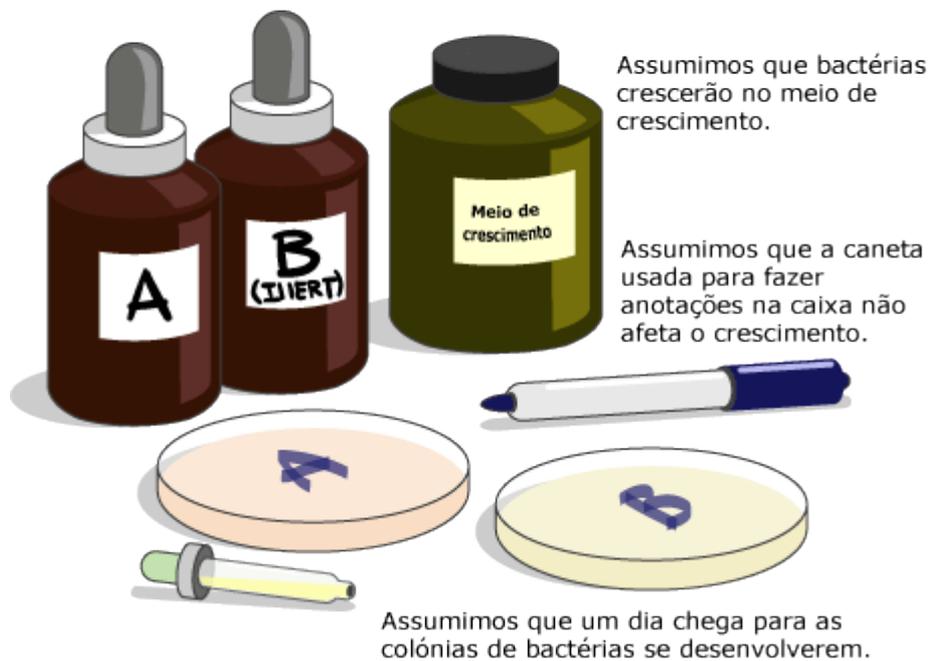
Tudo isto pode parecer complexo, mas o importante é ter em mente alguns conceitos básicos. Estes critérios são apenas guias de orientação que nos permitem identificar ideias que funcionam — ideias que estão de acordo com a evidência, geram novas expectativas, inspiram novas pesquisas, e parecem dar uma explicação precisa de como o mundo funciona!

Fazendo suposições

Por mais que queiramos evitar, *todos* os [testes](#) científicos requerem que se façam [suposições](#) — muitas das quais justificadas. Por exemplo, imagine um teste muito simples em que tentamos investigar a [hipótese](#) de que a substância A impede o crescimento bacteriano. Colocamos a substância A em caixas de Petri juntamente com um meio de cultura bacteriano, enquanto que num segundo conjunto de caixas pomos o meio de cultura bacteriano e uma substância inerte B. Seguidamente colocamos bactérias em todos as caixas de Petri e, um dia mais tarde, examinamos as caixas para averiguar quais estimularam o crescimento de colónias de bactérias, e quais não o fizeram. O teste é bastante simples, mas baseia-se em várias suposições: nós supomos que as bactérias podem crescer no meio de cultura usado, supomos que a substância B não afeta o crescimento bacteriano, supomos que um dia é um período suficientemente longo para fazer crescer uma colónia, e assumimos que a cor do marcador que usamos para identificar externamente as caixas não influencia o crescimento das bactérias.

Mesmo uma experiência relativamente simples baseia-se nalgumas suposições:

Assumimos que a substância B não afeta o crescimento.



Tecnicamente, isto são tudo suposições, mas suposições perfeitamente razoáveis e que podem ser testadas. Uma cientista que execute a [experiência](#) acima descrita justificaria muitas das suas suposições através de um conjunto adicional de testes, feitos em paralelo com a experiência principal. Por exemplo, ela testaria separadamente se a substância B afeta o crescimento bacteriano, de modo a confirmar que esta substância é de facto inerte, tal como assumiu. Algumas suposições são justificadas por testes efetuados anteriormente por outros cientistas. Por exemplo, a questão de as bactérias crescerem ou não no meio de cultura escolhido teria já sido estudada por muitos investigadores no passado. E algumas suposições podem não ter sido testadas simplesmente porque todo o nosso conhecimento nesse campo sugere que esta é uma suposição que podemos fazer com confiança. Por exemplo, não estamos a par de nenhuma razão que nos leve a pensar que as bactérias deveriam crescer mais depressa quando as caixas são identificadas usando um marcador vermelho

em vez de, digamos, um marcador verde. Todos os testes envolvem suposições, mas a maior parte delas são suposições que podem ser verificadas separadamente.

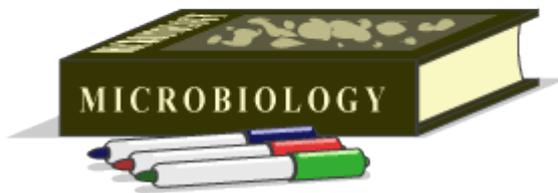
Verifique as suposições:



Verifica-se que a substância B é inerte com uma experiência diferente.



Trabalho anterior mostrou que o meio de crescimento permite o crescimento de bactérias.

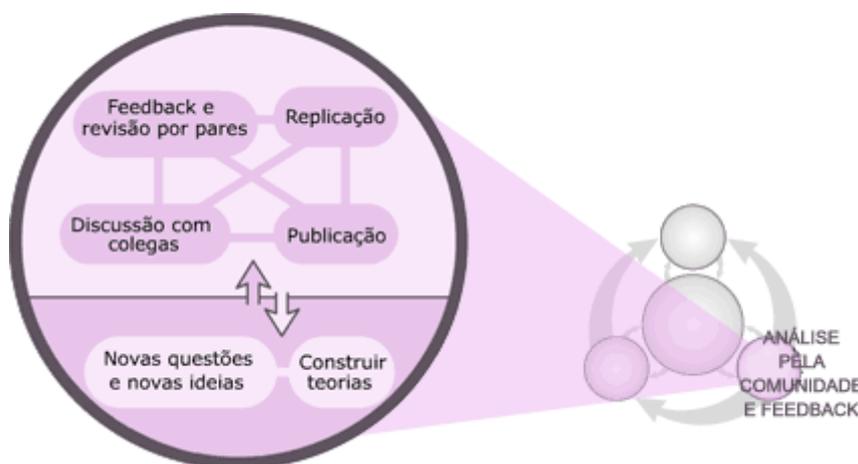


O conhecimento existente sobre crescimento de bactérias não sugere nenhuma razão para pensar que as anotações feitas no exterior da caixa têm influência no resultado.

Porém, quando avaliamos uma ideia à luz dos resultados de um teste, é importante ter em mente a lista de suposições por detrás do teste, e o quão bem fundamentadas estas são. Se os resultados de um teste não dão o suporte que se esperava a uma [expetativa](#) gerada por uma ideia, tal pode dever-se à ideia estar errada, mas também pode acontecer a ideia estar correta, e que foi uma das suposições feitas durante o teste que foi violada. E se os resultados do teste acabam por dar suporte à ideia, talvez a ideia esteja correta e deva ser [aceite](#), ou pode acontecer que uma das suposições, feitas durante o teste, tenha sido violada, produzindo um falso resultado positivo.

Análise pela comunidade científica

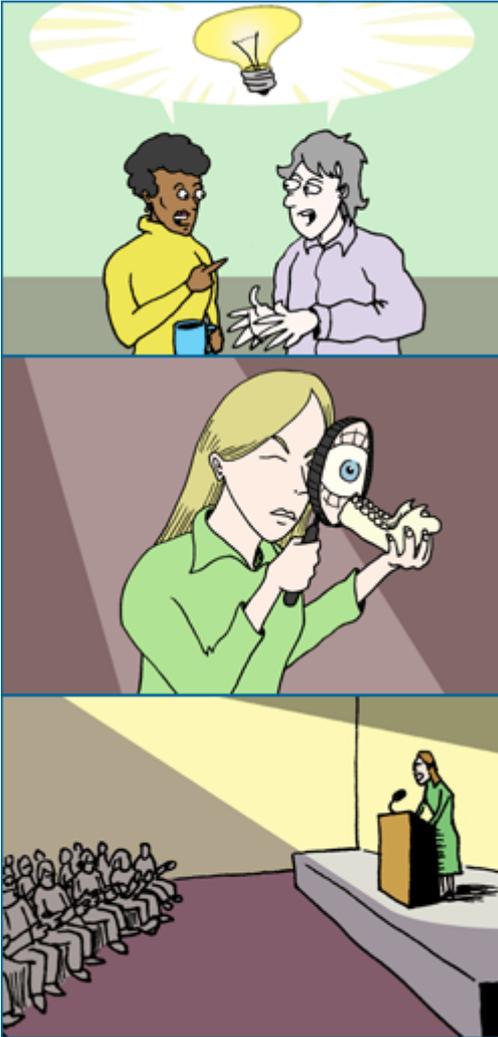
O estereótipo normalmente associado aos cientistas (reclusos que falam de forma confusa num jargão técnico) não corresponde exatamente à imagem de pessoas cujo trabalho depende de constante comunicação e de uma comunidade. Mas, de facto, interações dentro da comunidade científica são uma componente essencial do processo da [ciência](#). Os cientistas não trabalham em isolamento. Se bem que por vezes trabalhem sozinhos (às voltas com uma [experiência](#) no laboratório, caminhando através da Amazónia, ou tirando notas à secretária), os cientistas podem da mesma forma ser vistos a escrever emails aos seus colegas, debatendo com outros cientistas durante uma pausa para o café, participando em reuniões no laboratório, ou preparando uma apresentação para uma [conferência](#) e artigos para serem publicados em [revistas](#) científicas. No campo da ciência, até aqueles poucos que trabalham completamente sozinhos devem por fim partilhar o seu trabalho, de modo a que este se torne parte do acervo permanente do conhecimento científico.



Em termos do processo da ciência, os membros da comunidade têm diversas funções essenciais e que requerem envolvimento direto:



Controlador de [factos](#)/crítico: a comunidade faz a avaliação de [evidência](#) e ideias. O escrutínio realizado pela comunidade científica ajuda a assegurar que a evidência vai ao encontro dos mais altos padrões de qualidade, que todas as [linhas de evidência](#) relevantes são exploradas, e que os juízos emitidos são baseados em raciocínios lógicos e coerentes.



Inovador/visionário: a comunidade gera novas ideias. Interações dentro de uma comunidade diversa e criativa dá origem a novas ideias acerca de novas linhas de evidência, novas interpretações de [dados](#) existentes, novas aplicações, novas questões e explicações alternativas — todas elas contribuindo para o avanço da ciência.

Vigilante/delator: através do seu olhar atento, a comunidade ajuda a eliminar fraude e a falta de imparcialidade. Ainda que atos de fraude sejam raros e a falta de imparcialidade seja frequentemente involuntária, os casos que envolvem este tipo de ofensa são detetados através do escrutínio e trabalho continuado da comunidade científica.

Motivador/supervisor: a comunidade encoraja e motiva os cientistas. A comunidade oferece perspetivas de reconhecimento, estima, e um legado científico — benefícios que ajudam a motivar os cientistas nas suas pesquisas.

Interações dentro da comunidade científica, e o escrutínio que daí advém, são atividades que requerem tempo e podem abrandar o processo da ciência. Contudo, estas interações são fundamentais, pois contribuem para assegurar que a ciência nos fornece descrições cada vez mais precisas e úteis de como o mundo funciona.

Publicar ou perecer?

No mundo universitário, a máxima "publicar ou perecer" (ou seja ou publicas pesquisa científica ou corres o risco de perder o emprego) é uma chamada de atenção para a importância de se publicar. Apesar do ar de cinismo, esta frase salienta um aspeto importante: a publicação de resultados, [hipóteses](#), [teorias](#), bem como os raciocínios e a [evidência](#) necessários para os avaliar, constituem uma parte crítica necessária ao progresso da [ciência](#). Para desempenhar as suas funções como controlador de factos, visionário, delator e motivador, a comunidade científica necessita de ter acesso a informação fidedigna sobre o trabalho dos membros que a compõem. Os cientistas dão a conhecer as suas ideias de várias maneiras — comunicando informalmente com colegas, fazendo apresentações em [conferências](#), escrevendo livros, etc. — mas, entre os diversos modos de comunicar, é dado especial relevo a artigos publicados em [revistas científicas](#) com [revisão por pares](#).



O que encontramos num artigo científico?

Um artigo científico é uma versão mais elaborada, mais formal, do típico relatório de laboratório que se faz no liceu. Num artigo científico, os cientistas (normalmente um grupo de colaboradores) descrevem um estudo e relatam todos os detalhes necessários para o avaliar — informação de fundo, [dados](#), resultados estatísticos, gráficos, mapas, esclarecimentos de como o estudo foi efetuado e o modo como os investigadores chegaram às conclusões, etc. Estes artigos são publicados em revistas científicas, em formato impresso ou em versão eletrónica na internet. A versão impressa assemelha-se a uma revista comum, exceto que se encontra cheia a abarrotar de relatos de investigação científica em primeira mão. As revistas científicas distribuem informação aos investigadores de todo o mundo, de modo a que estes se mantenham ao corrente do que se passa no seu campo e possam avaliar o trabalho dos seus pares.

Os artigos publicados nestas revistas são uma versão clara e ordenada do processo científico, apresentando ideias, evidência e raciocínios de uma maneira fácil de compreender — em contraste com o frequentemente sinuoso (e por vezes fastidioso) processo da ciência. Como exemplo ilustrativo, leia em baixo a história de Walter Alvarez ...

DESLINDANDO UM ENREDO TORTUOSO



Walter Alvarez

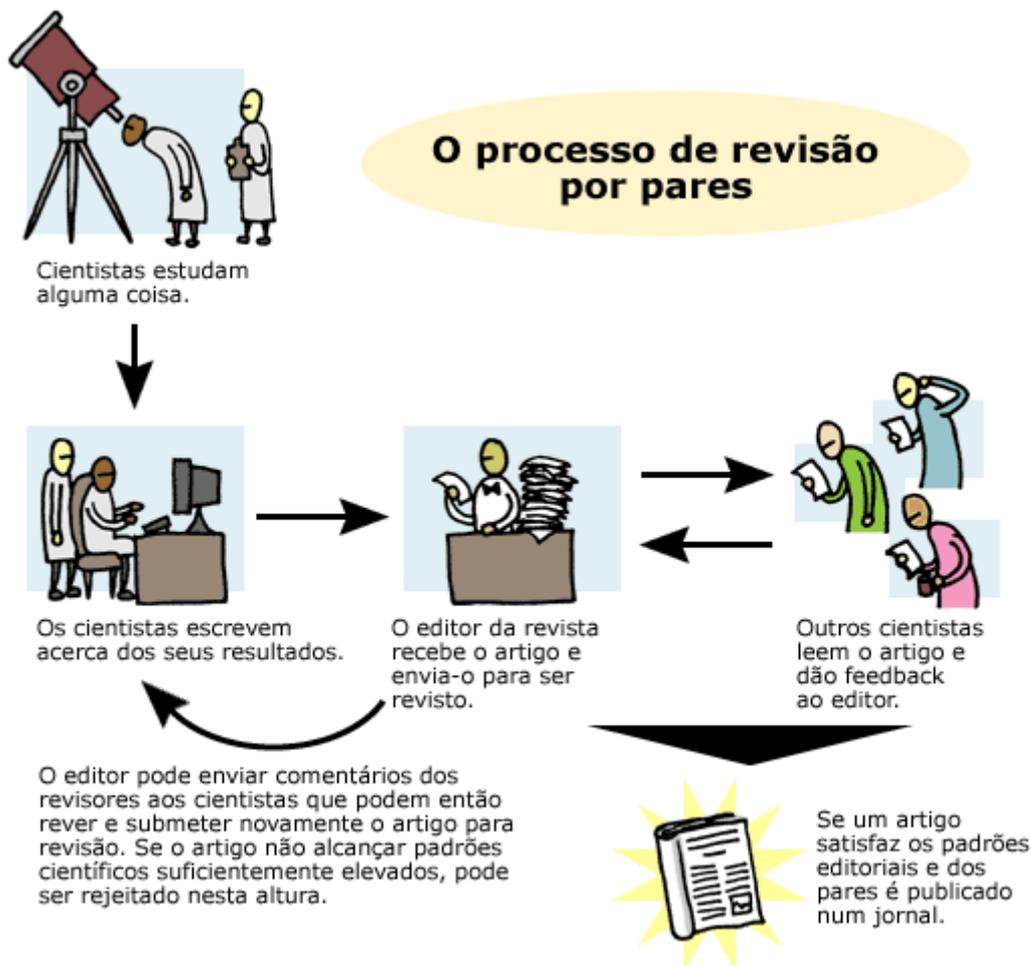
Em 1980, Walter Alvarez e os seus colegas publicaram um artigo científico na revista *Science*, onde apresentavam a sua nova e controversa hipótese: propunham que a extinção dos dinossauros se teria devido ao impacto de um asteroide de grandes dimensões com a Terra. Apesar do carácter inédito e bombástico do tema abordado, o artigo apresentava as suas hipóteses e evidência de forma convencional —

seguindo uma estrutura linear — permitindo a colegas no campo da geologia e paleontologia compreender e avaliar rapidamente a pesquisa levada a cabo por Alvarez e os seus colaboradores. Ainda que útil para a comunicação de resultados científicos, esta apresentação linear pode dar a impressão que a investigação foi planificada desta forma desde o início — mas, na realidade, o estudo levado a cabo por Alvarez foi tudo menos linear. Ele chegou à sua hipótese de forma totalmente acidental, pois inicialmente tinha-se proposto estudar os movimentos tectónicos da península Italiana. Depois de uma intrigante série de voltas e reviravoltas, falsas partidas, momentos de inspiração e hipóteses rejeitadas, Alvarez e os seus colegas aperceberam-se que tinham em mãos uma investigação muito diferente, mas ainda mais empolgante da que tinham empreendido inicialmente.

Escrutinando a ciência: Revisão por pares

A revisão por pares faz pela ciência o mesmo que o autocolante "inspecionado por ..." faz pela sua t-shirt: oferece garantia que alguém que sabe o que está a fazer verificou a sua qualidade. No campo da ciência, a revisão por pares normalmente funciona da seguinte forma:

1. Um grupo de cientistas termina um estudo e escreve um relatório em forma de artigo. Seguidamente, submetem-no a uma revista científica para publicação.
2. Os editores da revista científica remetem o artigo a vários cientistas que trabalham no mesmo campo (ou seja, os "pares" na revisão por pares).
3. Estes revisores fazem a avaliação do artigo, fornecendo ao editor uma opinião sobre se o estudo possui o nível de qualidade necessário para ser publicado.
4. Os autores podem depois rever o seu artigo, e submetê-lo novamente para apreciação.
5. São aceites para publicação apenas os artigos que possuem um alto nível científico (por exemplo, reconhecem e baseiam-se em trabalho efetuado previamente na área, apoiam-se em raciocínios lógicos e estudos bem concebidos, suportam as suas asserções através do uso de evidência, etc.).



A revisão por pares e a publicação são processos que requerem tempo, sendo frequente passar mais de um ano entre a submissão inicial e o momento da publicação. O processo também é altamente

seletivo. Por exemplo, a respeitada revista *Science* aceita para publicação menos de 8% dos artigos que recebe, e *The New England Journal of Medicine* publica apenas 6% dos artigos submetidos.

Artigos publicados através da revisão por pares constituem uma forma fidedigna de comunicação científica. Mesmo que alguém não se encontre familiarizado com o tópico ou com os autores de um determinado estudo, a revisão por pares garante que este satisfaz certos padrões de qualidade científica. Dado que o conhecimento científico é cumulativo e cresce sobre si próprio, esta confiança revela-se particularmente importante. Nenhum cientista deseja basear o seu trabalho em estudos de qualidade duvidosa efetuados por outras pessoas! Estudos publicados através da revisão por pares não são necessariamente corretos ou conclusivos, mas satisfazem os níveis de qualidade exigidos pela ciência. E tal significa que, se um trabalho de investigação científica passa pelo processo de revisão por pares e é publicado, a ciência tem de lidar com ele de algum modo — talvez incorporando-o no acervo permanente de conhecimentos científicos, talvez continuando a desenvolver as ideias propostas, ou tentando perceber porque estão erradas, ou tentando [replicar](#) os resultados publicados.

REVISÃO POR PARES: PARA ALÉM DAS CIÊNCIAS

Para além das ciências, muitos outros campos fazem uso da revisão por pares de modo a garantir níveis de qualidade. Por exemplo, revistas na área da filosofia tomam decisões sobre o que publicar com base em revisões realizadas por outros filósofos, e processos idênticos são observados na publicação de revistas académicas em campos como direito, arte e ética. Até áreas fora do campo da investigação académica, recorrem muitas vezes a variantes da revisão por pares. Nos campeonatos de patinagem artística no gelo, os juízes são frequentemente ex-patinadores e treinadores. Vinhos em competição podem ser avaliados por vinicultores. Artistas podem ajudar na avaliação de obras de arte em concurso. Em conclusão, ainda que a revisão por pares seja um traço distintivo da ciência, o seu uso não se restringe a este domínio.

Imitadores na ciência: O papel da replicação

Os cientistas desejam que os resultados dos seus estudos sejam **replicáveis** — de modo a que, por exemplo, uma **experiência** que **teste** ideias sobre a atração entre elétrons e prótons, forneça os mesmos resultados quando realizada em laboratórios diferentes. Da mesma forma, dois investigadores que estudem o mesmo osso de dinossauro usando métodos semelhantes, deverão chegar às mesmas conclusões no que respeita à sua composição e dimensões. Almejar à replicabilidade faz sentido. Com efeito, a **ciência** tem por objetivo descobrir as regras imutáveis que regem o universo, e essas mesmas regras aplicam-se 24 horas por dia, sete dias por semana, da Suécia a Saturno, independentemente de quem as estiver a estudar. Se uma descoberta não pode ser replicada, tal sugere que a nossa compreensão atual do sistema estudado, ou os métodos usados para testar estas ideias, são insuficientes.

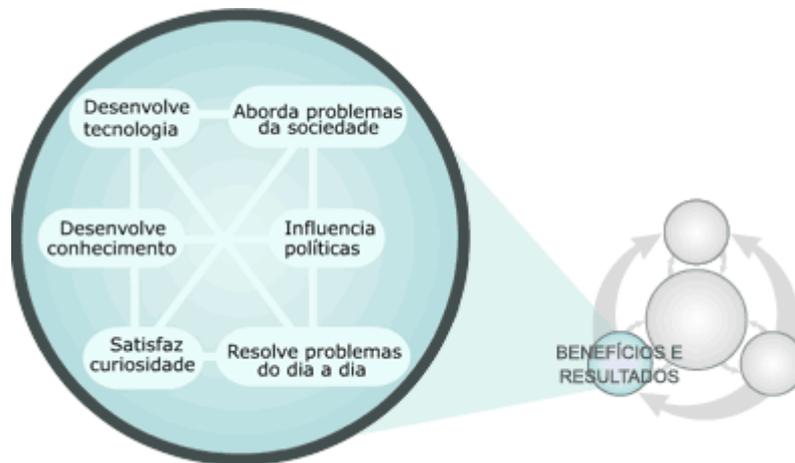


Mas quer isto dizer que os cientistas estão constantemente a repetir estudos que outros cientistas já tinham feito? Não, claro que não — porque desta forma não se chegaria a lado nenhum. O processo da ciência não requer que *todas* as experiências e *todos* os estudos sejam novamente efetuados. Mas muitos são-no, especialmente aqueles que produzem resultados surpreendentes ou particularmente importantes. Em algumas áreas, é procedimento normal que os cientistas repliquem os seus próprios resultados antes de os submeter para publicação, de modo a terem a certeza que estes não se devem ao acaso ou a fatores fora da conceção experimental.

A necessidade e importância da replicabilidade é parte da razão pela qual os artigos científicos quase sempre incluem uma secção sobre *metodologia*, a qual descreve exatamente a forma como os investigadores efetuaram o estudo. Esta informação permite a outros cientistas replicar o estudo e avaliar a sua qualidade, desde modo ajudando a assegurar que situações de fraude ou trabalho científico descuidado são detetadas e corrigidas.

Benefícios da ciência

O processo da [ciência](#) é uma forma de acumular conhecimentos sobre o universo — construindo novas ideias que nos ajudam a compreender o mundo à nossa volta. Estas ideias são inerentemente provisórias mas, à medida que passam pelo processo da ciência uma e outra vez, e são [testadas](#) e reavaliadas de diferentes maneiras, aumenta o grau de confiança que nelas temos. Além disso, através deste mesmo processo iterativo, as ideias são modificadas, expandidas e re combinadas em explicações cada vez mais poderosas. Por exemplo, [observações](#) iniciais dos padrões hereditários das ervilhas de jardim puderam — ao longo de muitos anos e através do trabalho de muitos cientistas — levar ao vasto conhecimento que hoje possuímos no campo da genética. Por conseguinte, apesar do processo da ciência ser iterativo, tal não quer dizer que uma ideia esteja para ali a rodopiar continuamente. Em vez disso, este processo é usado de modo ativo para construir e integrar conhecimento científico.



E este conhecimento é útil para toda uma série de coisas: desde o planeamento de pontes à mitigação das mudanças climáticas, passando por sugestões como a de lavar as mãos frequentemente durante o período do ano em que a gripe ataca. O conhecimento científico ajuda-nos a desenvolver novas [tecnologias](#), a resolver problemas de ordem prática, e a tomar decisões informadas — quer individualmente, quer coletivamente. Como os produtos criados através do processo da ciência são de grande utilidade, este processo encontra-se intimamente ligado a essas aplicações:

- **Novo conhecimento científico pode levar a novas aplicações.**

Por exemplo, a descoberta da estrutura do ADN foi um desenvolvimento fundamental no campo da biologia. Criou a base de linhas de investigação que, eventualmente, levaram a uma ampla variedade de aplicações práticas, incluindo a tecnologia associada às impressões digitais genéticas, plantas geneticamente modificadas, e testes usados no rastreio de doenças genéticas.



- **Novos avanços tecnológicos podem levar a novas descobertas científicas.**

Por exemplo, o desenvolvimento de tecnologias que permitem a cópia e sequenciação de ADN levou a desenvolvimentos importantes em muitos ramos da biologia, especialmente na reconstrução das relações evolucionárias entre organismos.



- **Aplicações potenciais podem motivar novas pesquisas científicas.**

Por exemplo, a possibilidade de criar bactérias geneticamente modificadas, para a produção económica de fármacos de ponta a usar no combate ao paludismo, motivou um pesquisador a continuar os seus estudos na área da biologia sintética.



O processo da ciência e você

Este fluxograma representa o processo formal da ciência mas, de facto, muitos aspetos deste processo são relevantes para toda a gente e podem ser usados na vida do dia-a-dia — mesmo que você não seja um cientista amador ou profissional. Obviamente, alguns elementos do processo aplicam-se na realidade apenas no campo da ciência propriamente dita (por exemplo, publicação, ou feedback por parte da comunidade científica), mas outros podem ser facilmente aplicáveis em situações que encontramos todos os dias (por exemplo, levantar questões, recolher evidência, resolver problemas de ordem prática). Uma compreensão do processo da ciência pode ajudar qualquer pessoa a desenvolver uma perspetiva científica da vida.

A ciência em múltiplos níveis

O processo da [ciência](#) funciona em múltiplos níveis — cobrindo escalas que vão do diminuto (por exemplo, a comparação dos genes de três espécies de borboletas da América do Norte relacionadas entre si) ao grande e vasto (por exemplo, uma série de investigações ao longo de cinquenta anos sobre a ideia de que o isolamento geográfico de uma população pode levar à especiação). O processo da ciência funciona essencialmente da mesma forma, quer seja implementado por um cientista individual a trabalhar numa questão, problema ou [hipótese](#) específica, durante o curso de alguns meses ou anos, ou por uma comunidade de cientistas que entram de acordo sobre um conjunto de linhas gerais a seguir durante dezenas de anos e cobrindo centenas de estudos e [experiências](#) individuais. O mesmo se passa com as explicações científicas, cujos níveis de alcance podem ser bastante distintos:

Hipóteses

Hipóteses são explicações propostas para um conjunto restrito de fenómenos. São explicações muito bem fundamentadas — não são palpites, especulações ou conjeturas. Quando os cientistas formulam novas hipóteses, estas são normalmente baseadas em experiências anteriores, conhecimento científico prévio, [observações](#) preliminares, e lógica. Por exemplo, os cientistas observaram que as borboletas alpinas exibem características intermédias entre duas outras espécies que vivem a uma altitude mais baixa. Com base nestas observações, e o conhecimento adquirido sobre especiação, os cientistas propuseram a hipótese de que esta espécie de borboleta alpina é um híbrido das duas espécies que vivem a baixa altitude.



Teorias

[Teorias](#), por outro lado, são explicações gerais para uma ampla gama de fenómenos. As teorias são concisas (ou seja, geralmente não incluem uma longa lista de exceções ou regras especiais), coerentes, sistemáticas, preditivas, e amplamente aplicáveis. De facto, as teorias frequentemente integram e generalizam um largo número de hipóteses. Por exemplo, a teoria da seleção natural aplica-se grosso modo a qualquer tipo de população caracterizada por uma qualquer forma de processo hereditário, variação, e sucesso reprodutivo diferenciado — quer esta população seja composta por borboletas alpinas, moscas da fruta numa ilha tropical, uma nova forma de vida em Marte, ou até os bits na memória de um computador. Esta teoria ajuda a compreender um leque variado de observações (desde o aumento verificado no número de bactérias resistentes a antibióticos, ao ajuste físico entre polinizadores e as suas flores preferidas), prevê o que sucederá em novas situações, (por exemplo, que o uso de um cocktail de fármacos, no tratamento de doentes com SIDA, deveria abrandar a evolução do vírus), e deu provas de validade vezes sem conta em milhares de experiências e estudos empíricos.



"APENAS" UMA TEORIA?

Ocasionalmente, ideias científicas (como a evolução biológica) são descartadas com o comentário depreciativo: "é apenas uma teoria". Esta insinuação é enganadora e mistura dois significados distintos do termo *teoria*: no seu uso comum, a palavra teoria significa apenas um pressentimento ou palpite mas, no campo da ciência, as teorias são explicações poderosas para uma ampla gama de fenômenos. De modo a ser aceite pela comunidade científica, uma teoria (no sentido científico do termo) deve ser solidamente secundada por muitas [linhas de evidência](#) diferentes. Por conseguinte, a evolução biológica é uma teoria (é uma explicação poderosa, bem fundamentada e amplamente aceite, para a diversidade da vida na Terra), mas não é "apenas" uma teoria.

Palavras cujo significado no dia-a-dia difere do seu significado técnico causam frequentemente confusão. Por vezes, até os cientistas usam a palavra *teoria* quando o que eles realmente querem dizer é hipótese, ou até mesmo palpite. Muitos ramos técnicos têm problemas semelhantes — por exemplo, os termos *trabalho* na física e *ego* na psicologia, têm significados específicos dentro das respetivas áreas técnicas, que diferem do seu uso comum. Contudo, o contexto e alguns rudimentos científicos é tudo o que é geralmente necessário para compreender qual dos significados é o pretendido.

Teorias abrangentes

Algumas teorias, as quais chamaremos de [teorias abrangentes](#), são particularmente importantes e refletem uma compreensão alargada de determinada parte do [mundo natural](#). A teoria da evolução, a teoria atômica, a gravidade, a mecânica quântica e a tectónica de placas, são exemplos de teorias abrangentes. Estas teorias receberam amplo suporte por parte de múltiplas linhas de evidência, e ajudam a estruturar a nossa compreensão do mundo que nos circunda.

As teorias abrangentes abarcam muitas teorias e hipóteses subordinadas e, conseqüentemente, alterações destas teorias e hipóteses subalternas implicam um refinamento (e não a rejeição) da teoria abrangente. Por exemplo, quando o equilíbrio pontuado foi proposto para a forma como o processo evolutivo ocorre, e se encontrou [evidência](#) em suporte desta ideia em algumas situações, tal representou um reforço da teoria da evolução, e não a sua rejeição. As teorias abrangentes são muito importantes porque ajudam os cientistas a escolher os seus métodos de estudo e modos de

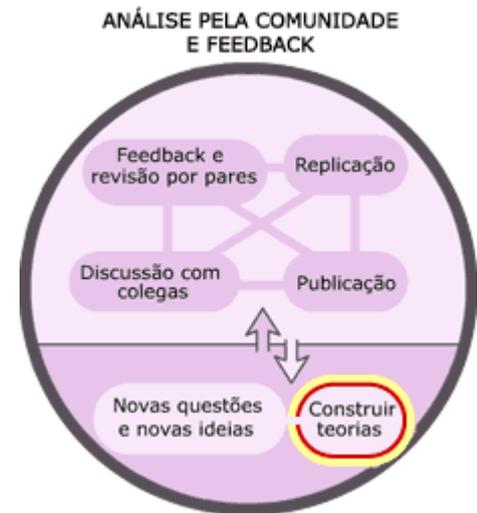
raciocinar, combinam fenómenos importantes de forma inédita, e abrem novas áreas de estudo. Por exemplo, a teoria da evolução chamou a atenção para um conjunto totalmente novo de questões a explorar: Como evoluiu determinada característica? Como é que estas espécies se relacionam umas com as outras? Como mudou a vida ao longo dos tempos?



UMA EXPLICAÇÃO MODELO

Hipóteses e teorias podem ser complexas. Por exemplo, uma determinada hipótese acerca de interações meteorológicas ou reações nucleares pode ser tão complexa que a melhor forma de a descrever é através de um programa de computador ou de uma longa equação matemática. Neste tipo de situações, é frequente usar o termo *modelo* quando nos referimos à hipótese ou teoria.

A alteração de uma teoria é um processo comunitário que envolve feedback, [experiências](#), observações e comunicação. Normalmente, tal requer que [dados](#) existentes sejam interpretados de forma diferente, e que se dê corpo a esta nova perspectiva com novos resultados. Pode ser que uma experiência ou observação definitiva seja necessária para mudar a opinião das pessoas, ou pode ser que, através de muitos estudos independentes, o peso da evidência acabe eventualmente por fazer pender a balança a favor da nova teoria. Este processo pode levar algum tempo, dado que os cientistas nem sempre reconhecem imediatamente uma boa ideia, mas por fim a explicação científica que se revelar mais correta acabará por prevalecer. O processo que leva à alteração de uma teoria envolve frequentemente verdadeiras controvérsias científicas — o que é saudável — leva a investigações adicionais, e contribui para o avanço da ciência. Uma verdadeira controvérsia científica envolve falta de acordo sobre a forma como certos dados devem ser interpretados, sobre quais ideias recebem um suporte mais robusto por parte da evidência disponível, e sobre o tipo de ideias que vale a pena explorar mais profundamente.



Resumindo o processo

Nesta secção vimos que o verdadeiro processo da [ciência](#) tem pouco a ver com O Método Científico normalmente descrito nos compêndios escolares. Contrariamente à formulação tipo simples receita, associada a um método científico linear, o *verdadeiro* processo da ciência é excitante, iterativo, não linear, subtil, depende da comunidade científica, e está intimamente ligado à sociedade em geral. O *verdadeiro* processo da ciência acontece em múltiplos níveis e examina muitas ideias, retendo e desenvolvendo-se sobre as que demonstram ser úteis. Porém, e apesar de todos estes requisitos, a essência do processo — testar ideias através de [evidência](#) obtida no [mundo natural](#) — é fácil de compreender.

