

Visões alternativas do método científico

Fernando de Pol Mayer (LEG/DEST/UFPR)

2021-02-01 (última atualização 2021-10-14)



Visões alternativas do método científico

Material baseado em:

- Hilborn, R; Mangel, M. [The ecological detective: confronting models with data](#). Princeton University Press, 1997.

Objetivos

- Entender as lógicas básicas do pensamento humano e científico
- Entender o procedimento padrão do método científico dominante na estatística (e na ciência em geral)
- Conhecer visões alternativas do método científico e estatístico

Método científico

Método dedutivo

- **René Descartes** (1596-1650) apresenta o método dedutivo a partir da **matemática** e de suas regras de evidência, análise, síntese e enumeração
- Esse método parte **do geral** e, a seguir, desce **para o particular**
- O protótipo do raciocínio dedutivo é o **silogismo**
 - A partir de duas proposições chamadas **premissas**, retira uma terceira chamada conclusão
- As duas premissas são verdadeiras, portanto a conclusão é verdadeira.
- Parte-se de princípios reconhecidos como **verdadeiros e indiscutíveis**, possibilitando chegar a conclusões de maneira puramente formal, em virtude de sua **lógica**.
- Este método tem larga aplicação na Matemática e na Física, cujos princípios podem ser enunciados por leis.

Exemplo:

Todo mamífero tem um coração.

Ora, todos os cães são mamíferos.

Logo, todos os cães têm um coração.

Método indutivo

- Para **Francis Bacon** (1561-1626), o conhecimento científico é o único caminho seguro para a verdade dos fatos
- Como Galileu, critica Aristóteles por considerar que **o silogismo e o processo de abstração não propiciam um conhecimento completo do universo**
- O conhecimento científico, para Bacon, tem por finalidade servir o homem e dar-lhe poder sobre a natureza.
- Bacon, um dos fundadores do Método Indutivo, considera:
 - as circunstâncias e a **frequência** com que ocorre determinado fenômeno
 - os casos em que o fenômeno não se **verifica**
 - os casos em que o fenômeno apresenta **intensidade diferente**

- Exemplo:

Antônio é mortal.

Benedito é mortal.

Carlos é mortal.

Zózimo é mortal.

Ora, Antônio, Benedito, Carlos, ... e Zózimo são homens.

Logo, (todos) os homens são mortais.

- A partir da observação, é possível formular uma **hipótese explicativa** da causa do fenômeno.
- Portanto, por meio da indução chega-se a **conclusões que são apenas prováveis**.

Método científico

Aprendizado dedutivo-indutivo

- O processo **dedutivo-indutivo** de aprendizado é orientado pelo cérebro humano
- É conhecido desde o tempo de Aristóteles e faz parte de nossa **experiência cotidiana**

O aprendizado avança conforme ilustrado na figura abaixo :

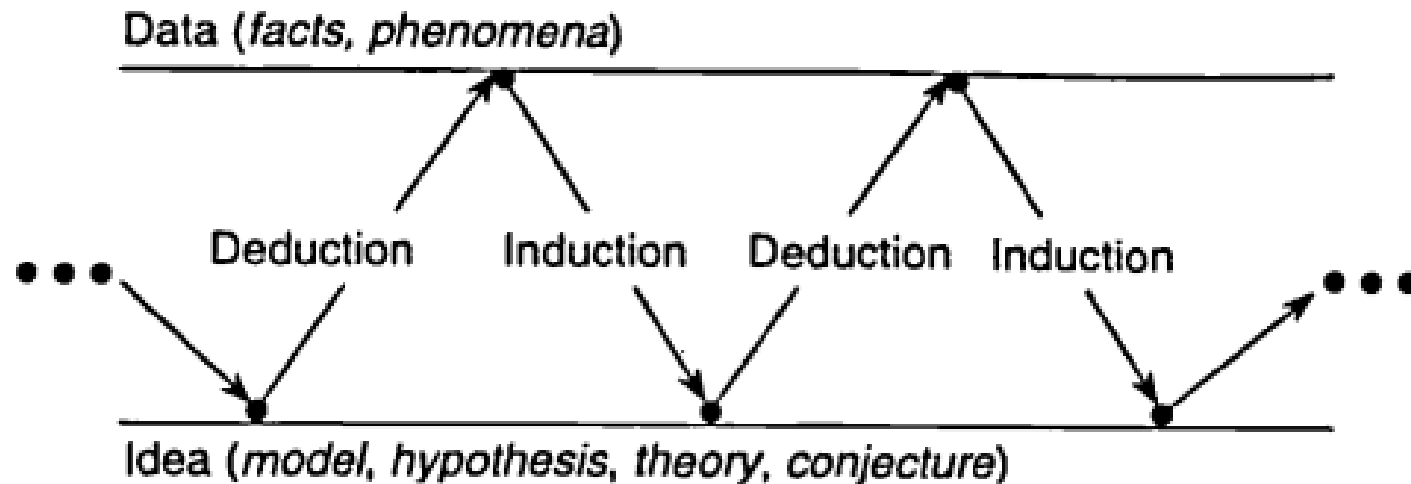
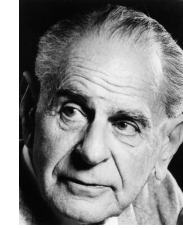


Figure 1.1. Iterative learning process.

Método hipotético-dedutivo

- Método definido por **Karl Popper**, a partir de suas críticas ao método indutivo.
- Para ele, o método indutivo não se justifica, pois o **salto** de “alguns” para “todos” exigiria que a **observação de fatos isolados fosse infinita**.
- Pode ser explicado a partir do seguinte esquema:
 - Problema
 - Hipóteses
 - Dedução das consequências observadas
 - Tentativa de falseamento
 - Corroboração
- Para tentar explicar um problema, são formuladas hipóteses; destas deduzem-se consequências que deverão ser testadas ou **falseadas**.



- **Falsear** significa tentar tornar falsas as consequências deduzidas das hipóteses.
- Enquanto no método dedutivo se procura confirmar a hipótese, no **método hipotético-dedutivo se procuram evidências empíricas para derrubá-la**.
- Quando não se consegue derrubar a hipótese, tem-se sua **corroboração**
- Segundo Popper, a hipótese se mostra **válida**, pois superou todos os testes
- Porém ela **não é definitivamente confirmada**, pois a qualquer momento poderá surgir um fato que a invalide.

Método científico

Um loop de feedback

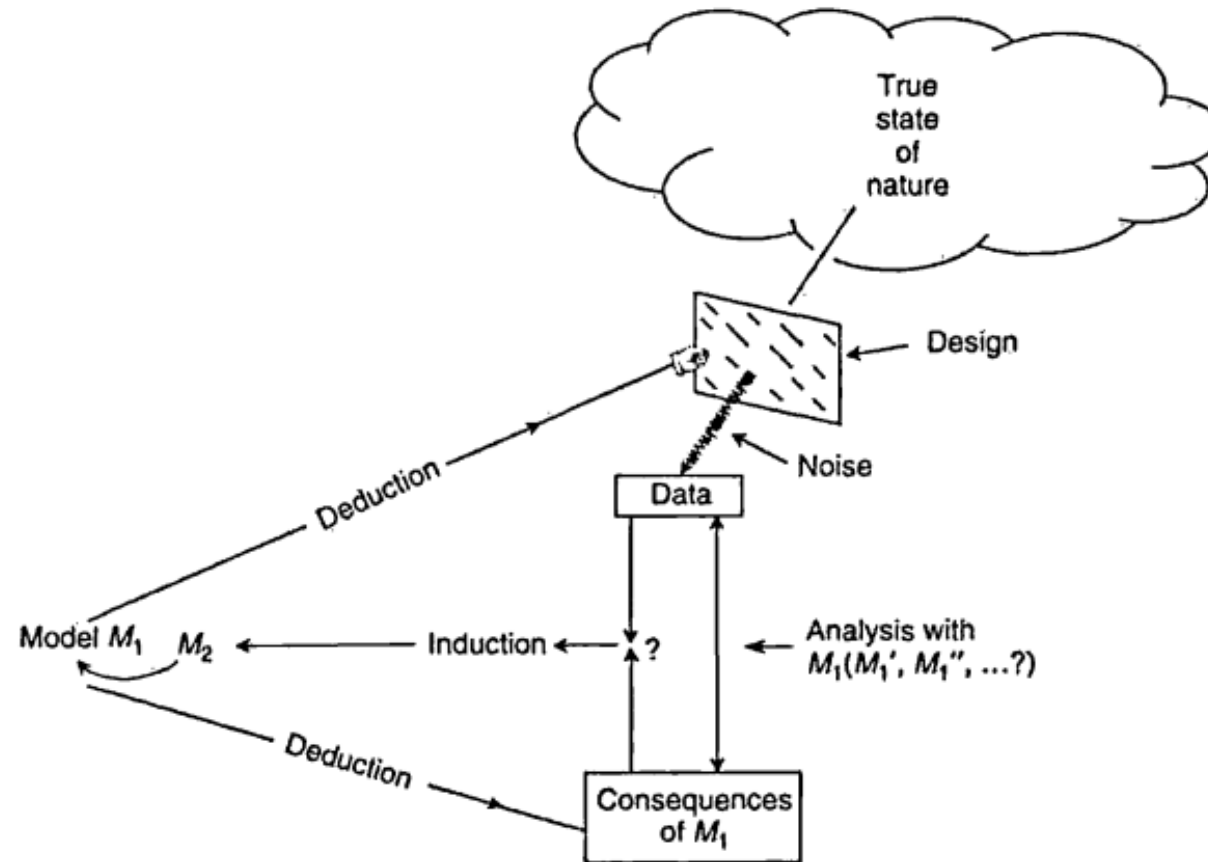


Figure 1.2. Iterative problem solving seen as a feedback loop.

Como a ciência funciona

Como a ciência funciona

A Ciência é um processo de aprendizado da natureza, onde ideias concorrentes sobre como funciona o mundo são medidas contra observações.

Richard Feynman, 1965

- Descrições: incompletas
- Observações: incertas e imprecisas
- Métodos para avaliar a concordância entre as ideias e as observações = **Estatística**

- Nenhum cientista consegue ser verdadeiramente **neutro**
- Todos os cientistas atuam dentro de uma **visão fundamental filosófica**
- Isso interfere:
 - Nas ferramentas estatísticas que serão utilizadas
 - Nos tipos de experimentos que deverão ser realizados

Como a ciência funciona (atualmente)

Árvore de aprendizado

1. Conceber **hipóteses alternativas**.
2. Conceber um **experimento crucial** (ou vários deles)
 - Possíveis resultados alternativos
 - Cada um poderá **excluir**, dentro do possível, **uma ou mais hipóteses**
3. Realizar o experimento de forma a obter resultados mais confiáveis possíveis.
4. **Reciclar o procedimento**
 - Criar sub-hipóteses ou hipóteses sequenciais para refinar as possibilidades que restam

- Esta visão de Platt é naturalmente uma extensão lógica do trabalho de **Popper**

Uma hipótese não pode ser provada, apenas desprovada

- A essência do método Popperiano é "**desafiar**" uma hipótese repetidamente.
 - Se a hipótese permanece válida então ela **não é validada**, mas adquire um certo "**grau de confiança**"

Como a ciência funciona (atualmente)

Coincidindo com esta filosofia de Popper está o trabalho estatístico de **Ronald Fisher, Karl Pearson, Jerzy Neyman e outros**, que desenvolveram grande parte da teoria estatística atual associada a **testes de hipótese**.

Em um teste de hipótese, nós concentramos em uma única hipótese ("**hipótese nula**" ou H_0) e calculamos a probabilidade dos dados terem sido observados **assumindo que a hipótese nula seja verdadeira**

$$P(\text{Dados} | H_0 \text{ verdadeira}) = \alpha^* = p\text{-valor}$$

Se essa probabilidade:

- For muito baixa (usualmente abaixo de 0.05 ou 0.01), então **rejeitamos** a hipótese nula.
- For alta (usualmente acima de 0.05), então **não rejeitamos** a hipótese nula.

Lembre-se que, segundo a filosofia de Popper:

- Uma hipótese não pode ser provada, apenas desprovada.
- Por isso, não podemos **aceitar** uma hipótese (já que ela não pode ser provada)

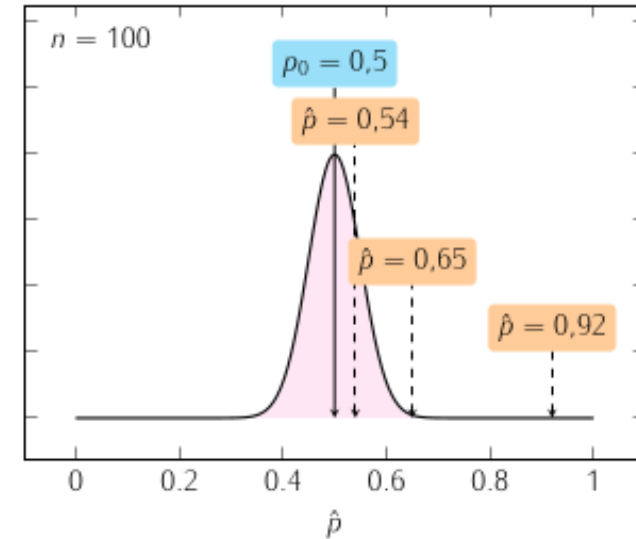
aceitar \neq **não rejeitar**

Um exemplo: proporção sexual em peixes

- Deseja-se estudar a proporção de peixes machos e fêmeas de uma mesma espécie em uma lagoa.
- Sem nenhuma informação prévia, supõe-se que a proporção sexual é de 50% ($p = 0.5$).
- Se, em uma amostra de 100 peixes:
 - 54 forem fêmeas.
 - 65 forem fêmeas.
 - 92 forem fêmeas.
- Qual a evidência necessária para concluir que a proporção de fêmeas é maior que a de machos nessa população?

$$H_0 : p = 0.5$$

$$H_a : p > 0.5$$



Proporções amostrais supondo $p = 0.5$ na população.

Tipos de hipótese

Hipótese nula H_0

- É uma afirmativa de que o valor de um parâmetro populacional é **igual** a algum valor especificado.

- Exemplos:

$$\mu = 10$$

$$p = 0.5$$

$$\sigma^2 = 4.$$

- O termo *nula* é usado para indicar nenhuma mudança ou nenhum efeito.

Hipótese alternativa H_a

- É uma afirmativa de que o parâmetro tem um valor que, de alguma forma, **difere** da hipótese nula.

- Exemplos:

$$\mu \neq 10$$

$$p > 0.5$$

$$\sigma^2 < 4.$$

Tipos de hipótese

- Se você está fazendo um estudo e deseja usar um teste de hipótese para **apoiar** sua afirmativa, esta deve ser escrita de modo a se tornar a **hipótese alternativa**.
- Você nunca pode apoiar uma afirmativa de que um parâmetro **seja igual** a algum valor específico.
- Nesse contexto de se tentar apoiar o resultado de pesquisa, a hipótese alternativa é, algumas vezes, chamada de **hipótese de pesquisa**.

No exemplo anterior, a **hipótese de pesquisa** é a de que

a proporção de fêmeas é maior do que a proporção de machos

- Supondo inicialmente que a proporção de fêmeas é de 50% ($p = 0.5$), então as **hipóteses estatísticas** são

$$H_0 : p = 0.5 \quad \text{vs} \quad H_a : p > 0.5$$

- Com isso, deseja-se que a **hipótese nula** $p = 0.5$ seja rejeitada, de modo que a **hipótese alternativa** $p > 0.5$ seja apoiada.
- Apoiar a hipótese alternativa de que $p > 0.5$ é o mesmo que apoiar a afirmativa de a proporção de fêmeas na população é maior do que a de machos.

hipótese de pesquisa \neq hipótese estatística

Como a ciência funciona (atualmente)

Depois de testar a hipótese de que a proporção de fêmeas é maior do que a proporção de machos

- Nós continuaríamos subindo na "árvore de aprendizado" do Platt
- Para que lado da árvore nós vamos dependerá se o resultado foi "estatisticamente significativo" ou não (*i.e* rejeitamos ou não a hipótese nula)

Os pontos chave para essa visão da ciência são:

1. O confronto entre uma **única** hipótese e os dados
2. O experimento crítico
3. A falsificação como a única "verdade"

Popper forneceu a filosofia, e Fisher, Pearson e colegas forneceram a estatística.

Como a ciência funciona (atualmente)

Se a hipótese nula for rejeitada

- Temos uma evidência científica
- Existe apoio à hipótese de pesquisa
- Hipóteses alternativas podem ser **induzidas** (sobe na árvore)
- Se esse experimento for realizado repetidas vezes, e o resultado permanece o mesmo, então essa hipótese de pesquisa vai adquirindo seu **grau de confiança**

Se a hipótese nula **não** for rejeitada

- Não existe apoio à hipótese de pesquisa
- O que fazer?
 - Reformular a hipótese?
 - Coletar mais dados?
 - ?

Apesar de ser a mais utilizada na estatística (e na ciência em geral), a visão Popperiana do método científico é apenas uma entre várias alternativas.

Visões alternativas do método científico

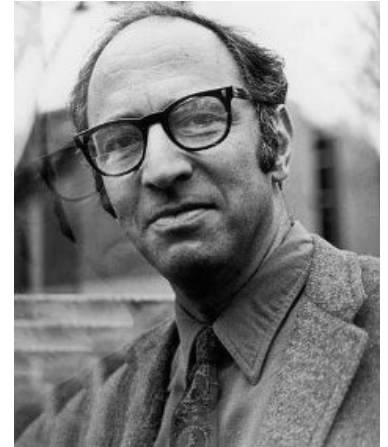
Visões alternativas do método científico

Filósofo	Tema central	Tipo de confronto
Popper	Falsificação da hipótese nula	Uma única hipótese é desprovada em confronto com os dados
Kuhn	Paradigmas, ciência normal, revoluções científicas	Uma única hipótese é utilizada até que existam informações contraditórias suficientes para que ela seja "derrubada" por uma hipótese "melhor"
Polanyi	República da ciência	Múltiplas visões do mundo são permitidas de acordo com a opinião de diferentes cientistas. O confronto entre essas visões e os dados é julgado de acordo com (i) a plausibilidade, (ii) o valor, (iii) o interesse
Lakatos	Programa de Pesquisa Científica	Confronto entre múltiplas hipóteses, tendo os dados como mediador

Visões alternativas do método científico

Thomas Kuhn

- Introduziu as ideias de "ciência normal", "paradigmas científicos", e "revoluções científicas"
- Para Kuhn, os cientistas normalmente atuam dentro de **paradigmas específicos**, que são descrições gerais de como o mundo funciona
- A **ciência normal** envolve a coleta de dados dentro do contexto do paradigma atual
 - Não confronta o paradigma atual, mas sim o executa
 - O paradigma dita o tipo de experimento que deverá ser executado, quais dados serão coletadas, e como serão analisados e interpretados
- Uma verdadeira mudança (quebra de paradigma ou **revolução científica**) ocorrerá quando:
 1. Um grande conjunto de dados contraditórios é acumulado, de maneira que o paradigma atual não consegue mais explicar os dados
 2. Existe um paradigma alternativo, que consegue explicar as discrepâncias entre o antigo paradigma e as observações



Visões alternativas do método científico

Thomas Kuhn

- Raramente (ou nunca) existirá um experimento crítico **ao nível do paradigma**
- Uma particular "anomalia" (**resultado contraditório**), será tratada como um problema de medida (ou pontual)
- Somente a *coleção de experimentos contraditórios* é que levará à uma revolução científica
- A árvore de aprendizado e os experimentos críticos de Platt **podem** até ocorrer, **mas** somente dentro de um paradigma individual
 - Isso de fato caracteriza os procedimentos da ciência normal
- No exemplo anterior
 - O **procedimento** para a verificação da proporção de fêmeas seria a "ciência normal"
 - Isso ocorre dentro de um paradigma muito mais amplo (como o da seleção natural ou comportamento biológico de populações naturais neste caso)

Visões alternativas do método científico

Michael Polanyi

- Descreve que a **república de ciência** consiste de uma comunidade de pensadores independentes cooperando livremente entre si
- Para Polanyi, isso representa uma versão simplificada de uma sociedade livre
 - Cientistas são *treinados* por um *mestre* (orientador)
 - Aprendizes observam e participam
 - Os indivíduos constituem a **república** de cidadãos ensinados por essa cadeia de ensino-aprendizado
 - É este sistema que previne que a ciência se torne "rígida" ou "estagnada"
- O aprendiz recebe um elevado padrão de conhecimento científico e desenvolve sua própria capacidade de julgamento para assuntos científicos
- Segundo Polanyi, existem três critérios para esse julgamento
 1. Plausibilidade (conformidade)
 2. Valor científico (interesse, importância)
 3. Originalidade (pensamento criativo)



Visões alternativas do método científico

Michael Polanyi

- Polanyi argumenta implicitamente que o confronto
 - não é entre **uma** hipótese e os dados
 - mas sim **entre hipóteses** (diferentes descrições de como o mundo funciona) e os **dados** (observações e medidas)
- Existe uma interseção entre as ideias de Polanyi e Kuhn
 - O sistema de aprendizado é a essência da "ciência normal" de Kuhn
 - Aprendizes aprendem com seus orientadores os experimentos e análises que devem fazer
 - De certa forma, esses aprendizes continuam trabalhando no mesmo tipo de problema por toda a carreira
 - É apenas o cientista "não usual" que "rompe" com o sistema padrão e entra em uma nova área

Visões alternativas do método científico

Imre Lakatos

- Lakatos descreve o que chama de **Programa de Pesquisa Científica** (PPC)
 - Um conjunto de regras metodológicas que indicam os caminhos a serem guiados e evitados
 - O "**núcleo rígido**" é o elemento chave de um PPC
 - Ao redor do núcleo, existe um conjunto de hipóteses
 - Esse conjunto de hipóteses é chamado de "**cinturão**", que **protege** o núcleo
 - As hipóteses individuais do cinturão podem ser testadas
 - Raramente o núcleo pode ser desafiado diretamente
- Lakatos aponta que muitas **hipóteses** têm sido consideradas e utilizadas, apesar de suas reconhecidas inconsistências
 - Leis de Newton
 - Teoria da gravidade
 - Modelos gerais de química orgânica
- Apesar disso, elas *são utilizadas por não haver um substituto melhor*



Visões alternativas do método científico

Imre Lakatos

- O valor de um PPC é a sua habilidade em fazer novas predições e prover explicações simples e detalhadas **sobre o que é conhecido**
- Um PPC só pode ser substituído por outro PPC
 - *Não podemos rejeitar uma hipótese a menos que exista uma outra melhor para substituí-la*
- Portanto, na visão Lakatosiana, **o confronto deve ser sempre entre hipóteses concorrentes e os dados**
 - Uma hipótese individual **pode** ser *inconsistente* com os dados
 - Mas a menos que exista outra mais consistente, não descartaremos a primeira, pois é necessário que se continue investigando

Visões alternativas do método científico

De maneira geral

- o falsificacionismo de Popper
- a ciência normal de Kuhn
- a república da ciência de Polanyi
- o cinturão de hipóteses auxiliares de Lakatos

são descrições diferentes da **mesma atividade científica**.

Será muito raro que as ideias gerais como

- a teoria da evolução natural
- a teoria da relatividade

sejam **verdadeiramente testadas**.

Na verdade, a maior parte do trabalho de um cientista será em um nível muito mais "mundano", que, dependendo do filósofo, será

- falsificando hipóteses, segundo Popper
- quebrando paradigmas, segundo Kuhn
- fazendo ciência normal, segundo Polanyi
- testando hipóteses auxiliares, segundo Lakatos

Visões alternativas do método científico

Visões alternativas na estatística

A teoria estatística **mais utilizada/ensinada atualmente** é aquela baseada na visão filosófica da ciência de Popper

- falseamento de uma **única** hipótese
- árvore de aprendizado

Será que existem alternativas?

Sim!

O campo chamado de **inferência bayesiana** (ou **estatística bayesiana**)

- provê a teoria e as ferramentas para o teste de **múltiplas hipóteses concorrentes**
- vai de encontro com a visão filosófica da ciência de **Lakatos**
 - o confronto deve ser entre **hipóteses concorrente e os dados**

Para simplificar a comparação vamos chamar essas duas visões de **clássica/Popperiana** e **bayesiana/Lakatosiana**

Visões alternativas do método científico

Inferência bayesiana

Baseada no **Teorema de Bayes**

$$\begin{aligned} [H_i|D] &= \frac{[DH_i]}{[D]} \\ &= \frac{[D|H_i][H_i]}{[D]} \\ &\propto [D|H_i][H_i] \end{aligned}$$

- $[H_i|D]$ é a probabilidade da hipótese H_i , condicionada aos dados D (**posterior**)
- $[D|H_i]$ é a probabilidade do dado, condicionada à hipótese (**verossimilhança**)
- $[H_i]$ é a distribuição de probabilidade **a priori** para a hipótese
- O resultado será a probabilidade de cada uma das $i = 1, \dots, k$ hipóteses concorrentes

Suponha que se deseja testar 3 hipóteses concorrentes (H_1, H_2, H_3) para o mesmo conjunto de dados observado D . O resultado será

$$\begin{aligned} [H_1|D] &= p_1 \\ [H_2|D] &= p_2 \\ [H_3|D] &= p_3 \end{aligned}$$

Com isso, é possível determinar qual a **hipótese mais plausível**, de acordo com os dados.

Visões alternativas do método científico

Visões alternativas na estatística

Popperiana/clássica

$$P[D|H_0]$$

- Confronto entre dados e uma **única** hipótese
- **Rejeita/não rejeita** a hipótese nula
- Hipótese é **falsificada** (mas nunca provada)
- **Experimentos críticos** são aqueles que (geralmente) fazem a hipótese nula ser rejeitada

- Para **Lakatos**, uma hipótese não pode ser rejeitada, a menos que exista uma **alternativa melhor**
- Para **Popper**, uma hipótese pode, **sozinha**, ser rejeitada/não rejeitada

Lakatosiana/bayesiana

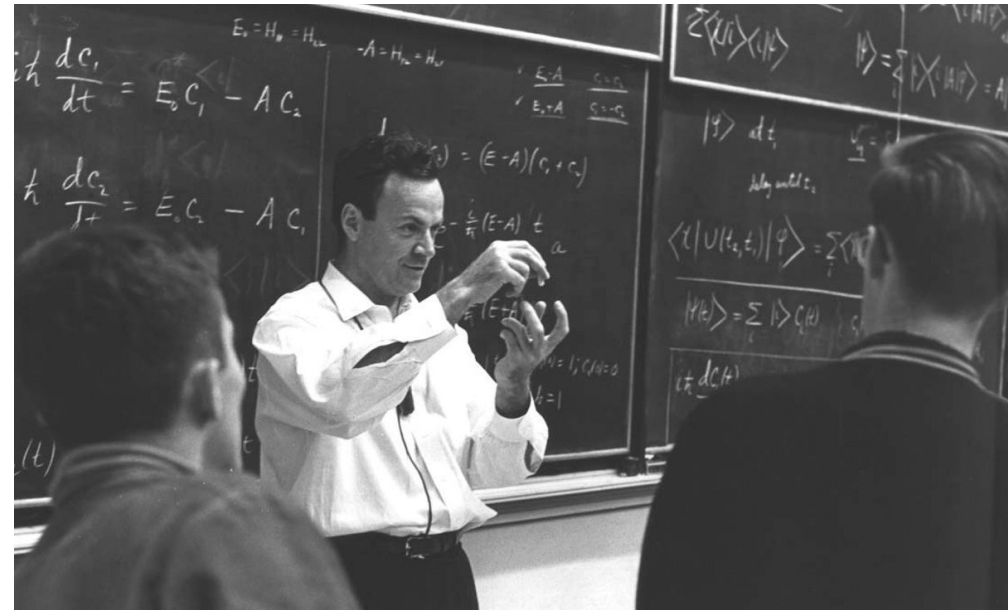
$$P[H_i|D], \quad i = 1, 2, \dots, k$$

- Confronto entre dados e **múltiplas** hipóteses
- Grau de plausibilidade (ou confiança) em **cada** hipótese
- Hipóteses são **classificadas** em ordem crescente/decrescente de confiança
- **Experimentos críticos** são aqueles capazes de mudar os graus de confiança entre as hipóteses

Visões alternativas do método científico

*As declarações da ciência não são sobre o que é verdade e o que não é verdade, mas declarações do que é conhecido com **diferentes graus de certeza***

@ProfFeynman

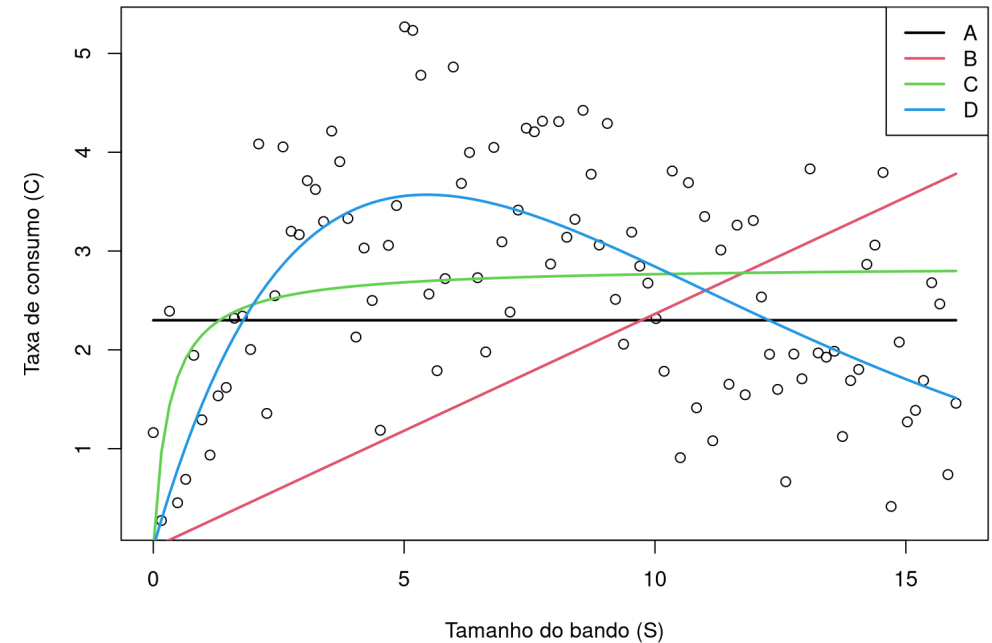


Exemplo

Hipótese de pesquisa: bandos maiores de pássaros possuem uma taxa maior de consumo (forrageamento)

- Quatro modelos de forrageamento podem ser propostos
- Cada "modelo" aqui se refere à uma hipótese

Hipótese	Modelo	Descrição
A	$C = a$	Consumo independente do tamanho do bando (modelo nulo)
B	$C = aS$	Consumo é proporcional ao tamanho do bando
C	$C = \frac{aS}{1+bS}$	Consumo satura à medida que o tamanho da bando aumenta
D	$C = aSe^{-bS}$	Consumo aumenta e depois diminui com o aumento do tamanho do bando



Exemplo

Popperiana/clássica

$$P[D|H_0]$$

- Modelos B, C, e D seriam confrontados **individualmente** com o modelo nulo

$$H_0 = H_A \text{ vs } H_B$$

$$H_0 = H_A \text{ vs } H_C$$

$$H_0 = H_A \text{ vs } H_D$$

- Em cada teste há apenas duas possíveis decisões: **rejeitar** ou **não rejeitar** H_0
- As hipóteses não podem (a princípio) serem testadas "par-a-par" pois isso diminui o nível de significância (global) do teste

Lakatosiana/bayesiana

$$P[H_i|D], \quad i = A, B, C, D$$

- O confronto seria entre os quatro modelos competidores e os dados
- Pode-se determinar o **grau de plausibilidade** de cada hipótese/modelo

$$[H_A|D] = p_A$$

$$[H_B|D] = p_B$$

$$[H_C|D] = p_C$$

$$[H_D|D] = p_D$$

- Se, por exemplo,

$$p_D > p_C > p_B > p_A$$

então assumimos que o modelo D é o mais plausível **entre os 4 testados**

Referências

Referências

NULL