

4.4.5. Experimentos de Mendel

Como visto na Seção 4.2, para testar uma hipótese precisamos de *deduzir* alguma de suas consequências (o que aconteceria se a hipótese fosse verdadeira), e depois verificar empiricamente, por experimentos ou por observação, se esta consequência prevista realmente ocorre. Por exemplo, uma das consequências previstas da Teoria da Relatividade era a de que a trajetória da luz deve se curvar quando os raios luminosos passam perto de um corpo de grande massa; isto foi confirmado em 1919, e esta descoberta foi uma das primeiras fortes evidências em favor da Teoria da Relatividade.

Nas ciências onde há grande incerteza, estas verificações são um tanto mais complicadas. Uma destas áreas é a Genética. Antes do trabalho de Gregor Mendel (1822-1884), havia a teoria genética da “mistura”: acreditava-se que os traços dos pais se *misturavam* como líquidos, e que os descendentes recebiam estes traços misturados. Há vários exemplos que parecem apoiar esta teoria; um deles é a cor da pele das pessoas: uma mulher branca, casada um homem negro, tem geralmente filhos com a cor da pele intermediária.

Mendel deve ter observado porém que esta teoria não parecia funcionar no caso de sistemas mais simples, como as ervilhas. Por exemplo, Mendel verificou que o cruzamento de ervilhas verdes com ervilhas amarelas dava como resultados ervilhas amarelas, nunca verde-amareladas. Além disso, o cruzamento de ervilhas amarelas com outras amarelas dava às vezes como resultado ervilhas verdes, às vezes amarelas, mas nunca numa cor intermediária. Mendel fez então milhares de experimentos, concentrando-se sobre sete características diferentes das plantas. Uma delas foi a comprimento do talo da planta; havia plantas de talo alto e de talo baixo. Mendel verificou que o cruzamento de ervilhas de talo alto com as de talo baixo resultava sempre em ervilhas de talo alto, nunca em ervilhas com talos de comprimento intermediário. Além disso, o cruzamento de ervilhas de talo alto com outras de talo alto resultava mais provavelmente em ervilhas com talos altos, mas às vezes também numa minoria com talos baixos; a característica “talo baixo”, que aparentemente não estava presente nos pais, reaparecia na segunda geração (Bronowski, 1979).

Mendel criou então uma nova teoria: as características herdáveis são ditadas por “partículas” (genes), presentes dentro das células dos seres vivos. Estas partículas têm um par de componentes, e indicam a ocorrência ou não de uma característica (por exemplo, cor *verde* ou *não-verde*; *talo alto* ou *talo baixo*, superfície *lisa* ou *rugosa*). Estas partículas são passadas aos descendentes; no cruzamento, os componentes de cada partícula dos pais se separam, e o indivíduo recebe um componente de seu pai e outro de sua mãe, combinados aleatoriamente. Por exemplo, se considerarmos a característica “altura do talo da planta”: uma planta de talo alta é híbrida, e tem dois componentes diferentes, que podem representados pelas letras *Aa*. (Esta representação é hoje chamada de *genótipo*, uma descrição do material genético presente na célula). Os resultados do cruzamento de duas plantas destas pode ser descrito por meio do Quadro 1.

Quadro 1. Resultados do cruzamento de duas plantas híbridas

		Genótipo do macho	
		A	a
Genótipo da fêmea	A	AA	Aa
	a	Aa	aa

As plantas que tiverem genótipos AA ou Aa serão de talo alto (o componente A , que faz a planta ser alta, é chamado de *dominante*); somente as que tiverem genótipo aa serão de talo baixo.

Se estas idéias estiverem corretas, uma das consequências que Mendel podia esperar era que no cruzamento de duas ervilhas de talos altos haveria uma probabilidade 0,75 de as descendentes também serem de talo alto (AA ou Aa) e 0,25 de serem de talo baixo (aa), já que os componentes a e A são combinados aleatoriamente. Mendel realizou 1064 cruzamentos de ervilhas de talos altos no jardim do mosteiro onde vivia, e observou os resultados: encontrou 787 plantas de talo alto e 277 de talo baixo (Bronowski, 1979).

O problema de Mendel tem exatamente o mesmo padrão que vimos nos problemas sobre a probabilidade de nascimentos de meninos, ou sobre a probabilidade de uma tachinha cair com a ponta para cima, que vimos na seção 4.4.4. A proporção de plantas de talo alto encontrada na amostra foi $P = 787/1064 = 0,7397$. Note que este valor parece bem próximo da probabilidade de 0,75 prevista pela hipótese de Mendel. Este valor é uma evidência *contra* ou *a favor* desta hipótese?

Para testar esta hipótese, faremos um teste bilateral com nível de significância $\alpha=0,05$, cujas hipóteses são:

$$\begin{aligned} H_0 : \pi &= 0,75 && \text{(a probabilidade prevista pela hipótese de Mendel)} \\ H_1 : \pi &\neq 0,75 \end{aligned}$$

Os dados obtidos foram:

$$\begin{aligned} n &= 1064 && \text{tamanho da amostra} \\ X &= 787 && \text{número de plantas de talo alto na amostra} \end{aligned}$$

Podemos então calcular:

- Proporção de ervilhas de talo alto na amostra

$$P = 787/1064 = 0,7397$$

- Parâmetros da distribuição amostral gaussiana:

$$\mu_P = \pi = 0,75$$

$$\sigma_P = \sqrt{\frac{\pi(1-\pi)}{n}} = \sqrt{\frac{0,75(1-0,75)}{1064}} = 0,0133$$

- Variável padronizada Z:

$$z = \frac{P - \mu_P}{\sigma_P} = \frac{0,7397 - 0,7500}{0,0133} = -0,7788$$

Como o valor de P encontrado na amostra tem valor padronizado Z acima do valor crítico de $z_c = -1,96$, ele caiu fora da região de rejeição. O gráfico na Fig. 1 mostra a posição deste Z em relação ao valor z_c . O valor-p correspondente a este Z, para teste bilateral, será (calculado usando R):

$$\text{valor-p} = 2 \times P(z \leq -0,7788) = 2 \times 0,2180 = 0,4361$$



Figura 1. Valor da estatística de teste e valores críticos

O resultado é portanto *não* significativo, o que quer dizer que ele *não rejeita* H_0 , que é a hipótese de Mendel.

Há dois fatos interessantes a mencionar sobre estes resultados. Primeiro, Mendel os publicou em 1866 numa revista local chamada *Anais da sociedade de historia natural de Brünn*, onde o trabalho ficou completamente ignorado durante décadas. Só muito tempo depois da morte de Mendel é que alguns pesquisadores redescobriram o artigo, por volta de 1900, e notaram que Mendel tinha desenvolvido sozinho toda a base teórica da Genética moderna (Ziman, 1981). Segundo, Mendel não fez a análise estatística mostrada acima, porque ainda não tinha sido inventada na época; os testes de hipóteses só começaram a ser desenvolvidos no início do século XX.

referências

- Bronowski, J. (1979). *A escalada do homem*. São Paulo: Martins Fontes / Edit. Univ. Brasília
 Ziman, John. (1981). *A força do conhecimento*. São Paulo: Itatiaia / EDUSP.