

Utilização de modelos de *Drosophila* no estudo de padrões de herança autossômica e ligada ao sexo



Paulo Alberto Otto, Eliana Maria Beluzzo Dessen, Lyria Mori

Departamento de Genética e Biologia Evolutiva, Instituto de Biociências,
Universidade de São Paulo, SP

Autor para correspondência – Paulo A. Otto (otto@usp.br)

Palavras-chave: drosófila, padrões de herança, simulações,
mutações autossômicas, mutações ligadas ao X

O objetivo deste material didático é ajudar os estudantes a deduzirem, a partir de resultados de simulações de uma série de experimentos com *Drosophila*, os padrões de herança de algumas características genéticas. A atividade possibilita a discussão e a compreensão gradual dos conceitos envolvidos em cada passo dos experimentos, uma vez que convida os estudantes a participarem de modo ativo de seu aprendizado.



A atividade consiste na simulação de duas séries de cruzamentos de linhagens selvagem e mutantes de *Drosophila* e na interpretação e discussão dos resultados obtidos. Após a realização da simulação, os estudantes deverão responder questões que os orientarão a entender os padrões de herança das mutações asa vestigial (*vestigial*) e cor branca dos olhos (*white*). Os estudantes participam de modo ativo lançando hipóteses e explicações para os resultados obtidos. O professor organiza a aplicação da atividade, distribui o material em sala de aula e orienta a discussão dos resultados dos experimentos e as conclusões dos mesmos. As questões estão respondidas ao final da unidade.

Para aplicar o material em aula, sugere-se que a turma seja dividida em grupos de, no máximo, 10 estudantes cada.

MATERIAL

1. Figuras de *Drosophila* disponíveis no link, [clique aqui](#).
2. Etiquetas (Figura 1) para serem recortadas e coladas cuidadosamente nas duas faces de moedas de 10 centavos. Para distinguirmos indivíduos machos e fêmeas (e os gametas que eles serão capazes de produ-

zir), as etiquetas são fornecidas nas cores azul e rosa, respectivamente. As etiquetas marcadas com as letras V e v representam respectivamente os alelos autossômicos vg^+ (alelo selvagem) e vg (alelo mutante vestigial, responsável por asas de tamanho muito reduzido); 2.1 - as etiquetas marcadas com as letras B, b e Y representam, respectivamente, os alelos ligados ao sexo (do cromossomo X) X^{w+} (alelo selvagem) e X^w (alelo mutante responsável por cor branca dos olhos no lugar da vermelha), e o cromossomo Y (que não possui alelo para cor de olho correspondente aos do cromossomo X); 2.2 - são fornecidas também etiquetas marcadas com as letras E e e (representando respectivamente os alelos autossômicos selvagem e ebony) e A, a (representando respectivamente os alelos ligados ao cromossomo X X^y+ e X^y , correspondentes ao fenótipo corpo despigmentado amarelado *yellow*). Essas etiquetas e as figuras correspondentes a esses fenótipos permitirão ao professor repetir a experimentação usando essas características alternativas, tornando assim mais agradável a atividade.

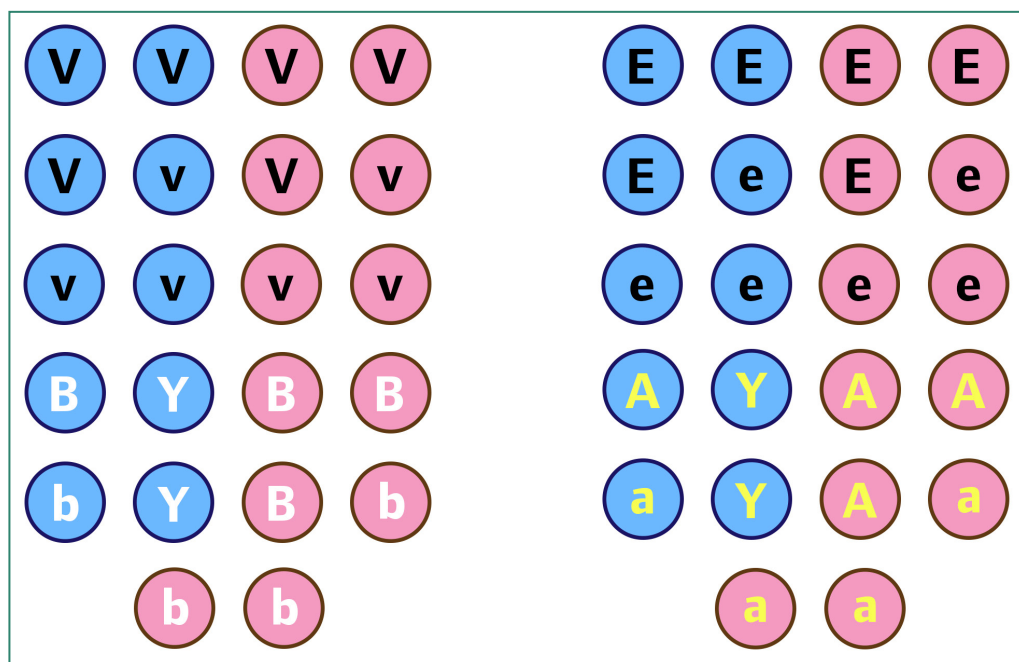


Figura 1. Etiquetas para serem adesivadas nas faces de moedas de 10 centavos. Alelos autossômicos dos genes para asa reduzida, vestigial (V e v) e para a coloração ebony (E e e). B, b e Y representam, respectivamente, os alelos ligados ao sexo (do cromossomo X) (alelo mutante responsável por cor branca dos olhos no lugar da vermelha), e o cromossomo Y (que não possui alelo para cor de olho correspondente aos do cromossomo X). As etiquetas com letras brancas e amarelas correspondem aos alelos da característica *yellow*, ligada ao cromossomo X.

Assim sendo, uma moeda com a etiqueta:

- a. V rosa, nos dois lados, representará um indivíduo homocigótico $vg+/vg+$ de sexo feminino; uma moeda com a etiqueta V azul, nos dois lados, representará um indivíduo homocigótico $vg+/vg+$ de sexo masculino.
 - b. v rosa nos dois lados representará um indivíduo homocigótico vg/vg de sexo feminino; uma moeda com a etiqueta v azul nos dois lados representará um indivíduo homocigótico vg/vg de sexo masculino.
 - c. V rosa numa face e v na outra representará um indivíduo heterocigótico $vg+/vg$ de sexo feminino; uma moeda com a etiqueta V azul numa face e v na outra representará um indivíduo heterocigótico $vg+/vg$ de sexo masculino.
 - d. B rosa, nos dois lados, representará uma fêmea homocigótica X^{w+}/X^{w+} .
 - e. b rosa, nos dois lados, representará uma fêmea homocigótica X^w/X^w .
 - f. B rosa numa face e b na outra representará uma fêmea heterocigótica X^{w+}/X^w .
 - g. B azul numa face e Y na outra representará um macho hemizigótico X^{w+}/Y .
 - h. b azul numa face e Y na outra representará um macho hemizigótico X^w/Y .
3. Itens Procedimento I e Procedimento II (um para cada grupo)
 4. Tabela de genótipos/fenótipos (uma para cada grupo)
 5. Painel 1 e Painel 2.

PREPARANDO A ATIVIDADE PARA APLICAÇÃO EM SALA DE AULA

O professor deve preparar com antecedência o material a ser distribuído para cada grupo de estudantes:

- ♦ Imprimir as imagens de *Drosophila* do anexo de figuras, com os diferentes fenótipos que serão usados nas simulações dos experimentos em número suficiente para os grupos de estudantes que participarão da atividade, orientando-se pelos detalhes explicados no anexo.
- ♦ Confeccionar em cartolina, papel cartão ou fórmica, os Painéis 1 e 2 usados para posicionar os parentais e os descendentes (F1 e F2) nas simulações de cruzamentos. Os retângulos indicam os locais para colocação das figuras representando adultos de *Drosophila*. Por esta razão, o tamanho dos retângulos deve ser compatível com o tamanho das figuras impressas (13,3 cm de altura e 9,2 cm de largura ou 13,3 cm de altura e 18,4 cm de largura). É importante ajustar a impressão do documento pdf anexo para que as figuras impressas fiquem exatamente com essas dimensões.
- ♦ Imprimir Procedimento I, Procedimento II e a Tabela 1.
- ♦ Preparar 11 moedas com as seguintes combinações de etiquetas em suas faces: V/V, v/v, V/v (um conjunto de três moedas com as etiquetas rosas e um outro com as etiquetas azuis), B/B, b/b, B/b (usando as etiquetas rosas) e B/Y, b/Y (usando as etiquetas azuis).

Tabela 1.

Relação entre genótipos e fenótipos.

| Genótipos | Fenótipos |
|-------------------------|--------------------------------------|
| V/V ($vg+/vg+$) | Asa normal (selvagem) |
| V/v ($vg+/vg$) | Asa normal (selvagem) |
| V/v (vg/vg) | Asa vestigial (tamanho reduzido) |
| B/B (X^{w+}/X^{w+}) | Fêmea com olhos vermelhos (selvagem) |
| B/b (X^{w+}/X^w) | Fêmea com olhos vermelhos (selvagem) |
| B/b (X^w/X^w) | Fêmea com olhos brancos |
| B/Y (X^{w+}/Y) | Macho com olhos vermelhos (selvagem) |
| b/Y (X^w/Y) | Macho com olhos brancos |

Durante a aplicação da atividade, o professor deverá orientar a discussão dos estudantes, guiando-se pelo item Respostas ao final da unidade.

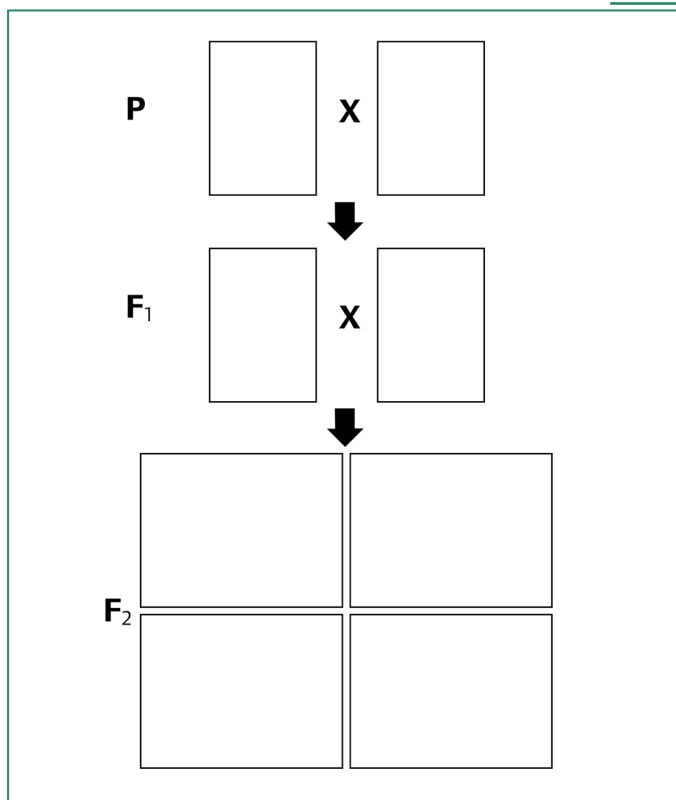
Nos procedimentos I e II abaixo, as simulações dos cruzamentos são realizadas lançando-se ao mesmo tempo duas moedas, cada uma delas representando o genótipo do indivíduo macho ou fêmea envolvido no cruzamento. A face da moeda virada para cima, ao final do lançamento, representará o gameta que o indivíduo produziu. Combinando-se as faces voltadas para cima das moedas rosa e azul sorteadas obtém-se imediatamente o produto da fecundação entre os dois gametas, que originam assim o genótipo de um indivíduo da geração seguinte.

Procedimento I

1. Simular o cruzamento de um macho de *Drosophila* de asas reduzidas (vestigial), genótipo v/v , com uma fêmea selvagem (asas longas), genótipo V/V . Para isto, colocar no Paine 1, na posição P (que indica a geração parental), as figuras do macho e da fêmea com os fenótipos indicados. Como os dois indivíduos envolvidos nesse cruzamento são homocigóticos, qualquer que seja o resultado do sorteio, a face da

moeda voltada para cima será sempre a mesma. Assim sendo, os gametas masculinos serão sempre v , os femininos V e os genótipos dos indivíduos gerados por todas as fecundações serão sempre V/v . Nesse caso (e noutros indicados no texto) não é necessário proceder-se à simulação com moedas por motivos óbvios.

2. Consultar a tabela dos genótipos/fenótipos para saber qual o fenótipo (selvagem ou vestigial) das moscas resultantes desse cruzamento.
3. Acrescentar no Paine 1 as figuras com os fenótipos que representam os descendentes da geração filial F_1 .
4. Discutir com colegas e responder:
 - a) É possível afirmar, baseando-se apenas nos resultados observados na geração F_1 , que a característica vestigial é hereditária?
 - b) Propor um experimento que seja capaz de verificar, na prática, a hipótese de que a característica vestigial é hereditária (teste de hipótese).
 - c) Qual característica é dominante, asas longas ou asas curtas? Justificar a resposta.



Paine 1.

Modelo de painel para a simulação dos cruzamentos da geração parental P (asa longa e asa vestigial) e dos resultados obtidos nas gerações filiais F_1 e F_2 . Os retângulos indicam os locais nos quais as figuras de *Drosophila* devem ser posicionadas nos cruzamentos simulados. Ajustar o tamanho do painel ao das figuras de *Drosophila*.

5. Simular os cruzamentos entre indivíduos da geração F₁, que são todos heterozigóticos V/v com fenótipo normal de asas longas, utilizando agora, para essa finalidade, as moedas rosa e azul marcadas com as etiquetas V de um lado e v do outro. Realizar 50 lançamentos simultâneos das duas moedas. Anotar os genótipos resultantes da combinação entre os gametas formados pelos machos e fêmeas (faces voltadas para cima das moedas azuis e rosas em cada lançamento). São obtidos assim de maneira aleatória os genótipos de 50 indivíduos resultantes de cruzamentos entre indivíduos heterozigóticos V/v. Na realidade, um cruzamento normal entre duas drosófilas é capaz de gerar em média quase 10 vezes essa quantidade de descendentes (progênie). O número 50 que escolhemos viabiliza a experimentação em aula prática, já sendo suficiente para se ter uma ideia bastante aproximada da distribuição dos genótipos e fenótipos na geração filial. Utilizando-se 100 lançamentos simultâneos, espera-se que os resultados observados estejam bem mais próximos dos esperados teoricamente (que corresponderiam a um número infinitamente grande de lançamentos) do que os observados com 50 lançamentos de duas moedas. Este detalhe pode também ser objeto de discussão entre os alunos.
6. Consultar a tabela de genótipos/fenótipos e anotar os fenótipos gerados no cruzamento de F₁ x F₁. Contar o número de cada fenótipo gerado e estabelecer a proporção entre eles.
7. Acrescentar no Pannel 1 as figuras dos descendentes formados.
8. Discutir com os colegas e responder:
 - a) Qual a proporção dos fenótipos obtidos em F₂?
 - b) Apresentar uma explicação para as proporções obtidas de indivíduos com asas longas e curtas na descendência (geração F₂) das moscas da geração F₁.
9. Discutir com os colegas e fazer um esquema representando os genótipos das moscas das gerações P (parental), F₁ e F₂.
10. Discutir com os colegas e responder: Qual é o padrão de herança da característica vestigial?

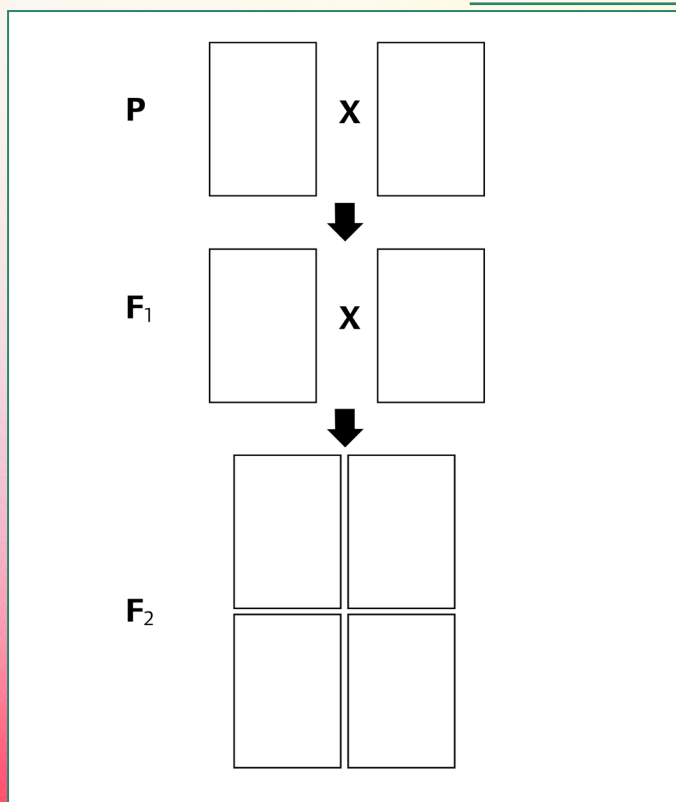
Procedimento II

1. Simular o cruzamento de um macho de *Drosophila* de olhos brancos (*white*), com uma fêmea selvagem (olhos vermelhos). Para isto, colocar no Pannel 2, na posição P (que indica a geração parental), as figuras do macho e da fêmea com os fenótipos indicados.
2. Como a fêmea envolvida no cruzamento é homozigótica para olhos brancos B/B, qualquer que seja o resultado do sorteio (cara ou coroa) usando a moeda rosa B/B, a face da moeda voltada para cima (gameta produzido pela fêmea) mostrará sempre o alelo B. Não é necessário, portanto, simular com a moeda a produção de gametas pela mosca fêmea.
3. Usar a moeda marcada com b e Y em suas faces para simular os tipos de gametas produzidos pelo macho b/Y. Fazer 50 lançamentos de moeda. Cada vez que a face voltada para cima (gameta produzido pelo macho) mostrar o alelo b, isso indica que o produto da fecundação deste gameta com o gameta feminino B (que a fêmea homozigótica B/B sempre produz) é uma fêmea heterozigótica B/b. Cada vez que a face voltada para cima (gameta produzido pelo macho) mostrar o cromossomo Y, isso indica que o produto da fecundação deste gameta com o gameta feminino B é um macho hemizigótico B/Y. Anotar os resultados obtidos (números de fêmeas B/b e de machos B/Y).
4. Consultar a Tabela 1 para identificar os fenótipos correspondentes aos genótipos acima e acrescentar no Pannel 2 as figuras com os fenótipos que representam os descendentes da geração F₁.
5. Discutir com colegas e responder, justificando as respostas:
 - a) Quais as proporções esperadas de machos e fêmeas na geração F₁?
 - b) Os resultados observados com a simulação apoiam essas proporções esperadas?

- c) Qual a característica é dominante, olhos brancos ou olhos vermelhos?
6. Simular em seguida o cruzamento entre indivíduos F₁. Utilizar para isso a moeda com as faces rosa, com o alelo B de um lado e com o alelo b do outro (essa moeda representa as fêmeas heterozigóticas B/b). A outra moeda (com faces azuis) representará machos hemizigóticos B/Y, com o alelo B de um lado e o cromossomo Y do outro lado. Realizar 50 lançamentos

simultâneos das duas moedas, anotando e compilando o resultado obtido em cada lançamento das duas moedas sorteadas ao mesmo tempo.

7. Se a face voltada para cima da moeda que representa os machos for B e a face voltada para cima da moeda que representa as fêmeas for B, isso significa que ambos os gametas contêm o alelo B e que o produto da fecundação entre esses dois gametas é uma fêmea homozigótica de genótipo B/B.



Painel 2.

Modelo de painel para a simulação dos cruzamentos da geração parental P (olhos vermelhos e olhos brancos) e dos resultados obtidos nas gerações filiais F₁ e F₂. Os retângulos indicam os locais nos quais as figuras de *Drosophila* devem ser posicionadas nos cruzamentos simulados. Ajustar o tamanho do painel ao das figuras de *Drosophila*.

8. Se a face voltada para cima da moeda que representa os machos for B e a face voltada para cima da moeda que representa as fêmeas for b, isso significa que o gameta masculino contém o alelo B, que o gameta feminino contém o alelo b e que o produto da fecundação entre esses dois gametas é uma fêmea heterozigótica de genótipo B/b.
9. Se a face voltada para cima da moeda que representa os machos for Y e a face voltada para cima da moeda que representa as fêmeas for B, isso significa que o gameta masculino contém o cromossomo Y, que

o gameta feminino contém o alelo B e que o produto da fecundação entre esses dois gametas é um macho hemizigótico de genótipo B/Y.

10. Se a face voltada para cima da moeda que representa os machos for Y e a face voltada para cima da moeda que representa as fêmeas for b, isso significa que o gameta masculino contém o cromossomo Y, que o gameta feminino contém o alelo b e que o produto da fecundação entre esses dois gametas é um macho hemizigótico de genótipo b/Y.

11. Anotar numa folha de papel os genótipos formados pela fecundação, incluindo o sexo do indivíduo.
12. Consultar a Tabela 1 e anotar os fenótipos gerados no cruzamento. Contar o número de cada fenótipo gerado e estabelecer as proporções observadas dos diversos fenótipos. Acrescentar no Painel 2 as figuras com os fenótipos que representam os descendentes da geração F1.
13. Discutir com os colegas e apresentar uma explicação para as proporções obtidas de machos e fêmea e de indivíduos com olhos brancos e olhos vermelhos na descendência (geração F2) das moscas da geração F1.
14. Discutir com os colegas e fazer um esquema representando os genótipos das moscas das gerações P (parental), F1 e F2.
15. Discutir com os colegas e responder: Qual é o padrão de herança cor dos olhos em *Drosophila*?

SIMULAÇÃO DOS CRUZAMENTOS USANDO PROGRAMAS DE COMPUTAÇÃO ELETRÔNICA

Os professores que dominarem minimamente técnicas básicas de programação e que tiverem à disposição equipamento de informática podem optar pelo uso de simulação usando programas de computação.

Programas simples de computação eletrônica, como o abaixo listado em dialeto *Liberty BASIC*, são capazes de simular os cruzamentos acima com a mesma eficiência dos experimentos feitos com as moedas. A listagem abaixo é de um programa-fonte (não compilado) que simula, por exemplo, o cruzamento entre duas moscas heterozigóticas quanto ao caráter *vestigial*. O programa gera 100 pares (a e b) de números aleatórios por meio do comando **RND(i)**. Esse comando **RND(i)** gera um número aleatório normalizado entre 0 e 1. A probabilidade de um número desses ser igual ou menor que 0,5 é 50%, da mesma maneira que um número ser maior que 0,5

também é 50%. Toda vez que o número aleatório for menor ou igual a 0,5, o programa considera que um alelo selvagem **vg+** (identificado pelo programa por **V**) foi sorteado; e sempre que o número for maior que 0,5, que o alelo *vestigial* **vg** (identificado pela letra **v** minúscula no programa) foi sorteado. Dois desses números aleatórios (a e b) sorteados em sequência definem um genótipo, que é contabilizado pelo computador. Assim, se os dois primeiros valores sorteados forem menores que 0,5, isso significa que um indivíduo **VV** (genótipo **vg+/vg+**) foi gerado. Se ambos os valores forem maiores que 0,5, o programa contabiliza o genótipo como sendo **vv**. Se um dos números for menor que 0,5 e o outro, maior que 0,5, um indivíduo heterozigótico **Vv** é gerado. Como cada número aleatório é gerado independentemente dos demais, as chances de ocorrência dos genótipos **VV**, **vv** e **Vv** ficam sendo 25%, 25% e 50% (isso é o que seria obtido num número infinitamente grande de simulações usando-se um gerador de números aleatórios sem vieses

```
for i=1 to 100
a= RND(1) : b= RND(1)
if a <= 0.5 and b <= 0.5 then VV = VV + 1 : goto [exithere]
if a > 0.5 and b > 0.5 then vv = vv + 1 : goto [exithere]
Vv = Vv + 1
[exithere]
next i
print "vg+/vg+ : "; : print using ("#####",VV)
print "vg+/vg : "; : print using ("#####",Vv)
print "vg/vg : "; : print using ("#####",vv)
```

Um dos resultados típicos impressos obtidos após rodar o programa é o seguinte:

```
vg+/vg+ : 23
vg+/vg : 50
vg/vg : 27
```

Programas similares podem ser facilmente feitos para as outras situações discutidas neste artigo, empregando-se um grande número de linguagens disponíveis, comercial ou gratuitamente (estes últimos obtidos por meio da rede eletrônica **www** ou executados diretamente no site do provedor do programa na **www**).

RESPOSTAS

Procedimento I

- 4a. Não. Para se ter certeza de que uma característica é hereditária (no caso asa vestigial) é necessário verificar se haverá indivíduos com asas vestigiais entre os descendentes de F₂.
- 4b. O experimento consiste em cruzar entre si os descendentes da primeira geração (F₁), que são todos normais para o tamanho da asa. Se surgirem indivíduos com asa vestigial na geração F₂, é possível concluir que a característica é hereditária.
- 4c. Asas longas são dominantes, pois todos os descendentes de F₁ são heterozigóticos (vg^+/vg) e possuem o fenótipo asas longas.
- 8a e 8b. Após as 50 jogadas, suponha que foram obtidos os resultados finais seguintes: 11 vg^+/vg^+ (selvagem), 26 vg^+/vg ou vg/vg^+ (selvagem), 13 vg/vg (vestigial), equivalentes à ocorrência, na progênie de cruzamentos entre drosófi-

las heterozigóticas, de 37 moscas com o fenótipo selvagem e 13 com o fenótipo *vestigial*. Essas quantidades, que correspondem às proporções correspondentes de $37/50 = 74\%$ e $13/50 = 26\%$, não diferem obviamente das proporções esperadas de 3 dominantes para 1 recessivo.

Procedimento idêntico poderá ser realizado em relação ao caráter autossômico corpo escuro (*ebony*), para o qual as etiquetas das faces das moedas são marcadas com *E* e *e*, que aqui identificam as siglas científicas adotadas para esses dois alelos, respectivamente e^+ e *e*.

9 e 10. Herança autossômica. Drosófilas machos (linhagem pura) de asas reduzidas (*vestigial*) são cruzados com fêmeas selvagens (linhagem pura) de asas longas na geração parental (P). Na primeira geração (F₁), todos os descendentes obtidos têm asas longas (selvagens). Os cruzamentos das moscas F₁ produzem machos e fêmeas com asas longas e curtas na proporções de 3 para 1 respectivamente na geração F₂, como se mostra na Figura 2.

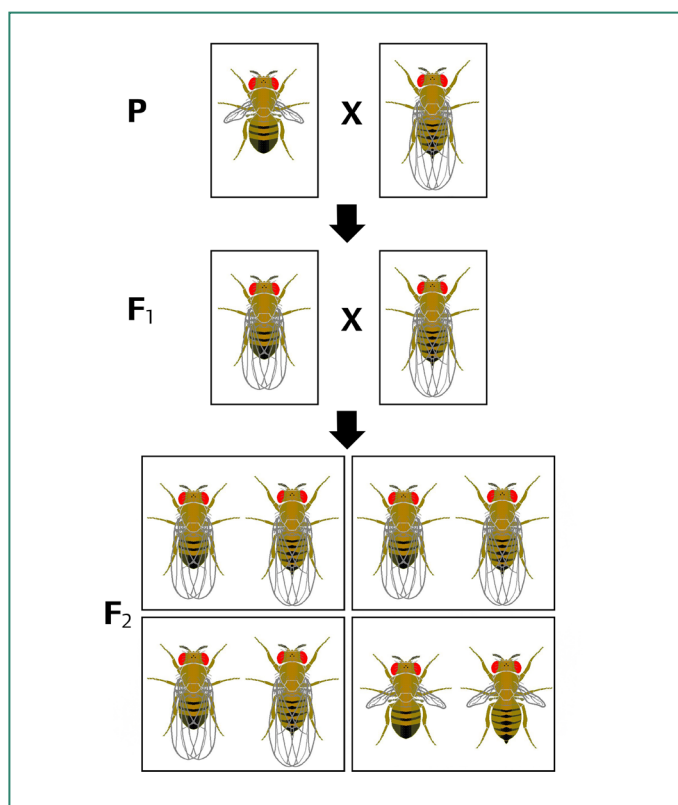


Figura 2.

Apresentação dos resultados, nas gerações F₁ e F₂, de cruzamentos de machos com asa *vestigial* (linhagem pura) com fêmeas selvagens (linhagem pura) de asa longa na geração parental (P).

Alternativamente, machos selvagens de asas longas (linhagem pura) são cruzados com fêmeas de asas curtas (linhagem pura) na geração parental (P). Na primeira geração (F₁), todos os descendentes obtidos têm asas

longas. Os cruzamentos das moscas F₁ produzem machos e fêmeas com asas longas e curtas respectivamente nas proporções de 3 para 1 respectivamente na geração F₂, como mostrado na Figura 3.

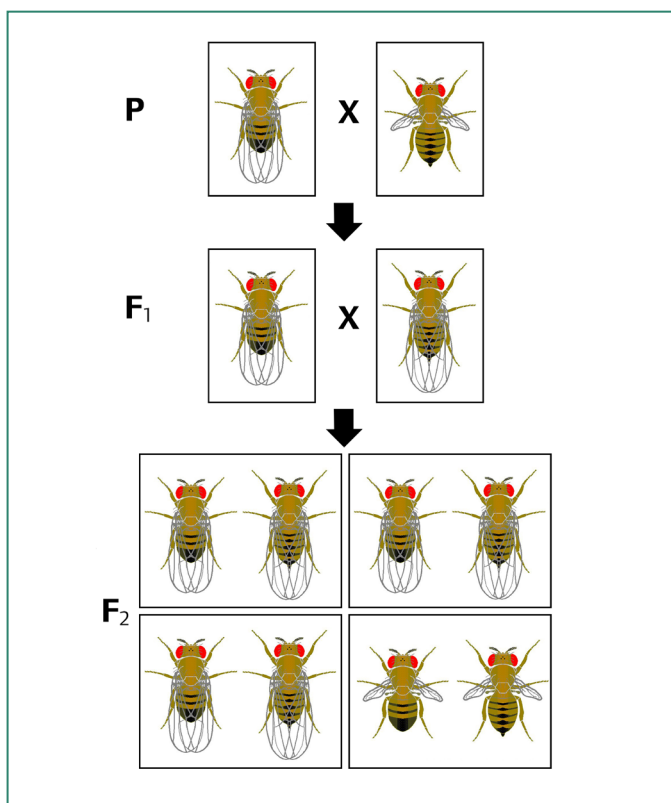


Figura 3.

Apresentação dos resultados, nas gerações F₁ e F₂, de cruzamentos de machos selvagens (linhagem pura) de asa longa com fêmeas *vestigial* (linhagem pura) de asa reduzida na geração parental (P).

Esses gametas, quando combinados entre si, produzem moscas com fenótipo selvagem e *vestigial* nas proporções esperadas de 3 para 1 na geração F₂, como mostrado na Figura 4.

A validade dessa hipótese pode ser testada no sistema alternativo de cruzamentos, em que a geração parental é formada por machos selvagens cruzados com fêmeas *vestigial* (Figura 5).

Os fatos mostrados até o momento confirmam a hipótese de que o fenótipo *vestigial* é recessivo (porque ele desaparece em F₁ e reaparece em F₂ nas proporções de 3 selvagens para 1 *vestigial*) e autossômico (porque quando se cruzam fêmeas *vestigial* pura com machos selvagens puros na geração parental

P os descendentes F₁, machos e fêmeas, são todos selvagens, exatamente o que acontece em cruzamentos de fêmeas selvagens puras com machos *vestigial*). A hipótese proposta para explicar o padrão de herança dos fenótipo *vestigial* ao longo de duas gerações e as proporções fenotípicas em F₂ foi feita com base na primeira lei de Mendel ou lei da segregação independente dos fatores (alelos) na formação dos gametas. Se um dos alelos é dominante em relação ao outro, do cruzamento de dois híbridos heterozigóticos espera-se que a progênie, que resulta da combinação aleatória dos gametas produzidos pelos genitores, seja formada por indivíduos com fenótipos dominantes e recessivos nas proporções respectivas de 3 para 1.

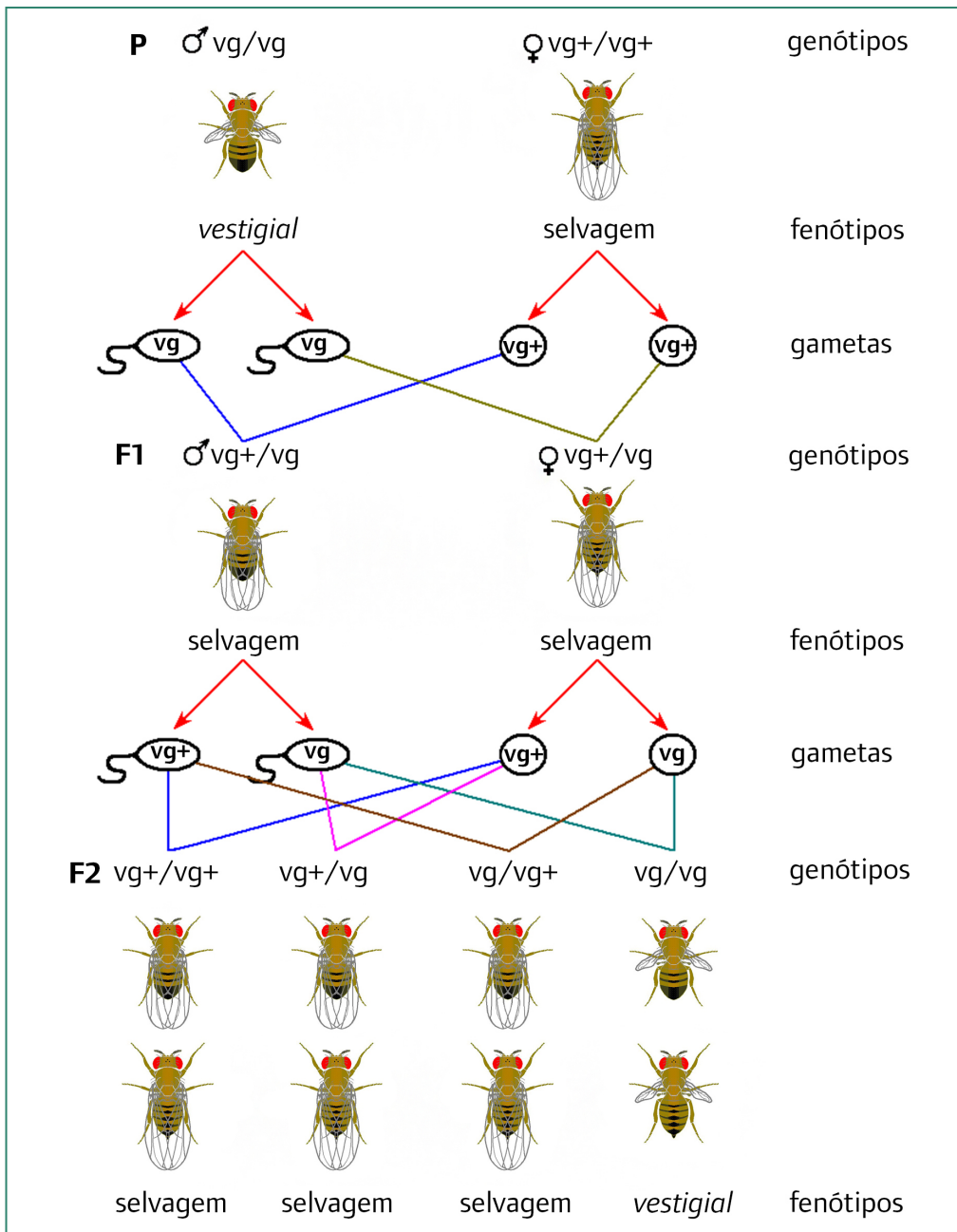


Figura 4. Esquema sumarizando os resultados com os indivíduos envolvidos nas simulações do procedimento I para a característica autossômica asa vestigial. São mostrados os gametas produzidos pelos indivíduos das geração parental (P) e filial (F1).

Procedimento II

- 5a. A proporção de machos e fêmeas é 1:1 (50% de cada sexo).
- 5b. Após as 50 jogadas, suponha que foram obtidos os resultados finais seguintes: 11 B/B (X^{w+}/X^{w+}), 13 B/b (X^{w+}/X^w), 15 B/Y (X^{w+}/Y), 11 b/Y (X^w/Y), equivalentes à ocorrência, na progênie de

cruzamentos entre machos selvagens e fêmeas heterozigóticas, de 24 fêmeas com o fenótipo selvagem (11 fêmeas homozigóticas e 13 heterozigóticas), de 15 machos com o fenótipo selvagem e de 11 machos com o fenótipo *white*. Essas quantidades, que correspondem às proporções de fêmeas e machos de $24/50 = 48\%$ e $26/50 = 52\%$, não diferem ob-

viamente das proporções esperadas de 1 para 1; além disso, todas as fêmeas da progênie possuem o fenótipo selvagem, enquanto os machos exibem o fenótipo selvagem ou *white* nas proporções 15/26 e 11/26, que não diferem das proporções

esperadas 13/26 e 13/26 (1:1) em relação ao total de machos, ou 15/50 = 30% e 11/50 = 22%, que não diferem das proporções esperadas iguais a 25% para cada classe fenotípica de machos em relação ao total de moscas da progênie.

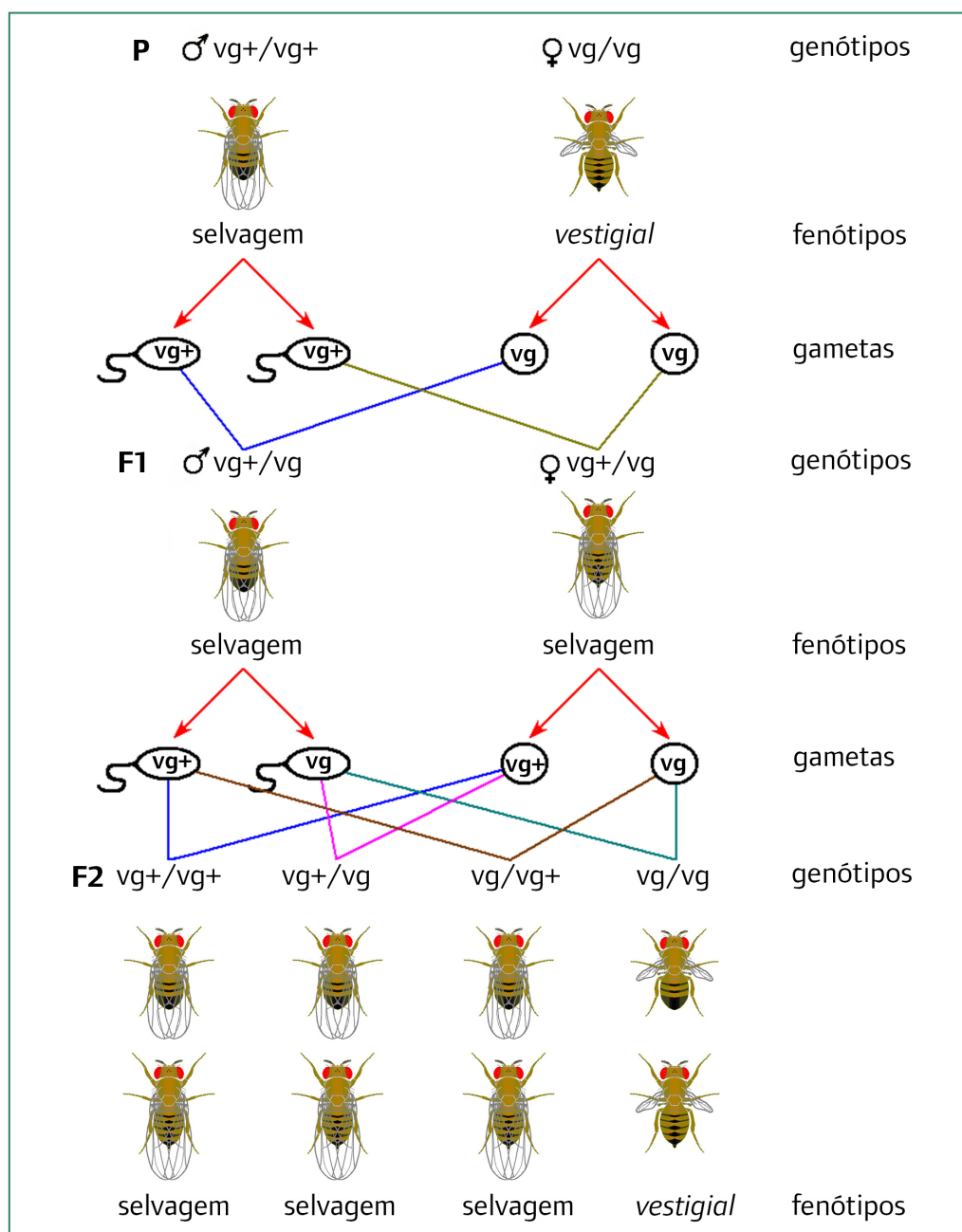


Figura 5. Esquema resumindo os resultados com os indivíduos envolvidos nas simulações do procedimento I para a característica autossômica asa vestigial. São mostrados os gametas produzidos pelos indivíduos das geração parental (P) e filial (F1).

Procedimento idêntico pode ser realizado em relação ao caráter ligado ao sexo corpo amarelado (*yellow*), para o qual as faces das moedas são marcadas, agora, uma com as etiquetas A e Y (moeda representando o macho selvagem) e a outra com A e a (moeda representando a fêmea selvagem heterozigótica quanto ao alelo *yellow*). As letras A e a estão identificando respectivamente os alelos selvagem e mutante designados na literatura como X^{y+} e X^y .

5c. A característica dominante é a cor vermelha do olho, uma vez que fêmeas

homozigóticas B/B e fêmeas heterozigóticas B/b possuem olhos vermelhos.

13 a 15. O fenótipo *white* exibe um padrão de herança nitidamente diferente do fenótipo *vestigial*. Quando machos *white* são cruzados com fêmeas selvagens puras na geração parental (P), não aparecem fêmeas de olhos brancos na geração F₂. A cor dos olhos *white* reapareceu apenas nos netos machos dos indivíduos *white* da geração P, como se mostra na Figura 6.

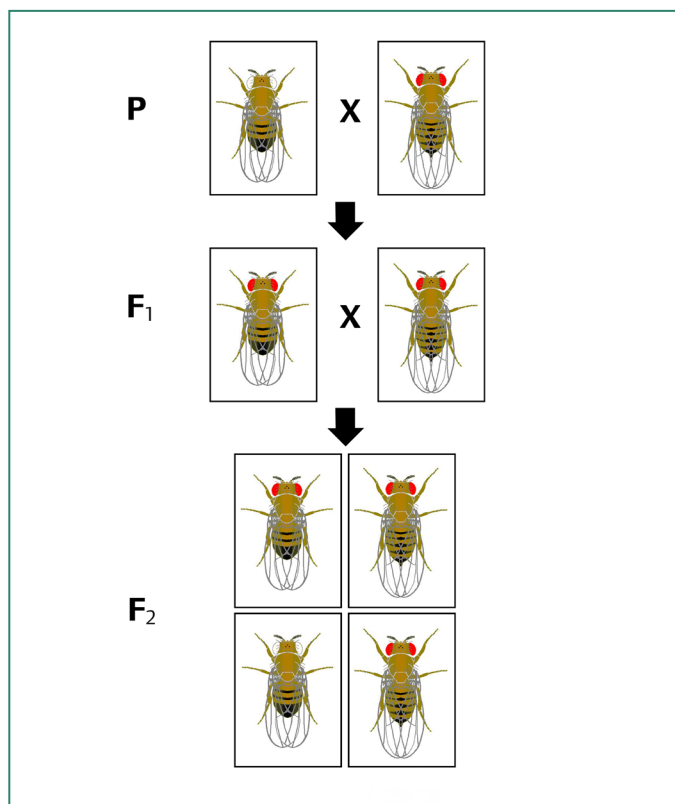


Figura 6.

Machos de olhos brancos (*white*) são cruzados com fêmeas de fenótipo selvagem puro (olhos vermelhos) na geração parental (P). Todos os descendentes F₁ de ambos os sexos possuem olhos vermelhos. Esses descendentes F₁ são cruzados entre si, obtendo-se um grande número de moscas (geração F₂). Enquanto todas as fêmeas F₂ apresentam fenótipo selvagem (olhos vermelhos), aproximadamente metade dos machos apresentam olhos vermelhos e a outra metade olhos brancos.

Alternativamente, quando machos selvagens são cruzados com fêmeas *white* na geração parental (P), em F₁ todos os machos são *white* e todas as fêmeas são

selvagens (Figura 7), enquanto que no caso I (*vestigial*) todos os descendentes F₁ machos e fêmeas são selvagens (Figuras 2 e 3).

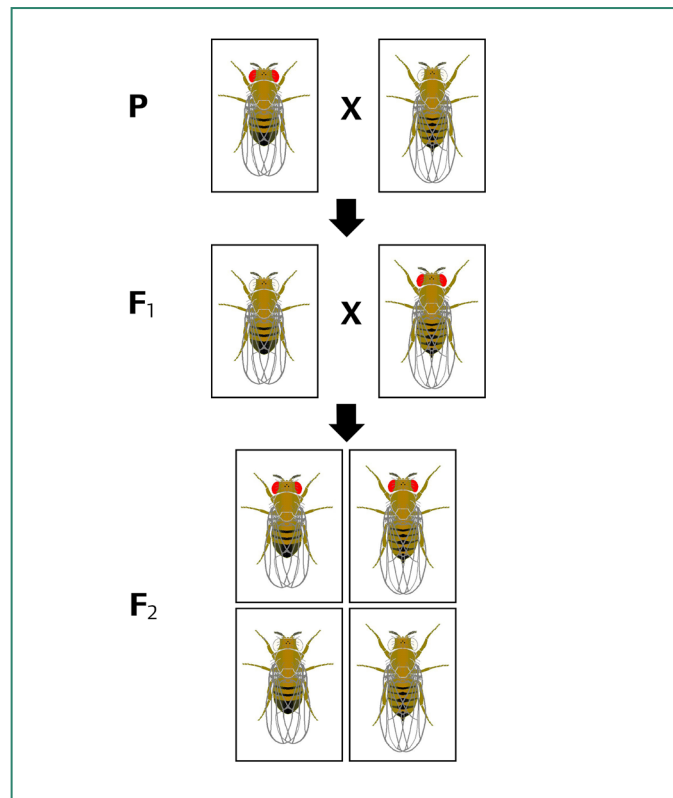


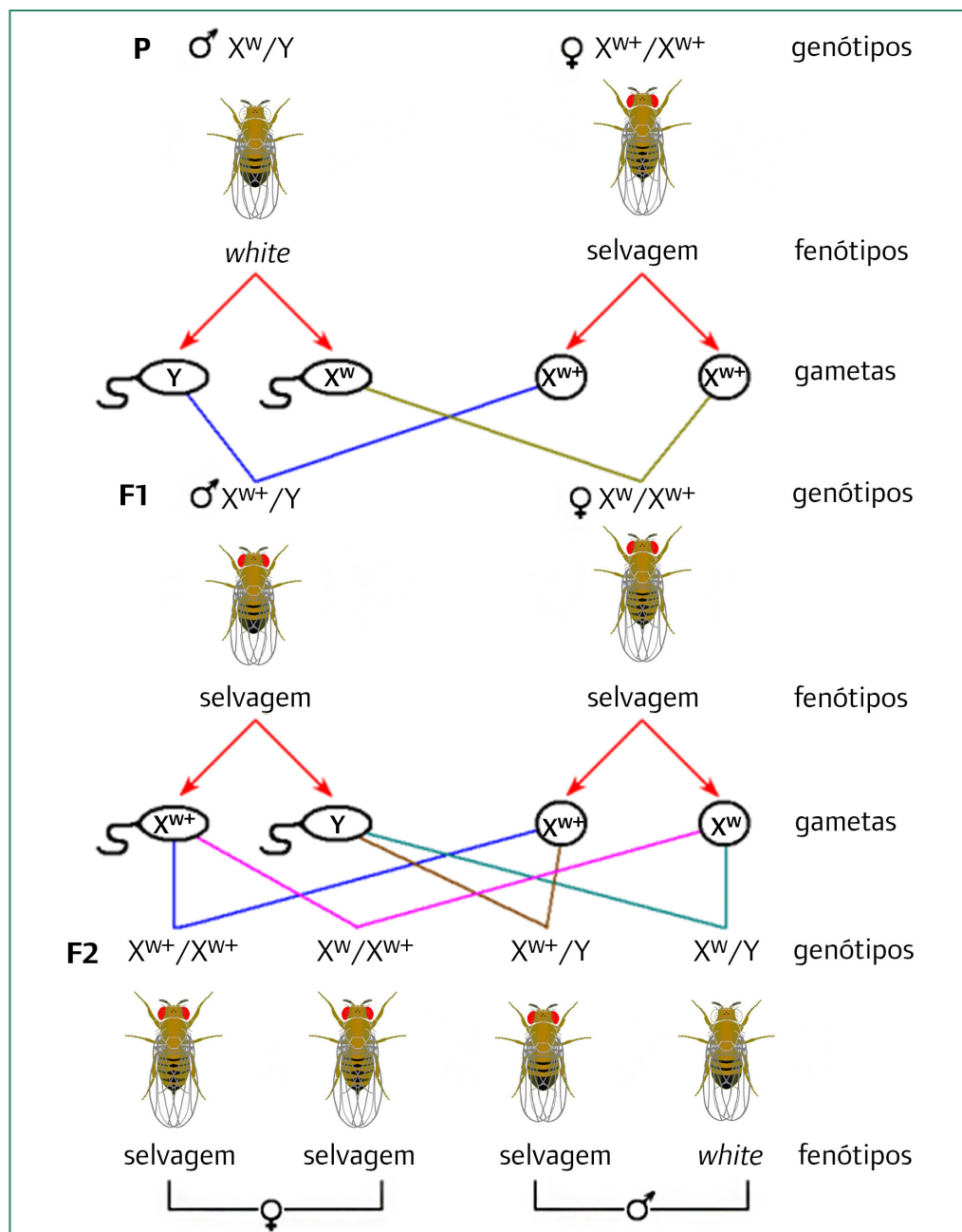
Figura 7.

Quando machos de olhos vermelhos (linhagem pura) são cruzados com fêmeas (linhagem pura) de olhos brancos (*white*) na geração parental (P), na primeira geração (F₁) todos os machos têm olhos brancos e todas as fêmeas têm olhos vermelhos. Cruzamentos das moscas F₁ produzem machos de olhos brancos, machos de olhos vermelhos, fêmeas de olhos vermelhos e fêmeas de olhos brancos em proporções aproximadamente iguais.

As diferenças observadas em relação ao caso autossômico recessivo *vestigial* são facilmente explicadas caso se admita a hipótese de que o gene recessivo responsável pelos olhos brancos e o seu alelo dominante para olhos vermelhos estejam num loco do cromossomo X. De fato, sabe-se que os machos de *D. melanogaster* possuem 3 pares de autossomos e dois cromossomos sexuais diferentes praticamente sem locos homólogos (X e Y), enquanto as fêmeas possuem 3 pares de autossomos e dois cromossomos sexuais X. O padrão de herança dos olhos brancos apresentado nas Figuras 3 e 4 pode ser explicado facilmente por meio dos Figuras 8 e 9, respectivamente, que interpretam os resultados dos cruzamentos na base do mecanismo da segregação independente dos cromossomos sexuais X e Y na meiose de machos, do par XX na meiose das fêmeas e da combinação ao acaso dos gametas durante a fecundação.

Concluindo, a hipótese proposta por Mendel, baseada na herança particulada de fatores (genes) que segregam independentemente durante a formação dos gametas e que se combinam aleatoriamente durante a fecundação que origina a progênie, que foi postulada para explicar a herança de características condicionadas por fatores localizados nos autossomos, pode ser modificada adequadamente para explicar a transmissão de caracteres condicionados por fatores ligados ao cromossomo X.

Procedimento idêntico é realizado em relação ao caráter ligado ao sexo corpo amarelado (*yellow*), para o qual as faces das moedas são marcadas, agora, uma com X^{y+} e Y (moeda representando o macho selvagem) e a outra com X^{y+} e X^y (moeda representando a fêmea selvagem heterozigótica quanto ao alelo *yellow*).

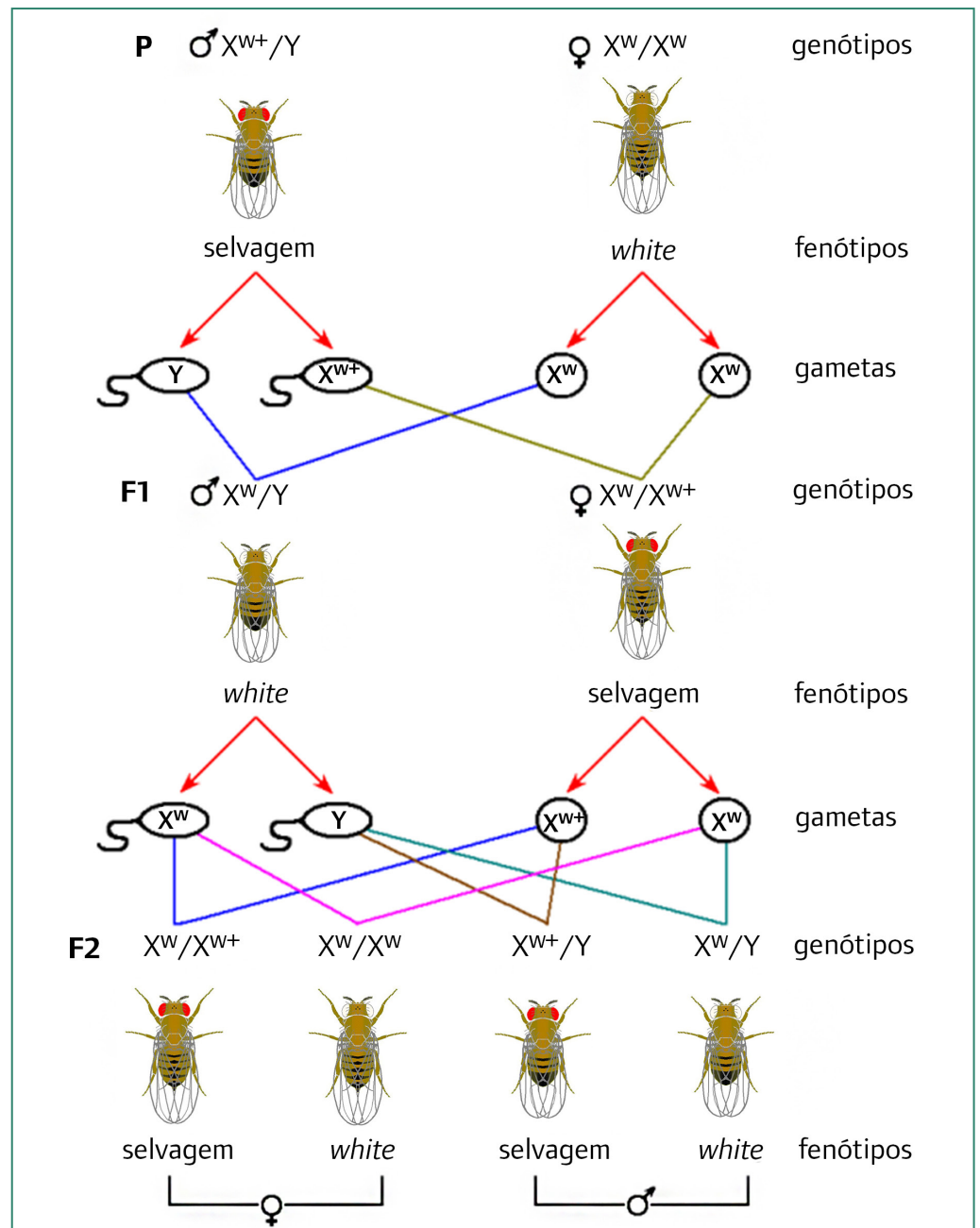
**Figura 8.**

Esquema sumarizando os indivíduos envolvidos nas simulações do Procedimento II para a característica ligada ao sexo, cor de olhos. São mostrados os gametas produzidos pelos indivíduos da geração parental (macho hemizigótico *white* e fêmea homocigótica com olho vermelho) e da geração F₁ (macho hemizigótico com olhos vermelhos e fêmea heterocigótica com olhos vermelhos).

REFERÊNCIAS

OTTO, P. A. Drosophila viewer: a program on the formal genetics, anatomy and developmental biology of *Drosophila melanogaster*. *Drosophila Information Service*, 83:207-219, 2000a.

OTTO, P. A. Drosophila viewer: a program on the formal genetics, anatomy and developmental biology of *Drosophila melanogaster*. *Genetics and Molecular Biology*, 23: 835-839, 2000b.

**Figura 9.**

Esquema resumindo os indivíduos envolvidos nas simulações do Procedimento II para a característica ligada ao sexo, cor de olhos. São mostrados os gametas produzidos pelos indivíduos da geração parental (macho hemizigótico com olhos vermelhos e fêmea homocigótica com olhos brancos) e da geração filial F_1 (macho hemizigótico *white* e fêmea heterocigótica com olhos vermelhos).

PARA SABER MAIS

ALLEN, G. E. The introduction of *Drosophila* into the study of heredity and evolution: 1900-1910. *Isis* 66:322-33, 1975.

MORI, L.. Gene *white* e o mutante de olhos brancos de *Drosophila melanogaster*. *Genética na Escola* 7(2): 96-101, 2012.

MOORE, J. A. Mendelismo: As leis da segregação e da segregação independente. 1986a. Disponível em: <http://dreyfus.ib.usp.br/bio203/texto3.pdf>. Acessado em 30/09/2015.

MOORE, J. A. Teoria cromossômica da herança: a prova definitiva. 1986b. Disponível em: <http://dreyfus.ib.usp.br/bio203/texto12.pdf>. Acessado em 30/09/2015.