

ESTUDO DA BIOLOGIA

BAKER & ALLEN

TRADUÇÃO DO ORIGINAL POR Efried KIRCHNER
ADAPTADO POR Ramon Lamar OLIVEIRA JUNIOR
e Renato Ferreira ANDRADE

CAPÍTULO 3

A NATUREZA E A LÓGICA DA CIÊNCIA

3.1 INTRODUÇÃO

Em primeiro lugar, a Biologia é uma ciência, o biólogo um cientista. A ciência pode ser distinguida de outros campos da realização intelectual por dois aspectos principais. Obviamente, difere em seu conteúdo - o tipo de conhecimento organizado com o qual se relaciona. Diferença ainda mais importante, porém, reside nos *métodos* da ciência - sua forma de abordagem dos problemas. A ciência trata exclusivamente de hipóteses racionais que possam ser comprovadas ou invalidadas pela observação ou pela experimentação. Nas palavras de Roger Bacon (1210-1292), "*a ciência experimental tem uma grande prerrogativa... a de que investiga suas conclusões pela experiência*".

Diz-se freqüentemente que a ciência consiste em coletar e organizar fatos. Esse é, no entanto, apenas um dos aspectos da ciência. Muito mais importante é o que o cientista faz com os fatos de que dispõe. A forma pela qual o cientista estabelece conclusões, faz generalizações e comprova previsões, constitui a **metodologia da ciência**. De modo geral, é útil fazer distinção entre conteúdo e processo, em ciência. O **conteúdo científico** é o assunto-objeto da ciência - as generalizações que a comunidade científica pode reconhecer como válidas. Os conceitos corporificados nas leis de Mendel, os conceitos da seleção natural e mutação - estes representam o conteúdo científico. Os métodos pelos quais se obtiveram tais conceitos - pela experimentação, observações, ou racionalizações a partir de outros exemplos - representam o **procedimento científico**.

O número de cientistas nos Estados Unidos em 1900 era de aproximadamente 8000. Em 1960 o número era superior a 100000. Hoje, só nos Estados Unidos, existem 800.000 cientistas fazendo pesquisas em empresas. Homem algum pode viver nos dias atuais e não estar a par do tremendo impacto que esse desenvolvimento da ciência e o desenvolvimento conseqüente da tecnologia, tiveram sobre o mundo, tanto para o bem como para o mal. A influência da ciência disseminou-se até mesmo às artes. Por exemplo, a famosa equação de "Sir" Isaac Newton: $F \propto m_1 m_2 / s^2$, que diz simplesmente que a força gravitacional (F) entre dois corpos é proporcional (α) ao produto de suas massas ($m_1 m_2$) dividida pelo quadrado da distância (s^2) entre seus centros de gravidade, influenciou o poeta Francis Thompson (1859-1907) a escrever:

*Quando a estes teus olhos de hoje,
Todas as coisas,
Próximas ou longínquas,
Por uma força suprema,
Imperceptivelmente
Entre si vinculadas estão
Que sequer uma flor podes tocar,
Sem uma estrela perturbar.*

Johan Wolfgang von Goethe (1749-1832) escreveu:

*Na natureza jamais vemos coisa alguma isolada, mas tudo sempre em conexão com algo que lhe está
diante, ao lado, abaixo ou acima.*

Ciência é a disciplina que tenta classificar essas conexões e estabelecer alguma ordem entre elas. Nem mesmo o detalhe aparentemente mais insignificante pode ser desprezado, pois, como vê o físico "Sir" George Thomson,

*Constitui a maior descoberta feita pela ciência que o aparentemente trivial, o meramente curioso, podem ser
as pistas para a elucidação dos mais profundos princípios da Natureza.*

Mas também não é a natureza de assuntos triviais ou não-triviais com os quais lida a ciência, que justifica o espantoso impacto da ciência sobre a sociedade; é, ao invés, a maneira pela qual o cientista aborda esses assuntos. É para essa "maneira" que se precisa, agora, voltar a atenção.

3.2. O "MÉTODO CIENTÍFICO"

O conceito popular de "homem a caminho", aplicado ao cientista e seus métodos, é falho. Segundo esse conceito, o cientista é um homem dotado de recursos secretos para obter conhecimentos que beneficiem a humanidade. O fato de que as explicações aventadas por cientistas-investigadores podem tão frequentemente estar certas como erradas, e que nem todas as suas descobertas beneficiam diretamente o homem (na realidade, muitas parecem ser completamente inúteis), não é amplamente conhecido. Isso possivelmente se deve ao fato de que às suposições errôneas não se dá muita publicidade, e as suposições corretas que não beneficiam diretamente o homem, atraem menos a atenção pública.

Mesmo entre cientistas, porém, há discordância quanto ao que se quer dizer com "método científico". Alguns livros-textos científicos relacionam uma série de cinco ou sete etapas envolvidas no método científico. Descrições tão formais e altamente estruturadas como essas são bastante irrealísticas. Nenhum cientista-pesquisador segue qualquer desses rituais formalizados ao realizar suas experiências.

Alguns autores, porém, foram ao extremo oposto em suas descrições da metodologia científica. Um assevera que *"ciência é simplesmente fazer o que mais nos importa, pelo nosso cérebro e sem peias"*. Esse ponto de vista tem um atributo positivo. Indica corretamente que o meio utilizado pelos cientistas na solução de problemas não são necessariamente exclusivos da ciência. Como definição do método científico, porém, não é particularmente feliz. Explorado à sua conclusão lógica, indica que filósofos, mecânicos, matemáticos, encanadores ou qualquer pessoa que trabalhe diligentemente na solução de problemas também são cientistas. Seguramente, não é esse o caso.

A ciência se faz pela postulação e comprovação de hipóteses. **Hipóteses** são simplesmente explicações tentativas aventadas com relação a fenômenos observados.

Tomemos um exemplo específico:

*O salmão prateado, **Oncorhynchus kisutch**, desova nas correntes de água doce do noroeste norte-americano banhado pelo Pacífico. Os peixes jovens nadam rio abaixo até o Oceano Pacífico, onde podem viver por até cinco anos, quando atingem porte adulto e maturidade sexual. Nessa ocasião, em resposta a algum estímulo indeterminado, retornam à água doce para a desova. Pela marcação dos peixes, descobriu-se um fato notável. Quase sempre, os peixes retornam precisamente à corrente onde nasceram.*

Eis aqui um fenômeno conhecido, que desperta curiosidade. *Como* conseguem os peixes localizar exatamente o curso de água onde nasceram? Isso não constitui tarefa fácil. Alguns dos peixes precisam nadar contra a corrente, superando quedas de água elevadas, e penetrar pelo continente até o Estado de Idaho para retornar ao seu local de nascimento.

Faz-se necessária uma hipótese para explicar esse fenômeno. Em certo sentido, uma hipótese é simplesmente uma "suposição educada". Nesse caso, a hipótese provavelmente será baseada em observações pertinentes sobre o salmão e seus hábitos. Talvez os peixes encontrem o caminho de volta ao seu local de origem pelo reconhecimento de certos objetos que viram quando jovens, ao descerem o rio, rumo ao oceano. Ou talvez reconheçam o "sabor" ou o "odor" dos respectivos cursos de água de seu nascimento. Várias outras hipóteses seriam possíveis, naturalmente, mas fiquemos com essas duas. E daí?

Parar por aqui, obviamente, depois de meramente formular hipóteses, não é muito satisfatório. É natural que se deseje descobrir qual das duas hipóteses é correta (se é que uma delas o é). O cientista, em sua procura da resposta, começa por programar e realizar experiências. *O objetivo primário principal da experimentação científica é testar hipóteses.* Portanto, qualquer hipótese selecionada por um cientista para explicar um fenômeno natural deve satisfazer a um requisito muito importante: *deve ser testável.*

Ambas as hipóteses que selecionamos para explicar o comportamento de "volta ao lar" do salmão, satisfazem a essa exigência; podem ser comprovadas pela experimentação. Mas de que forma experiências comprovam hipóteses? A resposta é bastante simples. *As experiências testam hipóteses pela verificação da correção das conclusões que das mesmas se inferem.*

Considere, por exemplo, a primeira hipótese, que explicava a capacidade do salmão encontrar seu rio de origem unicamente em base ao reconhecimento visual. Se essa hipótese estiver correta, o salmão que tiver os olhos vendados (placas sobrepostas aos olhos), não será capaz de reencontrar o caminho "de casa". Esse raciocínio pode ser expresso de modo mais formal como segue:

Hipótese: SE...	o salmão <i>Oncorhynchus kisutch</i> utiliza unicamente estímulos visuais para encontrar o caminho de volta ao rio de origem para desovar...
Predição: ENTÃO...	os salmões dessa espécie, de olhos vendados, não conseguiriam encontrar o caminho "de casa".

Suponhamos que o peixe de olhos vendados encontre o caminho tão bem como o fazia antes. Se supusermos que nenhum outro fator (ou variável) tenha sido omitido que pudesse haver influído sobre os resultados, poderíamos afirmar que os resultados experimentais invalidam nossa hipótese? Sim. Suponhamos, de outro lado, que o peixe de olhos vendados não encontrou o caminho. Provariam esses resultados a hipótese do estímulo visual? Não. Só se poderia dizer que os resultados experimentais apóiam a hipótese.

Isso dá margem a uma questão interessante. Por que deveria ser possível invalidar uma hipótese em face de um conjunto de resultados experimentais negativos e, no entanto, não se conseguir provar a mesma hipótese pela obtenção do conjunto de resultados previstos? A resposta está na natureza da relação entre hipóteses e conclusões que delas possam ser derivadas. Essa relação, que é apresentada na "tabela da verdade" da Fig. 3.1, forma a estrutura básica para as operações da **lógica dedutiva**.

HIPÓTESE	CONCLUSÃO OU PREDIÇÃO
VERDADEIRA (correta)	VERDADEIRA
FALSA (incorreta)	VERDADEIRA ou FALSA

Figura 3.1. Esta "tabela da verdade" mostra a relação entre uma hipótese e suas conclusões. Observa que uma predição válida tanto pode se derivar de uma hipótese falsa como de uma hipótese verdadeira. Assim, predições válidas não constituem prova de validade de uma hipótese

A lógica dedutiva (frequentemente denominada de raciocínio se/então) constitui a alma e o coração da matemática. Faz-se mais evidente na geometria plana, por exemplo "Se dois pontos de uma reta estão em um plano, então a reta está no mesmo plano". Entretanto, a dedução tem papel não menos importante em outros campos da matemática também, como por exemplo, "se $a < b$ e $x \leq y$, então $a + x < b + y$ " (a lei da adição) ou "se $x < y$ e $a > 0$, então $ax < ay$ " (a lei da multiplicação).

Em ciência, e na Biologia portanto, a dedução é tão vital como o é na matemática. Todavia, há diferenças importantes na forma em que a dedução é utilizada na matemática e a forma em que é empregada na ciência experimental. Os matemáticos geralmente manipulam símbolos. Não se preocupam com entidades físicas tais como um salmão migratório. Além disso, o matemático pode manipular seus símbolos à vontade. Em suas comprovações, pode criar situações que lhe assegurem que somente uma hipótese está sendo testada, somente uma pergunta está sendo feita. O biólogo não. O salmão que ele está estudando não pode ser manipulado com a mesma facilidade. Portanto, o biólogo nunca pode estar absolutamente certo de que sua experiência eliminou todas as variáveis passíveis de influir nos resultados. Ao vender-se os olhos do salmão, por exemplo, poderia fazer com que os mesmos utilizassem outro sistema sensorial para encontrar o "caminho de casa". Talvez, normalmente, eles utilizem os olhos para achar o caminho de volta. Tal possibilidade parece ser muito remota e extremamente improvável. No caso do salmão, graças a outros resultados experimentais, sabemos que provavelmente o é. Mas a possibilidade de que tais fatos são possíveis, mesmo remotamente, precisa estar sempre presente na mente do biólogo.

Um importante problema da pesquisa biológica, então, converte-se também em problema de planejamento experimental. O biólogo reconhece a impossibilidade de eliminar todas as variáveis que podem afetar seus resultados experimentais, mas tenta programar suas experiências de modo a reduzir a probabilidade de ocorrência de tais variáveis (veja a Fig. 3.2.)

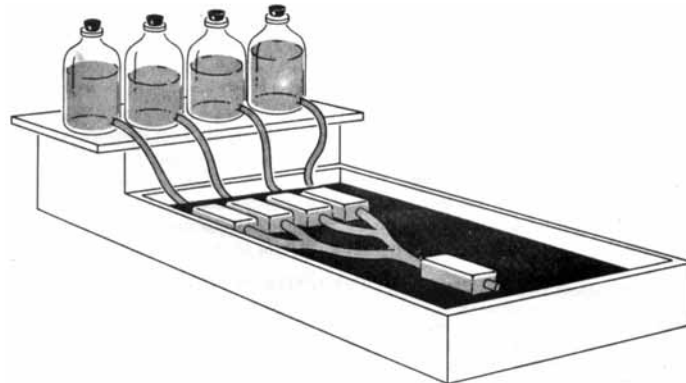


Figura 3.2. Sempre que possível, o biólogo tenta construir aparelhos experimentais que lhe permitam investigar suas hipóteses no laboratório, em vez de o fazer no campo. Dessa maneira, as variáveis que poderiam influir sobre seus resultados podem ser mais facilmente controladas. Este aparelho testa a capacidade de enguias jovens em detectar diminutas quantidades de substâncias dissolvidas na água. O objetivo do experimento é descobrir se essas substâncias influem sobre a capacidade instintiva das enguias de encontrarem o caminho de volta do mar dos Sargaços onde nasceram, às correntes de água doce nas quais passam a maior parte de sua vida. Nessa experiência, demonstrou-se que as enguias não tinham preferência por água de torneira ou água do mar mas preferiam, definitivamente, água continental natural à água do mar. Conseguiram perceber, na água, certas substâncias orgânicas mesmo diluídas a até 3×10^{-20} partes por milhão. Isso significa que as enguias devem reagir à presença de apenas duas ou três moléculas de tais substâncias em seus sacos olfatórios

Examine outra vez, a tabela da verdade na Fig. 3.1. Observe que a palavra "conclusão", como é utilizada pelo matemático, é intercambiável com a palavra "predição" utilizada pelo biólogo, pois as predições que podem ser inferidas de uma hipótese são simplesmente as conclusões que se podem tirar ao aceitá-la. No caso do salmão, deve ser concluído (ou predito) que o salmão de olhos vendados não poderá encontrar o caminho de volta se a hipótese do estímulo visual for aceita como correta. Se os salmões vendados conseguem encontrar o caminho de volta, nossa conclusão mostrou-se falsa. Em outras palavras, as predições estabelecidas a partir de uma hipótese verdadeira não deveriam jamais conduzir a contradições.

A tabela da verdade mostra também que nunca conseguimos provar que uma hipótese é verdadeira. Pois, se uma hipótese verdadeira sempre dá origem a previsões verdadeiras, uma hipótese falsa também pode fazê-lo. A importância deste último fato não pode ser enfatizada demais, pois demonstra que a ciência só pode tratar as suas "verdades" em termos de probabilidades e nunca em termos de certeza.

No passado, muitas hipóteses falsas eram mantidas tanto por cientistas como por leigos, simplesmente porque se podiam estabelecer predições acuradas a partir dessas hipóteses, apesar de sua falsidade. A aceitação da idéia de que o Sol gira em torno da Terra conduziria à predição de que o Sol surgirá em um dos horizontes, cruzará o céu e se porá no horizonte oposto... e assim o Sol o faz. O fato de que

essa predição acaba por demonstrar-se correta não quer, naturalmente, dizer o Sol gire ao redor da Terra. Para se demonstrar que essa hipótese é falsa, é preciso programar outras provas que demonstrem que ela conduz a predições falsas.

Embora a tabela da verdade mostre que uma hipótese verdadeira nunca dá origem a uma conclusão (predição) falsa, somente na matemática é que a obtenção de uma única conclusão falsa determina a anulação total da hipótese. Os biólogos raramente tratam de casos em que todas as predições derivadas de uma hipótese se demonstrem corretas. A questão converte-se então, em quantas ou que proporção, dentro de um dado número de predições, precisam ser verificadas para estabelecer a correção da hipótese. Por essa razão, os dados experimentais são freqüentemente submetidos a **análise estatística**, na qual se emprega a matemática para determinar se os desvios do padrão predito pela hipótese são significativos.

Vamos voltar mais uma vez ao problema da explicação do comportamento do salmão e experimentar a segunda hipótese, que propõe que o peixe encontra o caminho de volta ao curso de água de origem pelo seu sentido de olfato. Essa hipótese pode encontrar suporte na análise química da água em vários rios diferentes. Tal análise demonstra que a água de cada curso é um pouco diferente em relação à dos demais, primariamente devido à presença de diversos tipos e quantidades de minerais dissolvidos.

Podemos, então, prosseguir na comprovação experimental dessa segunda hipótese, testando a validade de uma predição que pode ser estabelecida a partir da mesma:

Hipótese: SE...	o salmão <i>Oncorhynchus kisutch</i> encontra o caminho de volta ao seu rio de origem seguindo seu odor peculiar rio acima...
Predição: ENTÃO...	o bloqueio dos sacos olfatórios (com os quais os peixes detectam odores) deveria impedir o salmão de encontrar o caminho de volta.

Essa experiência foi realizada pelo Dr. A. D. Hasler e seus colaboradores, da Universidade de Wisconsin. Os resultados proporcionaram valioso suporte à hipótese do odor; a grande maioria dos peixes não conseguiu encontrar o caminho de volta ao curso de origem, para a desova. Não obstante, alguns peixes o conseguiram. Cada elemento que o conseguiu, representa uma predição falsa que, segundo a tabela da verdade, invalida a hipótese. Mas é preciso, nesse caso, tomar em consideração as leis da probabilidade. A análise estatística mostra que se poderia esperar que certo número de peixes acabaria encontrando o caminho de volta puramente por acaso. Como o número de peixes experimentais que conseguiram não foi significativamente maior do que o número previsto dos que o conseguiriam por acaso, a hipótese de odor pode, ainda, ser considerada válida.

Tomemos um segundo exemplo de experimentação em Biologia, para ilustrar outro aspecto relativo à interpretação de resultados experimentais: foi demonstrado muitas vezes que a exposição de certas linhagens de camundongos à irradiação por raio X, de 600 roentgens ou mais (roentgen é uma unidade de medida da quantidade de energia liberada pelos raios X), leva-os à morte em duas semanas ou menos. A morte parece ser devida mais a efeitos secundários do que aos efeitos primários da irradiação. Mas desconhece-se exatamente qual é a causa principal de morte em qualquer momento, especialmente no período de um a cinco dias após a exposição. Supôs-se que a morte poderia, possivelmente, decorrer de infecção bacteriana resultante de uma migração das bactérias através da mucosa intestinal, cujo exame histológico demonstrava que havia sido severamente lesada pelos raios X. A fim de testar essa hipótese, administraram-se antibióticos de vários tipos, e por diversas vias, aos camundongos irradiados para ver se isso teria qualquer efeito na sobrevivência. Não se demonstrou tal efeito, porém, pois os camundongos morriam nos mesmos períodos de tempo que os animais-controle, irradiados sob condições idênticas mas não tratados por antibióticos. Concluiu-se, tentativamente, então, que a morte no período testado (de uma a cinco dias após a irradiação) não era devida à infecção bacteriana.

Observe aqui o raciocínio dedutivo, se/então. A lógica experimental pode ser expressa simplesmente como segue:

Hipótese: SE...	as mortes dos camundongos irradiados, dentro de um a cinco dias após a exposição, são devidas a infecção bacteriana...
Predição: ENTÃO...	a administração de antibióticos deveria reduzir a taxa de mortalidade dos camundongos tratados.

Os resultados experimentais mostram que a predição é falsa. Os camundongos morriam após períodos de tempo iguais, após exposição aos raios X. Sabemos assim, excluindo erros experimentais, que a hipótese que explicava as mortes como devidas a infecção bacteriana também era falsa e, portanto, precisa ser descartada ou modificada.

Suponhamos que a administração de antibióticos determinou sobrevivência mais prolongada. Teria isso mostrado que nossa hipótese deve ser a explicação correta? Absolutamente não, embora esse resultado tivesse emprestado forte apoio à probabilidade da mesma estar correta.

Poder-se-ia afirmar que a morte por irradiação em animais não é devida a infecções bacterianas? Não, pois a palavra "animais" inclui muito mais formas de vida do que camundongos unicamente. Poder-se-ia dizer que a morte por irradiação em camundongos não é devida a infecções bacterianas? Não, pois não se testaram todas as linhagens de camundongos existentes. Ao redigir os resultados de suas experiências para publicação em revista científica, o biólogo formulará com cuidado suas interpretações, limitando-as unicamente às linhagens de camundongo testadas e ao período de tempo em que se verificou a morte (de um a cinco dias após a exposição).

Apesar das restrições com que geralmente se interpretam os resultados experimentais, é freqüente, por parte dos biólogos, a extrapolação, de seus resultados experimentais de um organismo para outro. As drogas medicinais modernas, por exemplo, são em geral ensaiadas primeiramente em animais de laboratório; se seu emprego der bons resultados, poderá ser estendido aos seres humanos. Mas há sempre um elemento de incerteza envolvido. Nem todos os organismos reagem necessariamente da mesma maneira às mesmas drogas... "O pão de um homem, é veneno para outro".

3.3. LÓGICA INDUTIVA

Todas as generalizações importantes da biologia (Teoria Celular, Leis de Mendel, Teoria da Evolução, por exemplo) estão baseadas em observações e/ou experimentação desenvolvidas, em muitos casos, durante considerável número de anos. O conceito de célula, as idéias mendelianas de hereditariedade e a teoria de Darwin da seleção natural são generalizações inferidas a partir da observação de muitos organismos diferentes. São **generalizações indutivas**, a que se chegou através de um processo de **lógica indutiva**.

A lógica indutiva envolve o estabelecimento de uma conclusão provável, com base em numerosos casos particulares. Suponhamos, por exemplo, que uma pessoa prove uma maçã verde e a ache azeda. Prove uma segunda maçã verde; também é azeda. Uma terceira e quarta maçãs verdes, quando provadas, deram o mesmo resultado. A partir dessas observações individuais isoladas, pode-se tirar uma conclusão geral: "todas as maçãs verdes são azedas". A lógica indutiva envolve, portanto, um processo que parte do específico para o geral. Nesse caso, envolve ir-se de observações específicas realizadas sobre quatro maçãs verdes, à conclusão geral sobre todas as maçãs verdes. A lógica indutiva constitui, pois, o oposto da lógica dedutiva, pois vai do geral para o específico.

Embora a lógica indutiva e dedutiva representem dois tipos diversos de processos de raciocínio, os cientistas não tendem a pensar exclusivamente de uma ou de outra forma em ocasiões diferentes. Na solução de problemas científico há uma constante interação de raciocínio indutivo e raciocínio dedutivo. Consideremos outra vez a generalização "todas as maçãs verdes são azedas". Depois de provar a primeira maçã, a pessoa poderia concluir que só essa maçã em particular era azeda. Mas depois de provar a segunda, poderia concluir imediatamente que toda maçã verde é azeda. Isso seria apressar conclusões. Em termos mais precisos, seria estabelecer uma generalização indutiva com base em apenas duas observações. A partir dessa generalização, porém, pode-se estabelecer uma previsão:

SE todas as maçãs verdes são azedas...

ENTÃO a próxima maçã verde será azeda.

Um teste rápido confirma essa previsão. Isso, por sua vez, empresta apoio à generalização indutiva inicial. Na solução de um problema vemos, portanto, uma interação constante entre o raciocínio dedutivo e o indutivo.

O exemplo que acabamos de dar, evidencia que quanto mais numerosas forem as observações realizadas, mais fidedignas serão as generalizações indutivas que delas se pode inferir. Uma generalização indutiva baseada em duas únicas observações tem menos probabilidade de ser correta do que uma baseada em dez ou cem observações. Não obstante, as generalizações indutivas nunca logram certeza absoluta. Só atingem elevados graus de probabilidade. O grau de certeza conseguido depende tanto do número como da qualidade das informações utilizadas na inferência da generalização. Há algumas variedades de maçã, por exemplo, que são verdes mas doces. Se o provador de maçãs do exemplo anterior viesse a encontrar esse tipo de maçãs, teria que modificar sua generalização inicial: "Todas as maçãs verdes são azedas, exceto as da variedade X".

A experiência seguinte ilustra a interação das lógicas indutiva e dedutiva que ocorre frequentemente na ciência. O experimento foi planejado para responder à pergunta sobre a forma pela qual surgem mutações nos organismos vivos. Durante muitos anos, postulavam os biólogos que as mutações eram deflagradas no interior do organismo por alterações específicas em seu meio ambiente. Outros biólogos discordavam. Sentiram que as mutações ocorriam inteiramente ao acaso e eram bastante independentes de influências ambientais. O conflito existente entre esses pontos de vista pode ser expresso na forma de uma pergunta: surgem as mutações espontaneamente, por si só, ou decorrem de influências ambientais? Em 1943, utilizando bactérias como seu organismo experimental, os geneticistas Luria e Delbrück realizaram uma experiência que trouxe algum esclarecimento a essa questão.

As bactérias são parasitáveis por certos vírus chamados **bacteriófagos**. A Fig. 3.3 mostra uma fotomicrografia eletrônica de vários desses bacteriófagos (ou fago). Se se deixar uma cultura bacteriana em crescimento por vários dias expondo-a depois aos fagos, a maioria das células morrerá. Mas algumas poderão sobreviver. Esses sobreviventes constituem variedades "resistentes". Essa resistência é transmitida aos seus descendentes; resulta, portanto, de uma mutação genética.

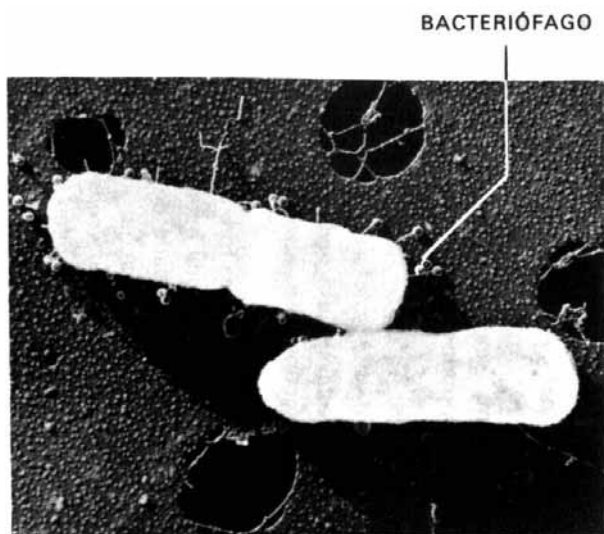


Figura 3.3. A célula bacteriana ao alto mostra vários bacteriófagos ligados a ela. Algumas bactérias, porém, são imunes a esses vírus. Luria e Dellbrück fizeram uma experiência para determinar se a mutação que produzia imunidade se dava ao acaso ou se se devia a exposição aos fagos (veja discussão no texto).

Em base a tais informações, pode-se formular duas hipóteses de trabalho:

1. A resistência a fagos surge nas bactérias por mutação espontânea. Tais bactérias mutantes aparecerão quer seja ou não a cultura exposta a fagos. Na ausência do agente seletor (os fagos), as células resistentes simplesmente não são detectadas entre as enormes massas de células bacterianas não-mutantes. Quando se introduz os fagos, porém, somente as formas mutantes sobrevivem e se reproduzem.
2. A resistência é estimulada a aparecer em algumas das bactérias em consequência do contato entre estas últimas e os fagos. As bactérias respondem a essa mudança no ambiente (ou seja, à introdução dos fagos), mutando para sobreviver. As bactérias que assim não respondem são destruídas.

Em outras palavras, a segunda hipótese assevera que a presença dos fagos é o agente causal da mutação e que mutantes resistentes aos fagos só aparecem depois que as bactérias entraram em contato com os fagos. Pelo contrário, mantém a primeira hipótese que os mutantes estão presentes o tempo todo mas simplesmente não são detectáveis até que se introduza os fagos.

Para comprovar a primeira hipótese, Luria e Delbrück prepararam uma série de culturas bacterianas da mesma espécie. Cada cultura foi estabelecida a partir de um pequeno grupo de células bacterianas. Todas as culturas bacterianas foram expostas simultaneamente aos fagos e o número de células resistentes, ou sobreviventes, foi contado.

Os pesquisadores raciocinaram da seguinte forma.

Hipótese I: SE... as mutações ocorrem espontaneamente...

Predição: ENTÃO... o número de células resistentes nas várias placas de cultura deve ser bastante diferente.

Se, por exemplo, a mutação ocorrer precocemente, quando a cultura em desenvolvimento ainda contém poucas células, a célula mutante se multiplicará, deixando descendência mais numerosa, portadora da mutação. Na ocasião em que os fagos são introduzidos na cultura, pode haver muitas bactérias resistentes presentes. De outro lado, se a mutação se der imediatamente antes da introdução dos fagos, haverá poucas células resistentes presentes. As leis da probabilidade prevêem que haveria considerável variação no número de células sobreviventes por placa de unidade de cultura.

Hipótese II: SE... as mutações ocorrem em resposta à presença de fagos...

Predição: ENTÃO... o número de células resistentes por placa de cultura deveria ser bastante uniforme.

Como cada placa de cultura contém aproximadamente o mesmo número de bactérias e o número de fagos introduzidos em cada caso é sempre o mesmo, prevê a hipótese II que o número de mutantes deveria ser mais ou menos o mesmo em, todas as unidades culturais.

Os resultados dessa experiência (Fig. 3.4) mostram que a variação no número de células sobreviventes por unidade de cultura é bastante grande. Algumas culturas apresentam somente duas ou três colônias sobreviventes, enquanto outras têm doze, quinze ou mais. Os resultados experimentais confirmam a previsão da hipótese I. Pode-se, pois, dizer que essa hipótese encontrou apoio. Os resultados contradizem a previsão da hipótese II. Portanto, fazendo-se abstração do erro experimental, pode-se dizer que a hipótese II não foi aprovada. As mutações dão-se ao acaso e são inteiramente independentes de modificações ambientais que lhes poderia conferir valor seletivo. Observe que a experiência de Luria e Delbrück pode ser considerada como teste simultâneo para ambas as hipóteses. Como as previsões derivadas das hipóteses I e II são contraditórias, os resultados servem de suporte a apenas uma delas. Um experimento desse tipo é denominado **experimento vital**.

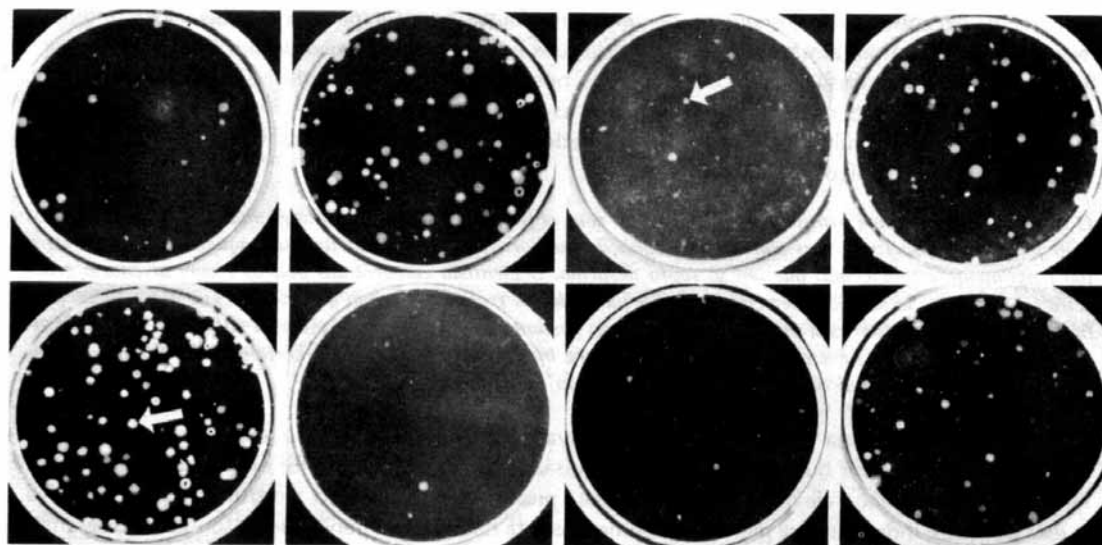
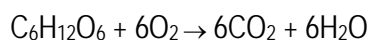


Figura 3.4. A variação ao acaso no número de colônias, obtida nos experimentos de Luria e Dellbrück, suportam claramente a hipótese de que as mutações ocorrem espontaneamente e ao acaso.

No caso que acabamos de discutir, os resultados experimentais puseram por terra um conceito até então amplamente aceito. Na maioria das vezes, entretanto, os resultados não são tão dramáticos. Muito mais freqüentemente, os resultados experimentais apenas consubstanciam hipóteses já bem estabelecidas ou levam a modificações insignificantes das mesmas. Por exemplo, experiências individuais sobre a fisiologia respiratória de uma árvore, um homem, uma andorinha, um sapo e um peixe poderão revelar que a glicose, açúcar simples, é oxidada quando há liberação de energia. Ao mesmo tempo, o oxigênio é consumido e água e dióxido de carbono são liberados como resíduos. À vista disso, poder-se-ia propor uma hipótese I: "a energia de que os organismos necessitam é obtida pela oxidação da glicose pelo oxigênio". Em forma resumida, podemos escrever a equação balanceada como segue:



Se não se fizerem pesquisas complementares, a hipótese I poderá atingir condição de teoria ou lei plenamente desenvolvida. Mas investigações realizadas em células de outros organismos, como das leveduras por exemplo, revelaram que essas células podem utilizar a energia da glicose na ausência do oxigênio. Outro agente oxidante (ácido pirúvico) é utilizado. Assim, nossa hipótese I original precisa ser reformulada: "a energia de que necessitam os organismos é obtida da glicose pela ação de algum agente oxidante". E a descoberta de que alguns organismos utilizam substâncias diferentes da glicose como sua fonte de energia levou a nova modificação da hipótese I: "A energia de que necessitam os organismos é obtida a partir de substâncias ricamente energéticas, pela oxidação dessas substâncias".

Assim, de cada nova descoberta decorrem modificações de hipóteses estabelecidas anteriormente. Não se põe fora a maçã toda; remove-se suas porções estragadas. Devido a numerosas modificações e adições, nossas atuais hipóteses sobre a fisiologia respiratória em nível celular são consideravelmente mais refinadas do que as discutidas aqui.

Em um sentido muito real, então, as "verdades" científicas são apenas verdades aproximadas. Nas palavras do químico G.N. Lewis:

O cientista é um homem prático e práticos são os seus objetivos. Não busca o âmago mas sim o aproximado. Não fala de análise final, mas sim da aproximação melhor. Suas estruturas não são aquelas maravilhosas e tão fragilmente estabelecidas que um só sopro desarma. O cientista constrói aos poucos e com alvenaria grosseira, mas sólida. Se se aborrecer com qualquer parte de seu trabalho, mesmo que esta chegue perto da própria base, ele pode substituir essa parte sem prejuízo do restante. De modo geral, ele está satisfeito com seu trabalho, pois embora possa a ciência não estar sempre inteiramente correta, ela certamente nunca está inteiramente errada; e parece que tem melhorado, década após década.

É verdade que uma estrutura lógico-dedutiva está presente em todo experimento científico, mas isso não quer dizer que todo cientista-pesquisador está constantemente examinando suas experiências para se certificar de que essa estrutura está presente. Pelo contrário, a estrutura lógico-dedutiva lá está porque o indivíduo que planeja experimentos está habituado a pensar dessa forma ao programar sua investigação. No laboratório, isso constituiria para ele uma "segunda natureza".

Dever-se-ia notar que muitos biólogos nunca realizam experiências científicas no sentido pleno do termo. Esses biólogos se empenham em acumular material factual. O detalhado exame anatômico de uma nova espécie vegetal ou animal constitui exemplo de tal atividade. Não se testa hipótese alguma, então; não se fazem previsões. Não obstante, geralmente é trabalho de grande valor. Proporciona recursos factuais que outros podem utilizar para planejar e realizar experiências muito importantes sobre os organismos envolvidos.

3.4. A APLICAÇÃO DA LÓGICA: ESTUDO DE UM CASO

Sabe-se agora que um fluido denominado **sêmen**, produzido pelos machos dos animais superiores, contém **espermatozoides**, ou esperma. Os espermatozoides são células vivas, formadas por uma porção correspondente a uma cabeça e uma cauda. Transportam os fatores de hereditariedade do macho e são capazes de movimento independente. Na reprodução sexuada, o espermatozoide nada até a célula-ovo feminina e, unindo-se à mesma, fertiliza-a. Antigamente, a importância dos espermatozoides não era reconhecida. Considerava-se, então, somente duas possibilidades seguintes.

1. O fluido seminal do macho precisa entrar em contato com o óvulo para que este comece a se desenvolver.
2. Bastava que apenas um gás ou vapor proveniente do sêmen por evaporação, entrasse em contato com a célula-ovo.

Examinando o sistema reprodutor feminino, observaram os médicos que o sêmen seria depositado a considerável distância do óvulo. Como não se reconhecia o papel desempenhado pelos espermatozoides, o fato de que estes poderiam nadar até o óvulo não era tomado em consideração. Supôs-se, portanto, que somente um vapor, que se difundia a partir do sêmen, poderia alcançar o óvulo e fertilizá-lo.

Com base nessas observações anatômicas, a hipótese do vapor logrou considerável apoio. Em 1785, foi submetida à comprovação experimental pelo italiano Lazzaro Spallanzani (1729-1799).

O seguinte exame de excertos do relatório de Spallanzani analisa seus experimentos e conclusões e demonstra sua base lógica.

É A FERTILIZAÇÃO AFETADA PELO VAPOR ESPERMÁTICO?

Discutiu-se durante muito tempo e ainda se argumenta sobre se as porções visíveis e mais grosseiras do sêmen participam da fecundação (isto é, aqui, no desencadeamento do desenvolvimento) do homem e dos animais, ou se uma parte muito mais sutil, um vapor que do mesmo emana e que é denominado *aura espermática*, basta para essa função.

Aqui o problema é definido: seria o próprio sêmen a causa do desenvolvimento do óvulo? Ou, é simplesmente o vapor derivado do sêmen que o faz?

Não se pode negar que médicos e fisiólogos defendem este último ponto de vista, e disso estão persuadidos mais por necessidade aparente do que devido a experimentos.

A falta de evidência experimental para fundamentar a hipótese do vapor é aqui apontada por Spallanzani. No texto integral de seu relatório, cita o mesmo algumas das observações anatômicas incluídas na parte introdutória desta secção.

Apesar dessas razões, muitos outros autores mantêm a opinião contrária e acreditam que a fertilização é realizada por meio da parte material do sêmen.

A hipótese alternativa - que o sêmen precisa entrar em contato real com o óvulo - está expressa.

Estas razões, evocadas a favor e contra, não me parecem resolver a questão; pois, não foi demonstrado que o próprio vapor espermático atinge os ovários, da mesma forma em que não está esclarecido se a porção material que chega aos ovários, e não os constituintes gasosos do sêmen, é responsável pela fertilização.

A afirmativa, "... não foi demonstrado que..." (etc)" mostra mais uma vez como Spallanzani reconhecia a falta de evidência concreta para suportar qualquer das hipóteses.

Portanto, para decidir a questão, é importante empregar um meio conveniente que permita separar o vapor da parte figurada do sêmen e fazê-lo de tal modo, que os embriões sejam mais ou menos envolvidos pelo vapor;

Sugere-se um projeto experimental. É preciso construir um tipo de dispositivo experimental que responda adequadamente às perguntas a serem formuladas pelos investigadores.

pois, se eles nascessem, [então] isso constituiria evidência de que o vapor seminal consegue fertilizá-los; ou [se] eles não nascessem, seria então igualmente certo que o vapor espermático em si é insuficiente e que é necessária a atuação adicional da porção material do esperma.

Note, aqui, as duas ocorrências da forma "se..., então" quando Spallanzani cita a base dedutiva de suas experiências.

(Nota: Spallanzani havia demonstrado anteriormente que o sêmen podia ser diluído várias vezes e ainda permanecer capaz de fertilização. Em termos do que hoje se sabe, a respeito do papel dos espermatozoides na fertilização, isso não constitui surpresa. Entretanto, Spallanzani interpretou esses resultados como apoio à hipótese do vapor, uma vez que considerava o vapor como sendo simplesmente sêmen diluído. O experimento seguinte, porém, convenceu-o do contrário.)

A fim de banhar girinos [ovos] muito bem com esse vapor espermático, coloquei em um vidro de relógio pouco menos de onze grãos de líquido seminal de vários sapos. Em vidro semelhante, mas pouco menor, coloquei vinte e seis girinos [ovos] os quais, devido à viscosidade da geléia, aderiram-se firmemente à parte côncava do vidro. Coloquei o segundo vidro de relógio sobre o primeiro e eles permaneceram, assim, unidos durante cinco horas em minha sala, cuja temperatura era de 18°C. A gota de líquido seminal foi colocada precisamente sob os ovos, os quais devem ter sido completamente banhados pelo vapor espermático produzido; tanto mais que a distância entre os ovos e o líquido não era superior a uma linha [2,25 mm]. Examinei esses ovos depois de cinco horas e achei-os recobertos por uma névoa úmida, que molhava os dedos ao contato; e isso representava, entretanto, apenas uma porção do sêmen, que se havia evaporado e reduzido de um grão e meio. Os ovos haviam, pois, sido banhados por um grão e meio de vapor espermático, que não poderia ter escapado para fora dos cristais de relógio, pois eles se encaixavam muito estreitamente.

Spallanzani descreve aqui seu dispositivo experimental (veja a Fig. 3.5). Frequentemente, parte importante de uma experiência é representada pelo planejamento de tal dispositivo.

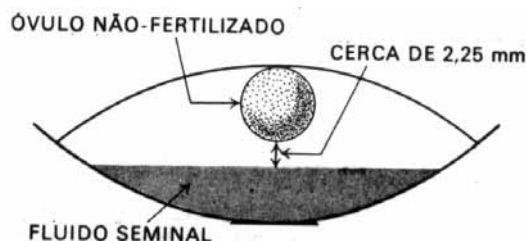


Figura 3.5. Dispositivo similar àquele utilizado por Spallanzani para responder à pergunta: "É a fertilização afetada pelo fluido espermático?" Vapores provenientes do fluido seminal banhavam livremente o óvulo, mas não havia contato entre o óvulo e o fluido. O óvulo não se tornava fertilizado

Mas apesar disso, os ovos, subseqüentemente imersos em água, morreram.

A ausência de desenvolvimento corresponde a uma conclusão falsa; ou seja, a conclusão decorrente da aceitação da hipótese em comprovação não se verifica...

Embora invalide a teoria do vapor espermático...

... e, portanto, a hipótese de vapor deve estar errada.

... o experimento foi, porém, muito interessante e desejei repeti-lo.

Spallanzani reconhece a necessidade de evidência adicional de que a hipótese do vapor está, de fato, incorreta. (Seus resultados na segunda série de experiências foram os mesmos.)

Tendo utilizado anteriormente vapor espermático produzido em recipientes fechados, eu quis ver o que aconteceria em recipientes aberto, a fim de eliminar uma dúvida produzida pela idéia de que a circulação de ar era necessária à fertilização...

É reconhecida uma variável que poderia ter influído sobre os resultados: o experimento é modificado para eliminá-la. Se o ar desempenha um papel na fertilização, então os ovos deveriam se desenvolver se se facultasse a circulação de ar, etc.

... mas não houve melhor fertilização do que nas experiências precedentes.

Novamente, resultados negativos. Está demonstrado que a conclusão estava errada.

O último experimento desse tipo consistiu em coletar vários grãos de vapor espermático e imergir uma dúzia de óvulos no mesmo por vários minutos. Toquei em outra dúzia de óvulos com o pouco sêmen que restou após a evaporação e que não pesava mais do que um grão; onze dentre esses girinos eclodiram de forma satisfatória, embora nenhum dos doze que haviam sido mergulhados no vapor espermático sobrevivessem.

Ainda outra variante da experiência original é levada a efeito buscando novas evidências contra a hipótese do vapor; mesmo a imersão em uma concentração de vapor espermático não resulta em fertilização. Certamente, a hipótese em comprovação teria predito fertilização nesse caso. No entanto, não ocorre fertilização.

A reunião desses fatos evidentemente prova que a fertilização no sapo terrestre não é produzida pelo vapor espermático mas sim pela parte material do sêmen.

Em seu formato dedutivo, os resultados de Spallanzani, na verdade, mostram que a hipótese do vapor é falsa. Não provam, todavia, a validade da hipótese alternativa, mas só lhe emprestam suporte.

Observe que Spallanzani teve o cuidado de não generalizar além do animal que utilizou para suas experiências.

Como se poderia supor, não fiz estas experiências somente com este sapo, mas as repeti na maneira descrita para o sapo terrestre de olhos vermelhos e tubérculos dorsais, e também o sapo aquático, obtendo os mesmos resultados. Posso mesmo acrescentar que embora só tenha realizado alguns desses experimentos com o sapo de árvores, observei que concordaram bastante bem com os outros.

Spallanzani deseja agora estender seus resultados a outros organismos e realiza, assim, experimentos com outros tipos de animais.

Podemos nós, entretanto, dizer que é esse o processo universal da natureza para todos os animais e para o homem?

Spallanzani pergunta: "Pode a generalização ser estendida a outros organismos ainda não ensaiados em tais experimentos?"

O pequeno número de fatos de que dispomos não nos permite, em boa lógica, inferir uma tal conclusão geral.

Spallanzani é cuidadoso ao considerar uma extensão dessa generalização relativa à necessidade de contato com o sêmen e não com seu vapor.

Pode-se no máximo pensar que muito provavelmente isso é assim...,

Spallanzani mostra seu conhecimento da natureza da "prova" científica com essa asserção.

... mais especialmente porque não há um só fato em contrário...

ou seja, não se obtiveram (falsas conclusões) na comprovação experimental dessa hipótese.

e a questão da influência do vapor espermático na fertilização está pelo menos definitivamente decidida para o negativo, para várias espécies de animais, e com grande probabilidade, para as demais.

Observe a noção, de parte de Spallanzani, de que seus resultados negativos lhe proporcionam invalidação positiva da hipótese averiguada mas só lhe oferecem uma verificação provável mais do que prova absoluta quanto à hipótese oposta.

Mais tarde, Spallanzani realizou outras experiências que também confirmaram os resultados aqui transcritos. Descobriu, por exemplo, que se filtrasse o fluido seminal através de algodão, o mesmo perdia sua capacidade de fertilização e que quanto mais fino fosse o filtrado obtido, menor seria essa capacidade. Verificou, também, que vários pedaços de papel absorvente removiam completamente a capacidade fertilizadora do fluido seminal, mas que a porção que permanecia no papel, quando posta em água, fertilizava com sucesso os óvulos. Apesar da função óbvia (para nós) que os espermatozoides desempenham na fertilização - função para a qual apontam os resultados dessas experiências - Spallanzani havia deliberado previamente que o fluido seminal sem espermatozoides era capaz de fertilização e não conseguiu desarraigar essa idéia... mesmo à luz de seus próprios resultados experimentais! Mesmo que para mais não servisse, o caso ilustra muito bem que os cientistas estão tão sujeitos como qualquer pessoa a deixar escapar soluções óbvias, recusando-se muitas vezes a abandonar noções pré-concebidas, apesar das evidências contrárias. Só no século dezenove é que ficou definitivamente estabelecido o papel dos espermatozoides na fertilização.

3.5. AS LIMITAÇÕES DA CIÊNCIA

Em seu próprio direito, a ciência é um dos recursos mais produtivos para o homem, de explorar, aproveitar, e tentar compreender seu meio ambiente. Mas não é, de modo algum, o único recurso. O historiador tenta compreender o presente e, ocasionalmente, prever o futuro, através do estudo dos registros do passado humano. A religião tenta encontrar certas verdades atuando principalmente em uma plataforma de fé. Os filósofos recorrem à ciência, história, religião e muitos outros campos da realização humana, procurando consolidar as descobertas de cada campo e inferir conclusões significativas das mesmas.

Deveríamos, além disso, notar que apesar das muitas contribuições que logrou trazer para o desenvolvimento intelectual do homem, bem como para sua saúde e bem estar geral, a ciência tem limitações sérias. Curiosamente, uma destas deriva-se de um de seus maiores atributos. Como o ressaltou o filósofo George Boas,

... o que a ciência deseja é um universo racional, e com isso quero dizer, um universo no qual a razão tem supremacia tanto sobre nossas percepções como sobre nossas emoções.

Essa base racional da ciência experimental arraigada pela necessidade em experimentos concretos, constitui, na verdade, uma força. Mas também uma debilidade. Por envolver unicamente o conjunto de fenômenos que podem ser direta ou indiretamente experimentados pelos sentidos humanos e colocados em uma situação experimental, a ciência é necessariamente excluída do conjunto de fenômenos cujos membros não tenham tais qualificações. A **ciência experimental** só pode tentar explicar como poderia ocorrer um fenômeno natural, e fazer hipóteses com relação às suas causas. Não pode, sequer, começar a especular *por que* ocorrem esses fenômenos.

A base não-emocional da ciência constitui outra força que é, ao mesmo tempo, uma debilidade. Isso não quer dizer, naturalmente, que como indivíduos, os cientistas sejam inteiramente destituídos de emotividade, ou desligados. Não são, de forma alguma, diferentes das demais pessoas nesse sentido, sendo tão suscetíveis de preconceitos e falhas pessoais como qualquer outra. Entretanto, como campo de realização, a ciência, ao menos na perspectiva geral, é necessariamente objetiva e desligada de preconceitos emocionais (veja a Fig. 3.6). Entretanto, há ocasiões em que o homem pode não desejar que sua razão tenha supremacia sobre suas emoções. Certamente não desejaríamos tratar dos problemas cotidianos tão reais da pobreza e injustiça humanas, de forma inteiramente racional e desligada. Para conservar sua natureza básica, entretanto, e conseguir tratar de problemas sociais contemporâneos, a ciência experimental precisa fazer exatamente isso.

Sua vida pode estar em perigo se sua água for fluoretada!

Prova positiva:

Coloque um pedaço de papel em um copo de água fluoretada e veja-o transformar-se em uma substância metálica de veneno corrosivo, inorgânico, de ação cumulativa. Da mesma maneira seu corpo poderá reter e acumular esse veneno letal da água fluoretada. Você precisa agir para impedir esse atentado contra a vida humana! Proteste, contra esse envenenamento ao Prefeito Wagner e à Comissão Orçamentária, City Hall, cidade New York.

Figura 3.6. Como campo de realização, a ciência está bastante imunizada contra os flamantes apelos emocionais que um anúncio desse tipo tenta lançar. Como indivíduo, entretanto, o cientista provavelmente não está mais ou menos sujeito a julgamentos emocionais do que qualquer outra pessoa

Apesar das bases lógicas da ciência, seria um lapso dar-se a impressão de que os cientistas nunca estão errados. Nada poderia afastar-se mais da verdade. Escreveu certa vez o astrônomo Johannes Kepler. *"Quantas idas e voltas tive eu que fazer, ao longo de quantas paredes tateei na escuridão de minha ignorância, até encontrar a porta que se abre para a luz da verdade."* É de se duvidar, na verdade, que jamais tenha existido um cientista que não tenha cometido erros. James Bryant Conant assim se expressou:

Poder-se-ia escrever um pesado volume sobre as descobertas experimentais errôneas em física, química e bioquímica, que lograram ser impressas nos últimos cem anos; outro tanto seria necessário para registrar as idéias abortivas, as teorias e generalizações autocontraditórias desenvolvidas no mesmo período.

Por exemplo, asseverou Lord Rutherford que o homem jamais conseguiria liberar a energia contida no núcleo atômico. A primeira bomba atômica explodiu poucos anos depois de sua morte. O famoso fisiólogo americano do século dezanove, Johannes Müller, declarou que a velocidade do impulso nervoso nunca seria medida. Seis anos mais tarde, Hermann von Helmholtz o fez, em um nervo de sapo, de apenas alguns centímetros de comprimento.

Nem é seguro pensar-se que os cientistas sempre raciocinam corretamente. Na verdade, alguns cientistas são notórios por "darem foras enormes", particularmente quando escrevem sobre assuntos que não são de sua especialidade. Além disso, os cientistas podem estar errados, e assim também a ciência. Faça perguntas a um físico sobre "éter", a um químico sobre o "flogístico" ou a um biólogo sobre "lamarquismo". A ciência teve teorias erradas no passado, tem-nas agora e as terá no futuro. A força da ciência não reside em infalibilidade alguma. Nem reside em sua base lógica, pois a conclusão para um argumento perfeitamente lógico pode ser um absurdo total (veja a Fig. 3.7). Reside, ao invés, na natureza autocrítica da ciência - na pesquisa constante da "verdade" através de eliminação dos erros estabelecidos experimentalmente.

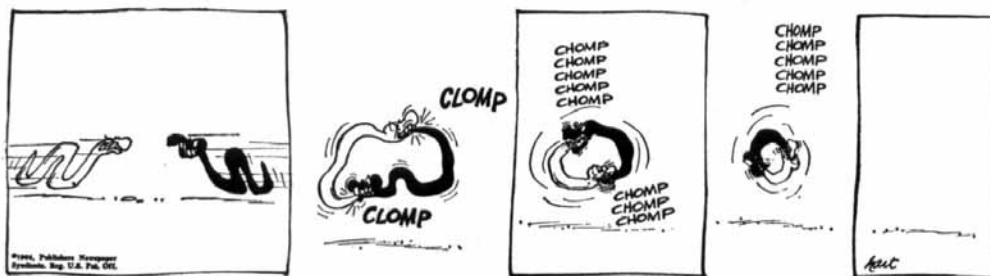


Figura 3.7. As conseqüências do raciocínio lógico nem sempre conduzem a conclusões "corretas". Constitui fato bem conhecido que certas cobras podem deglutir outras, mesmo maiores do que elas próprias. Se aceitarmos o fato de que a cobra que é deglutida desaparece, a situação ilustrada acima é a conclusão lógica! (Cortesia Johnny Hart e Publishers Newspaper Syndicate)

A ciência é um contingente organizado e continuamente mutável de conhecimento baseado em observação, generalização, experimentação. Como empreendimento disciplinado, pode ser considerado uma tradição de crenças que têm fundamentos racionais, sujeita a contínua revisão e discussão. Portanto, como campo, a ciência está separada dos cientistas que contribuíram para seu desenvolvimento. Como indivíduo, o cientista é apenas um ser humano, com todas as emoções e fraquezas inerentes a essa sua condição.

Declarou o cientista A. J. Lotka em 1925 que *"A ciência não explica coisa alguma... a ciência é menos pretenciosa. Tudo o que lhe compete é observar fenômenos e descrevê-los, bem como as relações entre eles"*. Poderíamos ampliar esse conceito e reafirmar que toda verdade absoluta está além do alcance da ciência. *Na ciência, a "verdade" é uma hipótese bem fundamentada. Se esta hipótese cair, uma nova "verdade" lhe tomará o lugar.*

Não obstante, apesar de suas limitações intrínsecas, a ciência deve ser considerada como um recurso de notável sucesso para acumular conhecimentos. Na **pesquisa aplicada**, os cientistas podem usar os métodos da ciência com o objetivo de desenvolver produtos que contribuam para melhorar o conforto e bem estar humanos. Na **pesquisa pura** ou **básica**, o cientista busca conhecimento - conhecimento por si só - independentemente de trazerem ou não suas descobertas, benefícios para a humanidade. É importante observar, entretanto, que *os resultados da pesquisa básica contribuíram tanto quanto ou mais que os da pesquisa aplicada e*, na verdade, poderia-se dizer que aquela conduz a esta. Parece que a ciência é produtiva por sua própria natureza.

3.6. CONCLUSÃO

A ciência pode ser considerada como conhecimento científico organizado ou como o processo pelo qual tal conhecimento é adquirido. A ciência experimental usa a forma de lógica dedutiva no planejamento de suas experiências. O objetivo desses experimentos é comprovar a validade das previsões que são estabelecidas ao se aceitarem as hipóteses correspondentes como verdadeiras. Se o experimento for programado adequadamente e as previsões não se consolidarem pelos dados experimentais obtidos, a hipótese pode ser considerada invalidada. Se, por outro lado, os resultados experimentais forem os previstos, pode-se dizer que a hipótese encontrou fundamento, *mas não que foi comprovada*. A prova absoluta que em matemática se logra atingir pelo uso da dedução estará sempre além do alcance da ciência experimental. A validade das "verdades" científicas só pode ser medida estatisticamente em termos de probabilidades.

A necessidade da ciência quanto a bases racionais, não-emocionais e experimentalmente demonstráveis, para seus postulados, contribui para sua maior potência. Ao mesmo tempo, esses requisitos limitam o campo de trabalho da ciência para o ambiente perceptível e palpável. A ciência constitui apenas um, dentre vários caminhos de grande sucesso de que dispõe o homem em suas tentativas de compreender o universo e seu próprio papel no mesmo.

EXERCÍCIOS

1. Estabeleça a distinção entre pesquisa básica (pura) e pesquisa aplicada. Por que é importante o apoio a ambos os tipos de pesquisa?
2. Explique por que o alcance de quaisquer verdades absolutas está além da ciência.
3. Cite algumas das limitações da ciência.
4. Por que deve o cientista ter o cuidado de não estender suas conclusões experimentais a organismos diferentes daqueles com os quais trabalhou?
5. Explique por que a seguinte hipótese é inaceitável para os cientistas: *A vida se originou em algum outro planeta do universo e chegou à Terra há alguns milhares de anos, encerrada em um meteorito.*
6. Estabeleça uma hipótese para explicar cada uma das seguintes observações. Planeje depois uma demonstração experimental para comprovar sua hipótese:
 - a. Ocorrem mais acidentes automobilísticos ao crepúsculo do que em qualquer outra hora do dia.
 - b. Ao lavar copos de vidro em água e sabão a quente, transferindo-os depois imediatamente para uma superfície fria, com a abertura voltada para baixo, aparecem bolhas, primeiramente no lado externo da borda, as quais depois se expandem para fora. Em poucos segundos, essas bolhas sofrem reversão, passando sob a borda e expandindo-se no interior do recipiente de vidro.
 - c. Notou-se que certa espécie de vespa que faz ninho de barro, o constrói a partir de lama altamente radioativa, embora a irradiação recebida pelas larvas jovens possa ser suficiente para matá-las. Outra espécie que também faz casa de barro, nas mesmas condições ambientais, evita essa lama, selecionando lama não-radioativa para construir seu ninho.
 - d. Em camundongos da linhagem A, todo animal com mais de dezoito meses desenvolve câncer e camundongos da linhagem B não o fazem. Entretanto, se os camundongos recém-nascidos de cada uma dessas linhagens forem trocados imediatamente após o nascimento, não se desenvolverá câncer nos camundonguinhos da linhagem A, mas ocorrerá nos de linhagem B depois do décimo-oitavo mês.

"Qualquer teoria física é sempre provisória, no sentido de que não passa de uma hipótese: não pode ser comprovada jamais. Não importa quantas vezes os resultados de experiências concordem com uma teoria, não se pode ter certeza de que, da próxima vez, o resultado não vá contradizê-la. Por outro lado, pode-se rejeitar qualquer teoria ao se descobrir uma única observação que contrarie suas previsões. Como o filósofo da ciência Karl Popper enfatizou, uma boa teoria é caracterizada pelo fato de ser capaz de fazer um número de previsões que possam, em princípio, ser rejeitadas ou frustradas pela observação. Cada vez que novos experimentos comprovam as previsões, a teoria se mantém e nosso nível de confiança nela aumenta; mas se uma nova observação a contradisser, é necessário que seja abandonada ou modificada."

Extraído de " Uma Breve História do Tempo" - Stephen W. Hawking

CAPÍTULO 4

COMPROVAÇÃO DE HIPÓTESES E PREDIÇÕES

4.1. INTRODUÇÃO

Beribéri é o nome comum de uma condição degenerativo-paralítica encontrada no homem e em outros vertebrados. Até 1925, essa doença era relativamente comum em populações humanas, especialmente de áreas como Bornéu e Java. Por volta do fim do século XIX, muita gente opinava sobre o que poderia causar essa condição. A idéia mais popular era que o beribéri resultava de infecção bacteriana, pois estava-se em pleno período da grande influência de Louis Pasteur e sua teoria sobre os germes como agentes de doenças. As bactérias eram consideradas como agentes causais de todas as doenças humanas conhecidas.

Em 1893 o governo holandês enviou uma comissão às Índias Orientais para investigar o beribéri, particularmente prevalente na região. Um membro dessa comissão, Christian Eijkman (1858-1930) realizou observações que o levaram a formular uma hipótese diferente quanto às causas da doença. Eijkman começou a planejar uma experiência para comprovar sua hipótese. Esse trabalho constitui exemplo clássico de planejamento e execução de um experimento científico.

4.2. OS EXPERIMENTOS DE EIJKMAN

Eijkman observou que galinhas destinadas a trabalho experimental, criadas junto ao laboratório, eram alimentadas com dieta que consistia principalmente em arroz polido. Muitas dessas galinhas pareciam apresentar uma condição que se assemelhava ao beribéri. Eijkman decidiu verificar se havia qualquer relação entre dieta de arroz polido e a ocorrência de beribéri. Começou formulando duas hipóteses iniciais :

Hipótese I: beribéri resulta de um desequilíbrio de dieta e não é devido à infecção bacteriana.

Hipótese II: um fato existente na película externa do grão arroz parece impedir o aparecimento dessa condição.

A partir dessas hipóteses Eijkman conseguiu estabelecer uma predição simples:

Hipótese I: SE... o beribéri é uma condição decorrente da dieta...

e

Hipótese II: SE... o beribéri resulta da alimentação com arroz polido...

Predição: ENTÃO... a alimentação de galinhas com arroz polido deveria produzir tal condição. Opostamente, alimentá-las com arroz não-polido deveria mantê-las sadias.

Para comprovar essa previsão, montou Eijkman uma experiência simples. Separou dois grupos de galinhas normais, sadias. Um dos grupos, alimentou com arroz polido, o outro, com arroz bruto. As galinhas foram colocadas em galinheiros e mantidas sob condições idênticas por um período de duas semanas. Após esse período, muitas das galinhas alimentadas com arroz polido apresentavam sintomas de beribéri. Entre as que haviam sido alimentadas com arroz integral, entretanto, não havia tais sintomas. Essas experiências parecia apoiar a hipótese de Eijkman de que beribéri é uma condição ligada à dieta alimentar.

O experimento de Eijkman, simples como é, tem alguns aspectos muito importantes. Em primeiro lugar, foi estabelecido para testar uma previsão feita com base em uma hipótese preliminar. Um bom experimento é aquele programado para comprovar uma predição específica, que o experimento pode tanto confirmar como rejeitar. Se se verificar a predição de uma dada hipótese, a hipótese pode estar correta - embora, como vimos no Cap. 3, isso não é necessariamente assim. De outro lado, se a predição se mostrar errada, então a própria hipótese deve estar errada. Observe que os experimentos mais conclusivos são freqüentemente os que invalidam uma predição específica, pois tornam possível a invalidação da hipótese a partir da qual se estabeleceu a predição.

Em segundo lugar, a experiência de Eijkman fez uso de **controles**. Na experiência devidamente controlada, dois grupos de organismos são submetidos a tratamento idêntico em todos os aspectos, menos um. Essa diferença única é o fator investigado, tal como o arroz polido ou integral, na dieta. No experimento de Eijkman, as galinhas alimentadas com arroz polido constituem o **grupo-controle**, enquanto as alimentadas com arroz integral formam o **grupo experimental**. Em geral, os grupos-controle representam a situação normal, enquanto os grupos experimentais representam a variação. O grupo-controle proporciona base para comparação - um padrão contra o qual se podem medir as alterações que se verificarem no grupo experimental.

As experiências científicas são geralmente estabelecidas para testar uma predição por vez. Se Eijkman houvesse montado seus experimentos como acabou de se descrever, mas se tivesse usado patos no seu grupo experimental e galinhas no grupo-controle, isso teria introduzido duas variáveis na experiência: a diferença na dieta e a diferença no tipo de organismo. Se o grupo experimental tivesse apresentado elevada incidência de beribéri, Eijkman teria tido muito menos certeza de seus resultados do que na experiência que fez na realidade. Poder-se-ia ter argumentado, por exemplo, que patos são altamente suscetíveis a beribéri e podem contrair essa condição em circunstâncias que não afetariam as galinhas. Essa objeção não seria descabida; sabe-se que muitas doenças aparecem freqüentemente em alguns organismos e raramente, ou nunca, em outros. Portanto, se tivesse utilizado dois tipos diferentes de organismos, Eijkman não conseguiria concluir que o beribéri é uma condição decorrente da dieta.

Embora a experiência original de Eijkman emprestasse apoio à sua hipótese, ela eliminou todas as outras possibilidades. A alimentação com arroz polido, por exemplo, poderia meramente reduzir a resistência do animal contra organismos infecciosos. Assim, as galinhas alimentadas com arroz polido seriam mais suscetíveis aos germes do beribéri, mas só contrairiam essa condição se tais organismos estivessem presentes. Embora pesquisas posteriores mostrassem que essa possibilidade era incorreta, a experiência ora descrita não proporcionou evidências nesse sentido. Além disso, Eijkman não pôde concluir a partir de suas investigações, que, porque uma dieta de arroz polido causava beribéri em galinhas, ela teria necessariamente o mesmo efeito em outros animais. Ele precisaria comprovar sua hipótese em relação a seres humanos.

Normalmente, é muito difícil realizar experimentos em larga escala com seres humanos, especialmente sob condições passíveis de produzirem efeitos nocivos. Uma situação já existente, porém, ajudou Eijkman a resolver esse problema. O beribéri era especialmente comum nas instituições penais de Java. Eijkman ordenou que fosse incluído arroz integral nas dietas dos reclusos em algumas das prisões onde o beribéri era bastante prevalente. Isso constituiu um progresso definido, mas os resultados ainda eram inconclusivos. Havia sempre a possibilidade, remota embora, de que os prisioneiros se teriam recuperado de qualquer maneira devido a modificações dos outros componentes da alimentação de sua dieta durante o período de observação. Era necessário um grupo-controle.

Por sorte, usos locais proporcionaram exatamente o que era necessário. As dietas das prisões por Java toda eram notavelmente semelhantes, exceto em um fator. Embora o arroz fosse o prato básico em todas as prisões, em algumas áreas consumia-se arroz polido em lugar de arroz integral. Coletando as informações reunidas pelo supervisor do Departamento de Saúde Civil de Java, Eijkman teve prontamente em mãos os dados para seus grupos-controle e experimental. Havia dados referentes a cem prisões de toda Java e de uma ilha vizinha. Era importante dispor do maior número possível de situações experimentais. Como vimos no Cap. 3, quanto maior for o número de dados disponíveis como ponto de partida para a pesquisa, mais válida será a generalização. Os dados de cem prisões são adequados para evitar qualquer fonte significativa de erros.

Com essa amostragem, Eijkman obteve os seguintes resultados: de vinte e sete prisões onde se servia arroz integral para seus prisioneiros, o beribéri ocorria unicamente em uma prisão. De outro lado, o beribéri ocorria em trinta e seis dentre as restantes setenta e três prisões nas quais o arroz polido fazia parte da dieta. Depois, descobrindo que na verdade eram usadas três formas de arroz, fez Eijkman nova classificação dessas dietas:

1. arroz polido (película envoltória removida inteiramente, ou ao menos em 75%),
2. arroz integral (película envoltória inteiramente ou ao menos em 75% preservada),
3. mistura de (1) e (2), servida em algumas prisões.

Os dados para essa nova série de categorias foram tabulados segundo ilustra a Tab. 4.1. É aparente que a hipótese de Eijkman (de que o beribéri é causado por um fator da dieta) encontra bastante apoio nesses dados.

Tabela 4.1

Dieta constituída por	Pessoas que contraíram beribéri, %
Arroz polido	70,6
Arroz integral	2,7
Mistura de arroz polido e arroz integral	46,1

Entretanto, essas experiências não respondiam todas as dúvidas que essa incursão pelo beribéri havia levantado. Por exemplo: algumas pessoas sugeriam que o beribéri era causado pela ingestão de arroz velho, deteriorado; outras diziam que o arroz importado de Saigon ou Rangoon era o fator responsável. Eijkman conseguiu esclarecer todas essas objeções e logrou, assim, até mais apoio para sua hipótese. Alimentou galinhas com arroz integral e arroz polido de todos os tipos - velho e novo, de Saigon e das Índias Orientais. Em todos os casos, as galinhas que apresentaram beribéri haviam sido alimentadas com arroz polido.

Ao se defrontar com outras objeções, Eijkman estudou o tempo de construção dos edifícios das prisões, sua ventilação, e a densidade populacional de cada prisão. Seus dados quanto ao tempo de construção dos edifícios e arejamento interno, estão reunidos na Tab. 4.2. Pode-se ver que não há qualquer relação entre esses fatores e a porcentagem de pessoas que contraíram o beribéri. Esses dados excluíram positivamente os fatores higiênicos como possíveis causas de beribéri.

Tabela 4.2

Idades dos edifícios	Pessoas que contraíram beribéri, %	Ventilação	Pessoas que contraíram beribéri, %
40-100 anos	50	Boa	41,2
21-40 anos	34,4	Média	72,7
2-20 anos	45,2	Deficiente	33,3

Além dos fatores já discutidos, os experimentos de Eijkman ilustraram dois aspectos adicionais, de alguma importância na análise experimental. Eijkman utilizou grande número de amostras a fim de evitar *erro de amostragem* e coletou *dados numéricos*. A importância de utilizar um grande número de amostras já foi discutido. A importância dos dados numéricos merece menção especial.

As informações coletadas a partir da observação ou da experimentação podem ser de dois tipos: *quantitativos* e *qualitativos*. Dados quantitativos são os que resultam de mensuração, ou que podem ser expressos de alguma forma definida e precisa, geralmente em números. Dados qualitativos, por sua vez, são os que não se prestam à expressão numérica precisa. Diferenças em altura, para um grupo de pessoas, expressas em termos tais como "mais alto", "mais baixo", "o mais alto" etc., constituiriam exemplos de dados qualitativos. As mesmas diferenças, expressas como resultados de medição da altura (em centímetros), seriam exemplos de dados quantitativos.

Em geral, os cientistas preferem dados numéricos porque são mais facilmente verificáveis. Suponhamos que se realize uma experiência na qual seja estudada a taxa de crescimento de plantas submetidas a diferentes intensidades luminosas reduzida, a planta nº 2 cresceu um pouco mais do que esta sob luminosidade de intensidade média, e a planta nº 3 cresceu muito sob iluminação intensa. Esses resultados estão baseados em juízos subjetivos. Seria difícil repetir a experiência e saber se os novos resultados concordaram com os anteriores. Em bases numéricas, os dados poderiam ser apresentados assim: a Planta nº 1 cresceu 12,5 cm sob intensidade luminosa correspondente a 500 velas; a Planta nº 2 cresceu 20 cm à intensidade luminosa de 700 velas; a Planta nº 3 cresceu 25 cm à intensidade luminosa de 1000 velas, etc. Esse tipo de dado é fácil de ser controlado. O experimento pode ser repetido, observando-se o grau de diferença ou similaridade entre os dois conjuntos de dados.

Dados numéricos também são valiosos porque as relações entre dois fatores ficam mais facilmente aparentes (como entre intensidade luminosa e taxa de crescimento). No caso recém-apresentado, o fato de que as plantas apresentam maior crescimento e intensidades luminosas elevadas do que as baixas, torna-se mais evidente quando os dados são apresentados em forma numérica. Embora dados subjetivos não obscureçam necessariamente tal relação, tornam-na bem menos aparente.

Finalmente, dados numéricos são valiosos porque possibilitam comunicação mais precisa e mais significativa entre cientistas. Dizer que uma planta cresce "um pouco" ou "muito" pode significar coisas diferentes para pessoas diferentes. Daí surgem ambigüidades. O uso de dados numéricos impede tais ambigüidades e os resultados dos experimentos ficam menos sujeitos a mal entendidos.

4.3. PROBABILIDADE E TENTATIVA-E-ERRO NAS DESCOBERTAS CIENTÍFICAS

Neste capítulo e no precedente, ressaltamos a forma lógica e planejada de tratamento, na descoberta científica. Isso constitui, de fato, parte muito importante da pesquisa científica. Todavia, existem outros fatores envolvidos em ciência os quais não podem ser considerados lógicos ou previsíveis. Os papéis desempenhados pela tentativa e erro e o acaso nas descobertas científicas têm sido freqüentemente negligenciados em discussões de processos científicos, mas ambos esses fatores têm papéis importantes.

O PAPEL DA TENTATIVA-E-ERRO. Um rato em um labirinto tenta primeiramente uma passagem, depois outra, até alcançar a saída e é, então, premiado com um pedaço de queijo. Se o rato não tiver tido experiências prévias com o labirinto, o único método que ele pode empregar para chegar ao queijo é o da tentativa-e-erro. Esse é um método freqüentemente imposto ao organismo, seja rato ou homem, que se defronta com um problema para cuja solução não se apresentem indícios definidos e nítidos.

Consideremos o seguinte exemplo de tentativa-e-erro na pesquisa científica. Dr. Paul Muller, que recebeu o Prêmio Nobel em 1948 pela sua descoberta do dicloro-difenil-tricloro-etano (DDT), mencionou em seu discurso de aceitação: "Após ensaio infrutífero de centenas de substâncias diferentes, compreendi que não é fácil encontrar um bom inseticida de ação residual". O problema consistia em descobrir uma substância que fosse letal para os insetos mas relativamente inócua para o homem e animais. Para Muller, não havia outro caminho a não ser o de testar muitas substâncias, uma após outra, até dar com o DDT, que pareceu ser eficaz. Essa descoberta só se fez após longas horas de ensaios com ampla variedade de compostos possíveis.

O método da tentativa-e-erro tem uma desvantagem. É ineficiente. Se dispuser de algum indicio a partir do qual puder formular uma hipótese desde o início, o pesquisador poderá reduzir o número de experiências que terá que realizar. Efetivamente, se todo o conhecimento fosse atingido unicamente por tentativa e erro, os progressos científicos se fariam muito lentamente.

O PAPEL DO ACASO. Ignorar o papel da descoberta ao acaso seria apresentar um quadro falso da investigação científica. Há diferença, porém, entre ter sorte e ser observador o bastante para tirar vantagem dessa sorte. A história da ciência está repleta de exemplo de "descobertas que passaram despercebidas". Embora muitos indivíduos tenham chegado a descobertas importantes durante o curso de suas pesquisas, ignoraram essas descobertas porque estavam buscando outra coisa. Até certo ponto, o investigador precisa estar preparado para aproveitar observações casuais.

Exemplo interessante do papel do acaso ocorre no trabalho do biólogo francês Louis Pasteur (1822-1895) com relação ao problema da imunidade. Em 1798, Edward Jenner havia demonstrado que animais e o homem podem ser imunizados contra a varíola, doença infecciosa, pela injeção de pequenas quantidades de material extraído das vesículas de gado afetado por uma condição similar, conhecida como varíola bovina. Constituiu esse, entretanto, um caso específico e Jenner não havia tentado estender sua descoberta a outras doenças. Mas, em meados do século dezenove, o problema de uma aplicação mais geral da técnica de Jenner para imunização contra todos os tipos de doenças era amplamente discutido nos círculos médicos. Poder-se-ia estabelecer imunização para outras doenças, como Jenner havia mostrado ser possível para a varíola bovina? Pasteur havia ponderado sobre esse problema por vários anos, enquanto se dedicava a outros campos da investigação. Uma ocorrência casual deu-lhe, então, indícios a partir dos quais foi desenvolvida toda a ciência teórica de imunologia.

Pasteur havia iniciado experiências sobre a cólera das galinhas na primavera de 1879, mas havia interrompido seu trabalho durante o verão. Ao voltar pelo início de setembro, as culturas da bactéria produtora dessa cólera aviária (que haviam sido simplesmente conservadas no laboratório por vários meses, sem quaisquer cuidados), deixaram de produzir a doença quando injetadas nas galinhas. Pasteur obteve uma nova cultura, virulenta (capaz de produzir doença), e a utilizou não só para inocular outros animais, mas também as galinhas que haviam sido inoculadas previamente com a cultura velha. Os animais do novo lote prontamente contraíram a doença, como seria de se esperar. Para sua surpresa, porém, verificou Pasteur que as galinhas inoculadas previamente não apresentaram sinais de cólera e permaneceram perfeitamente sadias.

Como resultado de suas próprias leituras e reflexões sobre o problema geral da imunidade, reconheceu Pasteur imediatamente a similaridade entre essa situação e a imunização de animais contra a varíola, realizada por Jenner. A evidência era, não obstante, escassa demais para a inferência de quaisquer conclusões realmente válidas. Mas Pasteur raciocinou o bastante para suspeitar da aplicação geral de um novo princípio. Ao transferir material de pústula variólica de uma vaca infectada, para o homem, Jenner havia alterado a constituição

humana de modo a torná-la "imune" à infecção por outros microrganismos relacionados. Pasteur reconhecia, então, que o efeito obtido por Jenner era uma manifestação de uma lei geral. A cultura bacteriana antiga que havia permanecido no laboratório de Pasteur durante todo o verão havia perdido sua capacidade de produzir os sintomas da doença nos organismos. Mas não havia perdido sua capacidade de induzir no animal hospedeiro a resposta imunitária que o torna não-receptivo para microrganismos virulentos do mesmo tipo, no futuro. Jenner havia utilizado o termo "vacina" para se referir à substância das vesículas das vacas doentes, para injeção em outros animais e no homem. Pasteur criou então o termo "vacinação" para definir a criação de imunidade por meios idênticos em qualquer organismo, contra qualquer das numerosas doenças infecciosas.

A observação casual de Pasteur permitiu-lhe realizar um salto especulativo do caso específico de Jenner ao princípio biológico geral de que microrganismos não-vivos de doenças infecciosas podem ser utilizados para estabelecer uma resposta imunológica em animais hospedeiros. Mas não houve, aqui, apenas o acaso; a própria compenetração de Pauster, da importância de sua observação, tornou-lhe possível o reconhecimento de uma tal generalização. Em outras palavras, o acaso é frequentemente um componente-chave nas descobertas científicas, mas raramente basta por si só, para produzir uma importante teoria ou idéia. Como disse o próprio Pasteur, "O acaso favorece a mente preparada".

4.4. HISTÓRIA DE UM CASO DE EXPERIMENTAÇÃO CIENTÍFICA

Tendo adquirido algumas idéias gerais quanto ao caráter e propriedades da experimentação científica, podemos agora continuar a analisar um projeto de pesquisa completo. Isso proporcionará melhor compreensão da forma pela qual a observação, o experimento e o raciocínio lógico interagem para conduzir a uma conclusão final. Como exemplo, consideraremos o trabalho de dois fisiologistas ingleses, W. M. Bayliss e E. H. Starling. Seu experimento foi simples mas engenhoso, e serve, pois, como excelente modelo para ilustrar algumas das características importantes do trabalho científico. Entretanto, para se compreender exatamente o que está envolvido no trabalho de Bayliss e Starling, é necessário, antes, conhecer-se (1) a anatomia geral do aparelho digestivo na área do pâncreas e (2) a natureza da polêmica entre fisiologistas, que levou à formulação do problema básico nas mentes de Bayliss e Starling.

Nas primeiras décadas deste século, Bayliss e Starling haviam descoberto que o pâncreas, um dos órgãos componentes do aparelho digestivo, é estimulado para liberar suas enzimas digestivas precisamente no momento exato em que o alimento passa do estômago para a porção superior do intestino delgado. A questão que permanecia insolúvel era basicamente, "qual é o mecanismo que estimula o pâncreas para liberar seu suco digestivo exatamente nesse momento?"

No processo digestivo normal, o alimento passa da boca ao **esôfago**, tubo longo que conduz ao estômago. A Fig. 4.1 mostra a organização básica do trato alimentar na região do pâncreas. No ponto em que o esôfago se une ao estômago (extremidade **cardíaca** do estômago), há um tipo especial de musculatura que, quando contraída, atua como um elástico, estabelecendo uma oclusão entre o estômago e o esôfago. Outra válvula, na extremidade inferior ou **pilórica** do estômago, desempenha função similar, fechando a passagem entre o estômago e o intestino. No interior do estômago assim guardado, o alimento é macerado pela ação da musculatura do próprio estômago e misturado com os sucos gástricos secretados pelo tecido que reveste as paredes do órgão. Quando o alimento está muito bem misturado e parcialmente digerido, a válvula pilórica se abre. O alimento passa para o **duodeno**, segmento da extremidade superior do intestino delgado de cerca de 25 a 27,5 cm de comprimento. Nesse ponto, o alimento está em um estado semilíquido conhecido como **quimo**. Abrindo-se no duodeno há um ducto proveniente do pâncreas. O pâncreas produz um suco digestivo que contém enzimas que atuam especificamente sobre cada um dos principais tipos de alimentos: carboidratos, gorduras e proteínas. Alguns minutos depois que o quimo penetrou no duodeno, o pâncreas começa a secretar seu suco digestivo. Esse suco se mistura ao quimo e a massa toda é lentamente deslocada ao longo do intestino delgado.

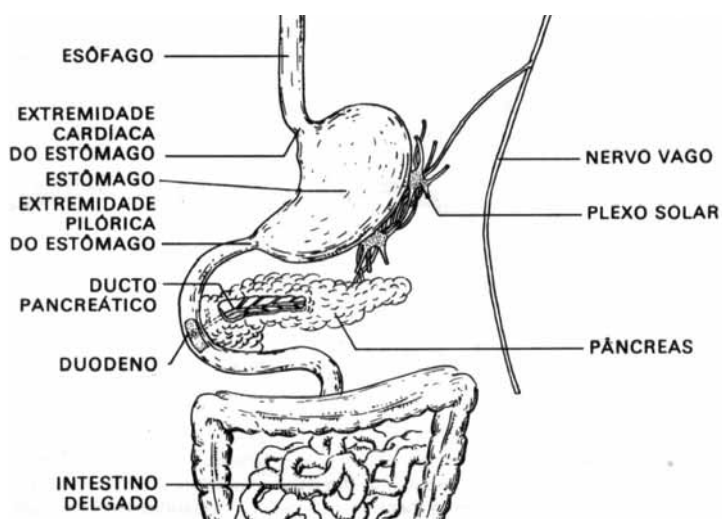


Figura 4.1. Esquema geral do trato alimentar, do esôfago à porção superior do intestino delgado. Está também ilustrado o nervo vago no lado esquerdo do corpo e o plexo solar, centro de reflexos para muitos órgãos nessa região do abdômen

Na ocasião em que Bayliss e Starling iniciaram sua investigação, a informação disponível consistia no seguinte: se a válvula pilórica fosse ligada de modo que o alimento não pudesse passar do estômago ao duodeno, não havia secreção pancreática. Portanto, a passagem do alimento do estômago para o duodeno, de alguma forma, fornecia o estímulo para que se iniciasse a secreção pancreática. Sabia-se também que o quimo que passava para o duodeno era extremamente ácido. Sugeria-se que a natureza ácida do quimo era responsável pela deflagração da secreção pancreática. Investigadores anteriores haviam demonstrado que a introdução de ácido clorídrico no duodeno de um animal anestesiado induzia proeminente atividade do pâncreas. A introdução de substâncias-controle semelhantes mas não ácidas, não induziam atividade secretora.

Hipótese I: o pâncreas é controlado pelo sistema nervoso. Ao penetrar no duodeno, o alimento estimula as terminações nervosas das paredes desse órgão. Os nervos correspondentes transmitem um impulso a vários centros da medula espinhal e do cérebro. A partir desses pontos de conexão, estímulos adequados são devolvidos ao pâncreas, desencadeando uma liberação de suco digestivo. O padrão básico do reflexo nervoso envolvido está ilustrado na Fig. 4.2.



Figura 4.2. Representação esquemática de um sistema reflexo, especificamente referido à hipótese prevalente antes do trabalho de Bayliss e Starling. Um nervo procedente do duodeno atinge um gânglio (centro de reflexos), tal como o plexo solar. Deste, a mensagem é canalizada para trajetos nervosos adequados que se dirigem a outros órgãos, neste caso, o pâncreas. O centro de reflexos atua, assim, como uma central telefônica

Hipótese II: o estímulo é transmitido das paredes do duodeno ao pâncreas, por meio de um "mensageiro químico" no sangue. Esse mensageiro seria talvez produzido pelas células da parede do duodeno.

Evidências para a hipótese I provinham do trabalho anterior de vários fisiologistas. Demonstravam que a estimulação de certos nervos, especialmente de alguns pertencentes a um importante trajeto conhecido como vago, levavam a um incremento da secreção pancreática. Sabia-se também que o nervo vago não sustava a secreção pancreática.

Os adeptos da hipótese II também contavam com boas evidências em suporte de sua teoria. Uma das experiências mais interessantes foi realizada na Alemanha na década de 1870. Dois cães foram anestesiados e unidos de forma a estabelecer uma interconexão de suas correntes circulatórias. Quando o duodeno de um desses dois cães foi exposto e injetado com ácido diluído, o pâncreas de ambos os animais começou a secretar suco pancreático. Como não havia interconexões do sistema nervoso entre os dois cães, o resultado experimental constituía boa evidência de que, de fato, um fator transportado pelo sangue seria o responsável pela ativação do pâncreas.

Com duas hipóteses contrárias para explicar o mesmo fenômeno, havia necessidade de um **experimento vital**, isto é, que servisse para invalidar uma dessas hipóteses. Lembremo-nos do Cap. 3, de que um experimento vital é o que se baseia sobre um ponto de discordância entre duas hipóteses rivais. Se duas hipóteses forem comparadas ponto-a-ponto e se verificar uma situação em que cada hipótese possibilita uma previsão diferente, pode-se estabelecer um experimento vital em torno desse ponto de divergência. Bayliss e Starling desenvolveram uma comprovação desse tipo. Raciocinaram:

Hipótese: SE... o pâncreas é estimulado por uma substância química no sangue ao invés de o ser por reflexos nervosos centrais ou periféricos,

Predição: ENTÃO... a extirpação de todos os gânglios e seccionamento de todos os trajetos nervosos possíveis entre o duodeno e o pâncreas não deveria interferir com a secreção pancreática quando se introduz ácido no duodeno.

Esse era o ponto de divergência entre as duas hipóteses, pois segundo a hipótese I, se todos os possíveis trajetos nervosos para o duodeno fossem seccionados, então a injeção de ácido não deveria induzir a secreção pancreática normal.

Em 1902, Bayliss e Starling realizaram seu experimento vital. Expondo o abdome de um animal anestesiado, removeram toda a inervação do duodeno e seccionaram os nervos vagos em ambos os lados do corpo. Isolaram cuidadosamente uma alça do duodeno por ligação em dois pontos, de modo a que ele já não ficasse conectado a outras porções do trato digestivo por qualquer abertura direta. Todas as demais conexões nervosas para o duodeno estavam ligadas ao corpo do animal unicamente por suas artérias e veias. Um tubo de vidro, cuja extremidade livre abria-se fora do corpo do animal, foi inserido no ducto pancreático de modo que o número de gotas de suco pancreático secretadas por unidade de tempo pudesse ser registrado com precisão sobre um tambor giratório ou *quimógrafo*. A Fig. 4.3 esquematiza a montagem dessa experiência.

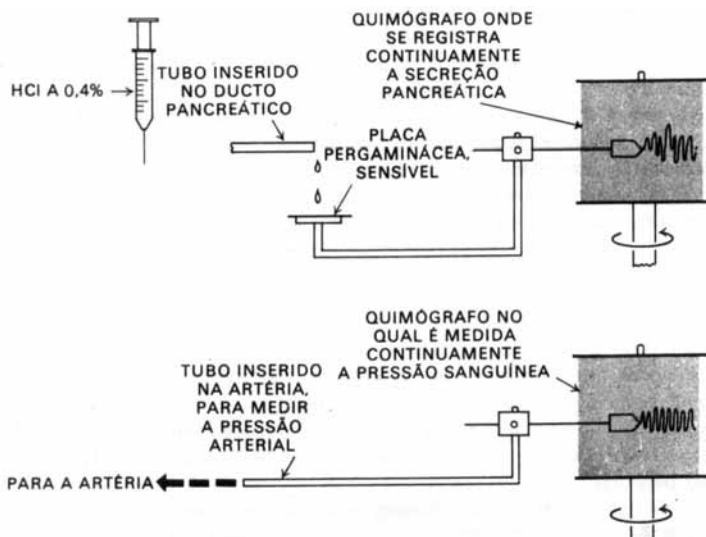


Figura 4.3. Montagem experimental para a pesquisa de Bayliss e Starling. A injeção de uma solução ácida no duodeno produz fluxo do fluido pancreático, medido no tambor à direita, em cima. Todas as conexões entre o duodeno e o restante do corpo foram seccionadas, exceto artérias e veias

Para se precaverem contra possíveis fontes de erros, Bayliss e Starling tiveram o cuidado de registrar, sobre um tambor giratório isolado, a pressão sanguínea do animal estudado. É importante ver por que foi necessária essa medida. Para seu funcionamento normal, os tecidos dependem de permeação por certa quantidade de sangue, a determinada pressão. Se a pressão cair, as substâncias presentes no sangue não passam dos capilares aos tecidos tão rapidamente e a atividade fisiológica desses tecidos fica então alterada. Se a pressão sanguínea do animal experimental caísse durante a experiência, poder-se-ia esperar que a quantidade de suco pancreático também cairia. Mantendo o registro contínuo da pressão sanguínea do cão, os pesquisadores poderiam dizer quando a redução do suco pancreático resultava de alteração na pressão sanguínea e quando resultava de alguma condição da experiência.

Injetando um pequeno volume de ácido clorídrico diluído (0,4%) na alça isolada do duodeno, verificaram Bayliss e Starling que após cerca de dois minutos, o pâncreas começava a secretar suco digestivo a uma taxa relativamente rápida. Parece que o intervalo de dois minutos excluía a transmissão nervosa do estímulo, que teria sido muito mais rápida. Considerou-se, portanto, possível que o agente indutor da secreção poderia ser transmitido através da corrente circulatória, de fluxo mais lento.

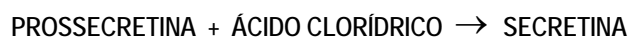
Como controle, Bayliss e Starling registraram a taxa de secreção pancreática em um animal anestesiado cujas conexões nervosas para o duodeno haviam sido deixadas intactas. Essa taxa, induzida pela introdução de HCl a 0,4% no duodeno, seria como comparação para a taxa observada nos animais experimentais. Note-se que a principal diferença entre os animais-controle e experimentais residia na ausência ou presença de conexões nervosas entre o duodeno e o pâncreas. Portanto, similaridade nas taxas de secreção nos dois animais indicaria que impulsos nervosos não constituiriam o fator principal na ativação do pâncreas porque se trajetos nervosos estivessem envolvidos na estimulação do pâncreas, então a taxa de fluxo seria maior no animal-controle (nervos intactos) do que no experimental (nervos lesados). Como a taxa de fluxo em ambos mostrou-se igual, concluíram Bayliss e Starling que se podia considerar responsáveis pela estimulação do pâncreas mecanismos diferentes do reflexo nervoso. A hipótese I foi, portanto, invalidada e a hipótese II, apoiada.

Mas isso não bastava. Uma vez excluída a hipótese da via nervosa, tornou-se uma fase importante do trabalho de Bayliss e Starling demonstrar exatamente qual era o hipotético mensageiro transportado por via sanguínea, onde era produzido e como atuava. Esses problemas formavam os fundamentos para a nova fase da experimentação.

Sabia-se que a injeção direta de ácido clorídrico no sangue não elevava a taxa de secreção pancreática. Portanto, o ácido em si não constituía o estímulo imediato. Bayliss e Starling concentraram-se, então, no tecido da parede do duodeno e do intestino. Como o quimo ácido proveniente do estômago penetra no duodeno e entra em contato com as células epiteliais (de revestimento) que compõem a parede do duodeno, era razoável supor-se que o quimo estimulasse a produção de alguma substância química nas células das paredes intestinais. Esse mensageiro químico, levado depois no sangue até o pâncreas, servia como estímulo para deflagrar a secreção de sucos digestivos por parte desse último.

Os pesquisadores testaram essa hipótese da seguinte forma. Destacaram algumas das células epiteliais da parede interna do duodeno e intestino, e misturaram essas células com ácido clorídrico diluído. Depois filtraram esse líquido e o injetaram na corrente sanguínea. Um minuto ou dois depois, registrou-se uma secreção abundantíssima de fluido pancreático, indicando que a ação do ácido sobre as células epiteliais causavam a formação de uma substância mensageira que passava para o sangue. Embora essa substância fosse distribuída a todos os tecidos do corpo, ela só estimulava as células do pâncreas. Bayliss e Starling denominaram a substância de **secretina**. Hoje sabemos que a secretina é uma dentre muitas substâncias, denominadas **hormônios**, que atuam desse modo geral. Hormônio é um mensageiro químico produzido por uma área do corpo (geralmente uma **glândula endócrina**) e que vai influir sobre outra área, muito específica. Certas células da parede do duodeno constituíam, assim, uma glândula endócrina produtora do hormônio secretina.

Investigação posterior demonstrou que se as células raspadas fossem coletadas de porções sucessivamente descendentes do intestino e misturadas com ácido, decrescia a magnitude de seu efeito sobre o pâncreas. Portanto, a extremidade inferior do intestino delgado não produzia qualquer secreção quando posta em contato com ácido clorídrico. A fim de explicar exatamente como isso podia ocorrer, Bayliss e Starling estabeleceram a hipótese de que as células das porções superiores do trato intestinal continham elevado teor de uma substância que designaram de *prosecretina*, que era convertida em secretina pela ação do ácido diluído sobre as células. Expressaram o fenômeno da seguinte forma:



Quanto mais distanciadas se situavam as células ao longo do intestino, porém, menos prosecretina continham e, portanto, produziam menos secretina quando estimuladas pelo ácido. Finalmente, as células da extremidade inferior do intestino não continham qualquer prosecretina e, por isso, não podiam atuar como glândula produtora de hormônio. É lógico que a área mais ativa do intestino deveria ser o duodeno - a área mais próxima à extremidade inferior do estômago. Ali o alimento acidificado exerce seu maior efeito e induz, assim, a secreção de suco digestivo mais ou menos rápida por parte do pâncreas.

O trabalho de Bayliss e Starling serviu para por ponto final a uma longa controvérsia. Por essa razão, é importante na história da fisiologia. Além disso, elucida muitos dos aspectos que muitas vezes fazem parte da experimentação científica. Consideremos alguns dos aspectos principais que esse trabalho experimental enfatiza.

1. Bayliss e Starling foram levados a empreender essa pesquisa devido à controvérsia existente. Essa controvérsia se desenvolveu entre duas hipóteses rivais, ambas as quais poderiam explicar o fenômeno da secreção pancreática de modo aceitável. Comparando as duas hipóteses ponto por ponto, conseguiram Bayliss e Starling encontrar uma área na qual uma teoria previa um resultado e a outra previa resultado diferente. Puderam, assim, organizar um **experimento vital** que desfez a controvérsia. Em outras palavras, formularam seu raciocínio de modo tal que somente uma pergunta constituía o objetivo do projeto experimental: secretaria o pâncreas seu suco digestivo se o duodeno estivesse isolado do animal por todas as vias exceto pela corrente circulatória?

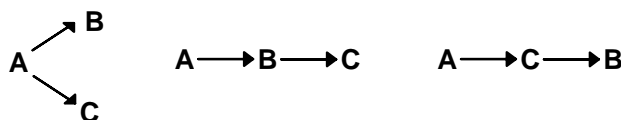
2. Os investigadores conseguiram expandir o experimento para alcançar mais do que a resposta a essa questão única. Conseguiram sugerir um mecanismo fisiológico pelo qual o quimo ácido do estômago efetivamente produz a estimulação do pâncreas através da corrente sanguínea. Isso ampliou sua descoberta original no experimento vital porque ofereceu um substituto para a hipótese da via nervosa - algum tipo de explicação química que concordou com suas novas descobertas. Este é um aspecto importante da experimentação científica. Não basta destruir uma hipótese antiga; é necessário, também, estender o trabalho o bastante para oferecer algum tipo de teoria substitutiva que esteja de acordo com todos os dados disponíveis. Em outros termos, um experimento vital deveria não apenas explicar as descobertas antigas, mas também quaisquer descobertas novas que a hipótese antiga não conseguia explicar.
3. Bayliss e Starling montaram seu experimento de modo a conseguir registrar os dados obtidos precisa e quantitativamente. Utilizando uma placa pergaminácea sensível e o tambor giratório, obtiveram um registro acurado do número de gotas de suco digestivo que o pâncreas secretava sob condições experimentais diversas. Tiveram também a precaução de registrar a pressão sanguínea, de modo que quaisquer alterações que esta pudesse exercer na atividade do pâncreas poderiam ser tomadas em consideração. Tentaram eliminar quaisquer falhas que pudesse reduzir a significação de suas descobertas.
4. Os investigadores introduziram um fator-controle, o animal no qual as conexões nervosas entre duodeno e pâncreas foram deixadas intactas. Dessa forma, a taxa de fluxo pancreático no animal com nervos seccionados podia ser comparada a algum padrão. O controle era importante nesse caso, uma vez que a finalidade principal do trabalho de Bayliss e Starling era mostrar que o reflexo nervoso não é uma causa significativa da secreção pancreática.

4.5. CONCLUSÃO

Neste capítulo, realizamos alguma introspecção na natureza dos experimentos científicos, suas características e seu planejamento. As características discutidas não são as únicas encontradas nos bons experimentos, e nem todos os experimentos válidos apresentam necessariamente essas características. Não obstante, todos os bons experimentos têm certas coisas em comum. Será importante procurar essas características à medida que outros experimentos vão sendo estudados. A validade dos resultados experimentais reside no grau em que são satisfeitos os critérios importantes do projeto experimental.

EXERCÍCIOS

1. Qual é a relação entre uma hipótese e um experimento?
2. Que é um experimento controlado? Por que é essencial o controle, sempre que possível, na investigação experimental? Enumere algumas das características mais importantes de um experimento científico controlado.
3. Um biólogo acha que a remoção do órgão A, uma glândula endócrina, de um mamífero adulto, faz com que os órgãos B e C deixem de funcionar. O órgão B também é uma glândula endócrina. As três possíveis explicações para essa ocorrência estão esquematizadas a seguir. (Para $A \rightarrow B$, leia "A é necessário a B" etc.)



Planeje uma experiência (ou experiência) que teste(m) essas possibilidades e que estabeleça(m) distinção entre as mesmas.

4. Com o objetivo de dar validade aos seus resultados experimentais, um cientista queria testar a eficácia de certa vacina. Foi a uma localidade cuja população era constituída por número igual de nativos e de pessoas de outra raça. Supostamente, a vacina devia imunizar contra certa doença à qual toda a população do local era suscetível. Qual das alternativas seguintes deveria ele seguir para testar sua vacina de forma válida?
 - A) Administrar a vacina aos nativos mas não aos não-nativos e observar os resultados.
 - B) Administrar a vacina aos não-nativos mas não aos nativos e observar os resultados.
 - C) Administrar a vacina aos nativos e uma solução salina inócua aos não-nativos e observar os resultados.
 - D) Administrar à metade dos nativos e à metade dos não-nativos a vacina, e a todos os restantes uma solução salina inócua, e aguardar os resultados.
 - E) Não se pode realizar um experimento válido e controlado com seres humanos, visto serem eles tão complexos.

5. Das seguintes observações obtidas experimentalmente quanto à nutrição mineral dos vegetais, estabeleça uma conclusão quanto ao fator ou fatores necessários ao desenvolvimento da clorofila nas plantas verdes.

- Observação 1.* Plantas cultivadas em solo que contém cloreto e magnésio, em presença de luz, tornaram-se verdes.
Observação 2. Plantas cultivadas em solo que contém cloreto mas não magnésio, e em presença de luz, permaneceram brancas.
Observação 3. Plantas cultivadas em solo que contém cloreto e magnésio, mas mantidas no escuro, permaneceram brancas.
Observação 4. Plantas cultivadas em solo que contém magnésio mas não cloreto, e em presença de luz, tornaram-se verdes.
Observação 5. Plantas cultivadas em solo que contém cloreto mas não magnésio e mantidas no escuro, permaneceram brancas.
Observação 6. Plantas cultivadas em solo que não contém magnésio nem cloreto, mas em presença de luz, permaneceram brancas.
Observação 7. Plantas cultivadas em solo que contém magnésio mas não cloreto, e mantidas no escuro, permaneceram brancas.
Observação 8. Plantas cultivadas em solo que não contém cloreto ou magnésio, e mantidas no escuro, permaneceram brancas.

Conclusão: o(s) fator(es) necessário(s) para o desenvolvimento de clorofila, a julgar pelo experimento relatado, é(são):...

6. Há poucos anos, realizaram-se numerosos experimentos com uma droga psicotrópica conhecida como psilocibina. Essa droga, um extrato de certos fungos, ativa os sentidos, torna a pessoa mais consciente de seu meio ambiente e, supostamente, confere a cada indivíduo uma compreensão mais profunda de si próprio. Para medir os efeitos da droga, várias pessoas, inclusive o próprio pesquisador, tomariam uma dose simultaneamente. Argumentavam os pesquisadores que somente quando o próprio investigador também estivesse sob influência da droga poderia ele avaliar adequadamente as reações dos indivíduos submetidos à mesma. Discuta a forma ou formas pelas quais um experimento desse tipo deixa de atender aos requisitos de um experimento científico válido.

7. Um grupo de cientistas queria saber que fator(es) fazia(m) com que os ratos fossem suscetíveis a certa doença produzida por vírus.

Hipótese: a dieta é o fator responsável pela suscetibilidade à condição induzida por determinado vírus.

Procedimento experimental: Preparam-se seis gaiolas para abrigarem, cada uma, vinte ratos escolhidos ao acaso no biotério do laboratório. Preparou-se uma ração especial, com o teor adequado de carboidratos, gordura, proteínas, vitaminas e minerais. Os ratos foram submetidos a alimentação com rações das seguintes fórmulas:

- Gaiola A* - Os vinte ratos receberam a ração especial.
Gaiola B - Os vinte ratos receberam a ração especial destituída de carboidratos.
Gaiola C - Os vinte ratos receberam a ração especial destituída de gorduras e de carboidratos.
Gaiola D - Os vinte ratos receberam ração constituída unicamente por minerais e vitaminas.
Gaiola E - Os vinte ratos receberam ração constituída unicamente por minerais.
Gaiola F - Os vinte ratos não receberam qualquer tipo de alimentação.

Avalie cada uma das ocorrências ou resultados I-IV tendo por base considerações como as seguintes:

- É uma etapa lógica no procedimento experimental?
 - Há controle adequado de todas as variáveis, ou são introduzidas variáveis adicionais?
 - É o resultado observado (se é que é um resultado) esperado ou não esperado?
 - Está a ocorrência relacionada a sucesso ou falha da experiência?
- Os ratos utilizados para introduzir o vírus nos ratos das gaiolas A, B, C, D e E foram capturados nos esgotos da cidade e colocados nas gaiolas assim que apresentaram sintomas do vírus.
 - Os ratos das gaiolas E e F aparentemente perderam peso mais rapidamente, mas não apresentaram sintomas do vírus.
 - Todos os ratos da gaiola F sobreviveram aos de todas as demais gaiolas.
 - Água suficiente e temperatura adequada foram proporcionadas a todos os ratos das seis gaiolas, durante toda a experimentação.