



# Ligação Gênica e Mapeamento

09/02/2017

Profa. Dra. Angela Ikeda

Adaptada da aula da Profa. Dra. Vanessa Kava



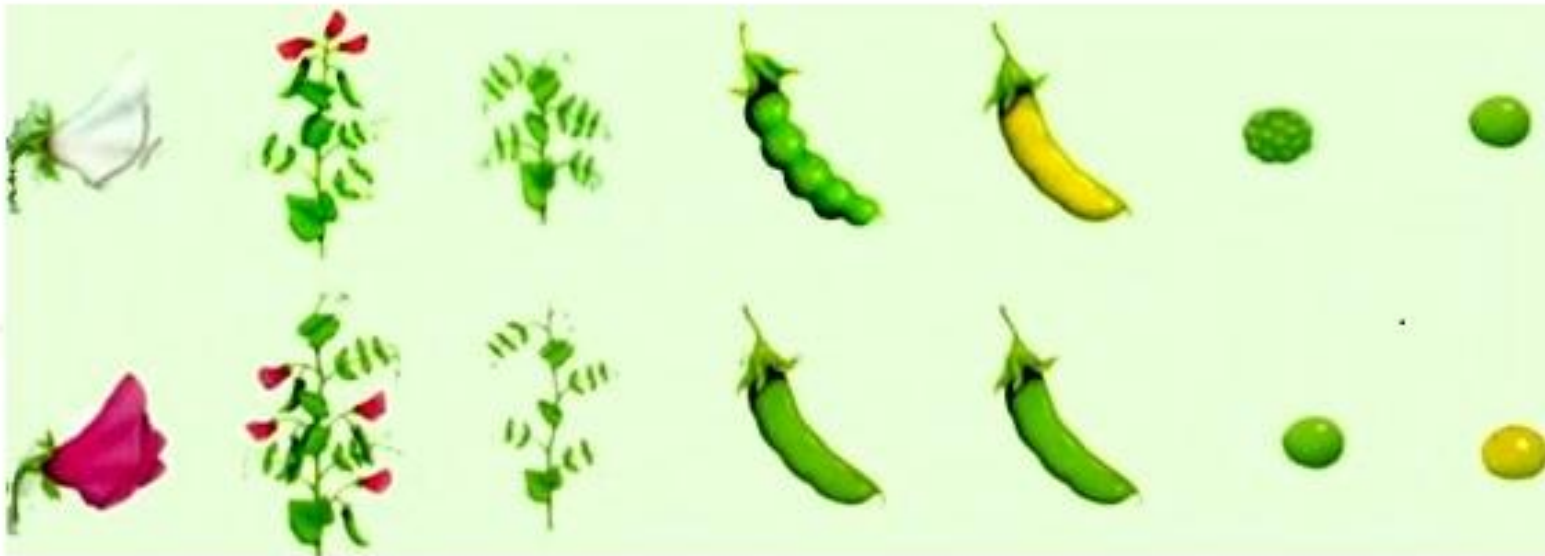
# Princípio Mendeliano

*Gregor Mendel*

**COR      POSIÇÃO      ALTURA      FORMA      COR      TEXTURA      COR**

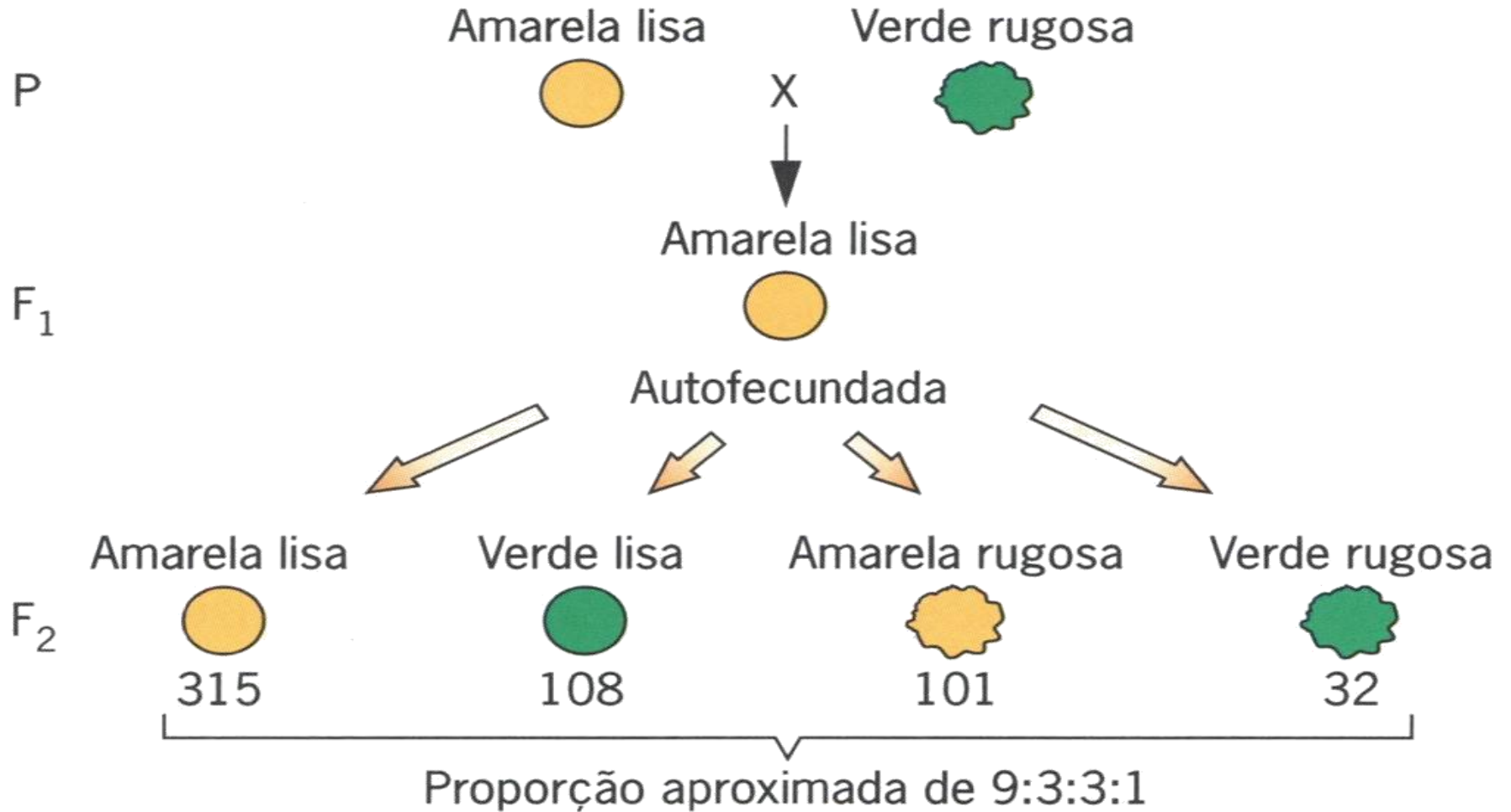
---

**BRANCA      TERMINAL      ANÃ      CONSTRIITA      AMARELA      RUGOSA      VERDE**



**VIOLETA      AXIAL      PADRÃO      INFLADA      VERDE      LISA      AMARELA**

# Segregação Independente



## Chromosome Number in Different Organisms

Organism	Haploid Chromosome Number
<b>Simple Eukaryotes</b>	
Baker's yeast ( <i>Saccharomyces cerevisiae</i> )	16
Bread mold ( <i>Neurospora crassa</i> )	7
Unicellular green alga ( <i>Chlamydomonas reinhardtii</i> )	17
<b>Plants</b>	
Maize ( <i>Zea mays</i> )	10
Bread wheat ( <i>Triticum aestivum</i> )	21
Tomato ( <i>Lycopersicon esculentum</i> )	12
Broad bean ( <i>Vicia faba</i> )	6
Giant sequoia ( <i>Sequoia sempervirens</i> )	11
Crucifer ( <i>Arabidopsis thaliana</i> )	5
<b>Invertebrate Animals</b>	
Fruit fly ( <i>Drosophila melanogaster</i> )	4
Mosquito ( <i>Anopheles culicifacies</i> )	3
Starfish ( <i>Asterias forbesi</i> )	18
Nematode ( <i>Caenorhabditis elegans</i> )	6
Mussel ( <i>Mytilus edulis</i> )	14
<b>Vertebrate Animals</b>	
Human being ( <i>Homo sapiens</i> )	23
Chimpanzee ( <i>Pan troglodytes</i> )	24
Cat ( <i>Felis domesticus</i> )	36
Mouse ( <i>Mus musculus</i> )	20
Chicken ( <i>Gallus domesticus</i> )	39
Toad ( <i>Xenopus laevis</i> )	17
Fish ( <i>Esox lucius</i> )	25

Table 5-1 Principles of Genetics, 4/e  
© 2006 John Wiley & Sons



# Número de CROMOSSOMOS X Número de GENES

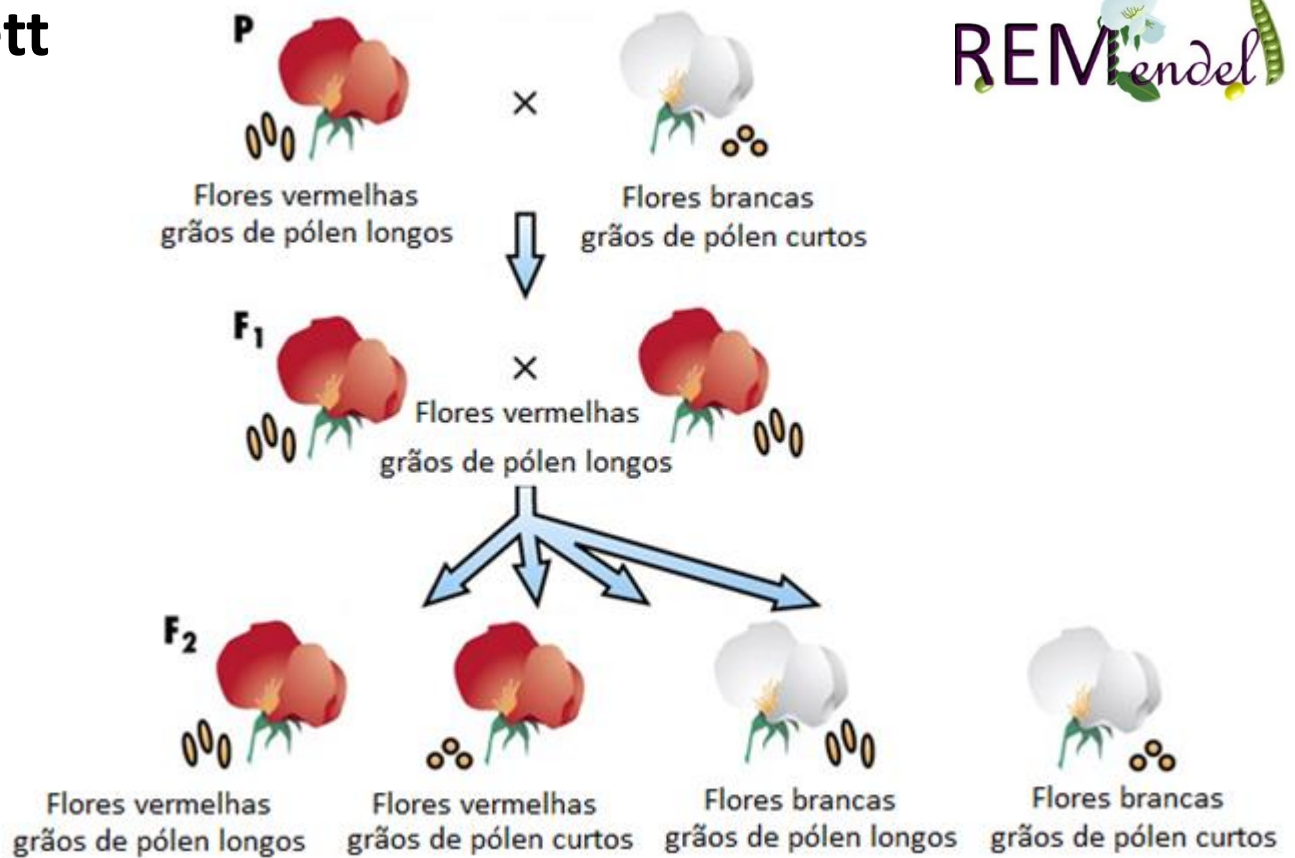
# Batenson e Punnett (1905)



William Bateson, 1922.



Reginald Crundall Punnett



	Parental	Não parental	Não parental	Parental
Observado	<b>583</b>	<b>26</b>	<b>24</b>	<b>170</b>
Esperado	451.6	150.6	150.6	50.2
	9	: 3	: 3	: 1

$$\chi^2 = \sum \frac{(\text{Obs.} - \text{Exp.})^2}{\text{Exp.}} = 38.2 + 103.1 + 106.4 + 285.9 = 533.6$$





Flores vermelhas  
grãos de pólen longos



Flores vermelhas  
grãos de pólen curtos



Flores brancas  
grãos de pólen longos



Flores brancas  
grãos de pólen curtos

	Parental	Não parental	Não parental	Parental
Observado	<b>583</b>	<b>26</b>	<b>24</b>	<b>170</b>
Esperado	<b>451.6</b>	<b>150.6</b>	<b>150.6</b>	<b>50.2</b>

sub-representados

hiper representados

$$\chi^2 = \sum \frac{(\text{Obs.} - \text{Exp.})^2}{\text{Exp.}} = 533.6$$

$$\chi^2 \text{ crítico} = 7.8$$

**Cor da flor:**

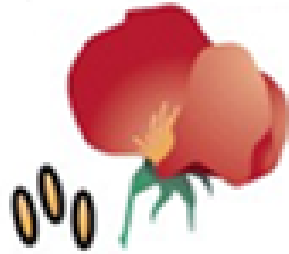
*R* – vermelha

*r* – branca

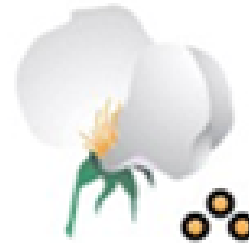
**Tamanho de pólen:**

*L* – longo

*l* – curto



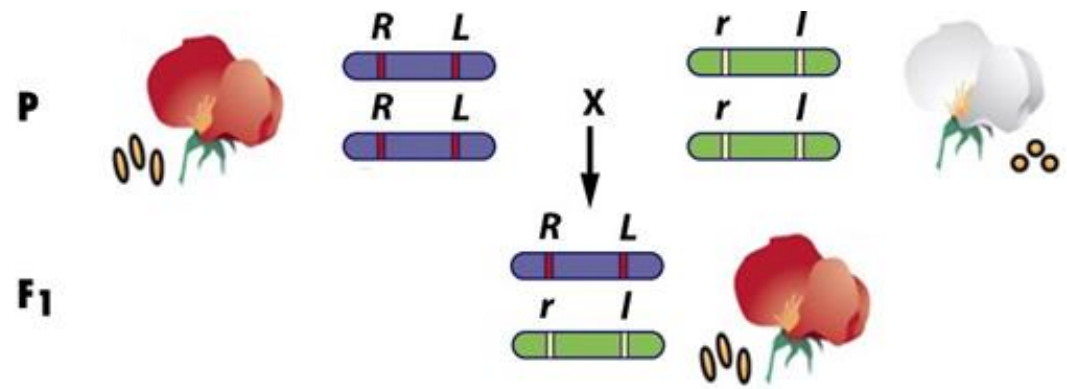
***RR LL***



***rr ll***

Base genética dos resultados de Batenson e Punnett:

Genes para **cor da flor** e **tamanho de pólen** estão no mesmo cromossomo e ficam juntos durante a **meiose**

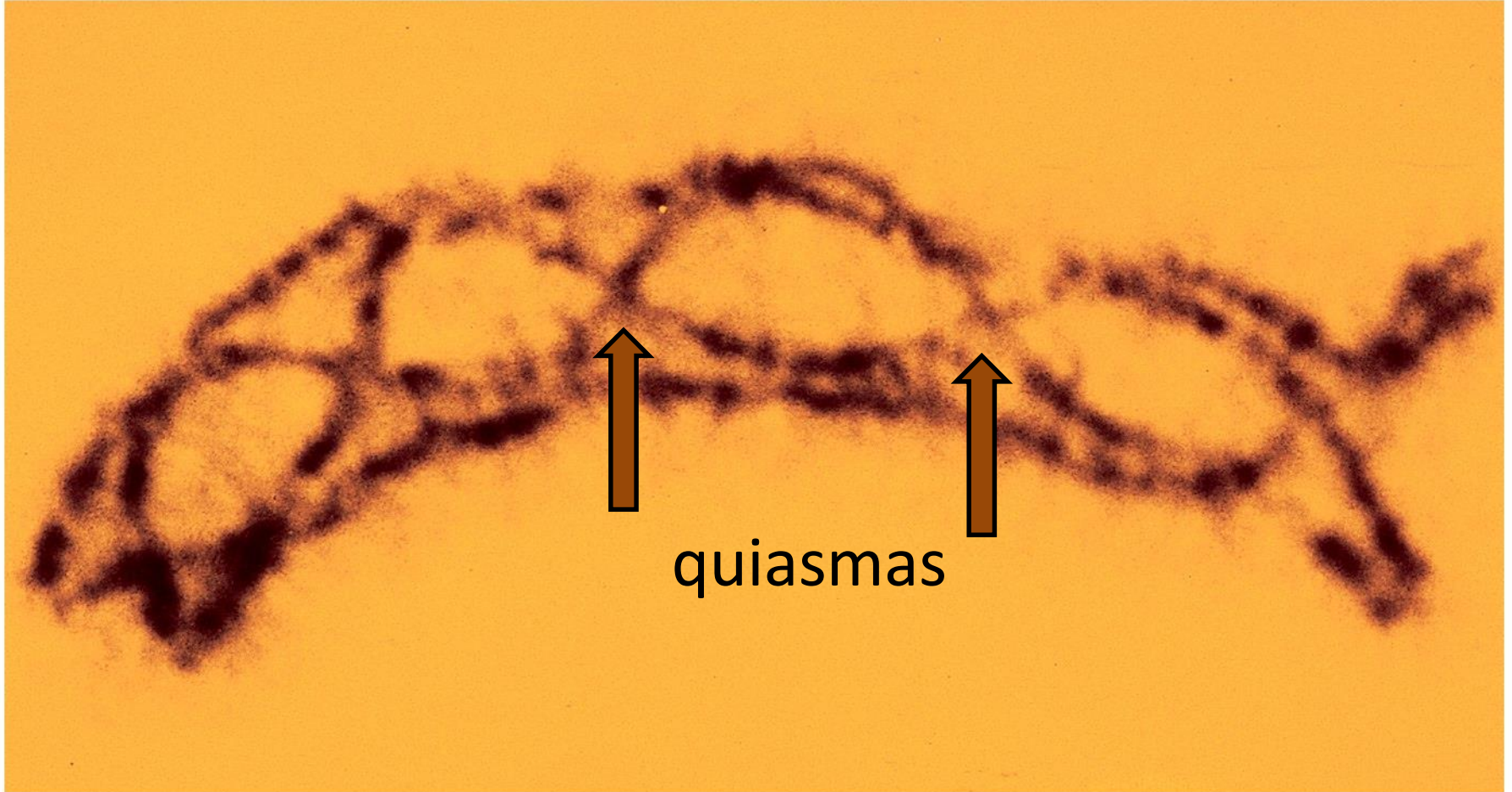


**F<sub>2</sub>**

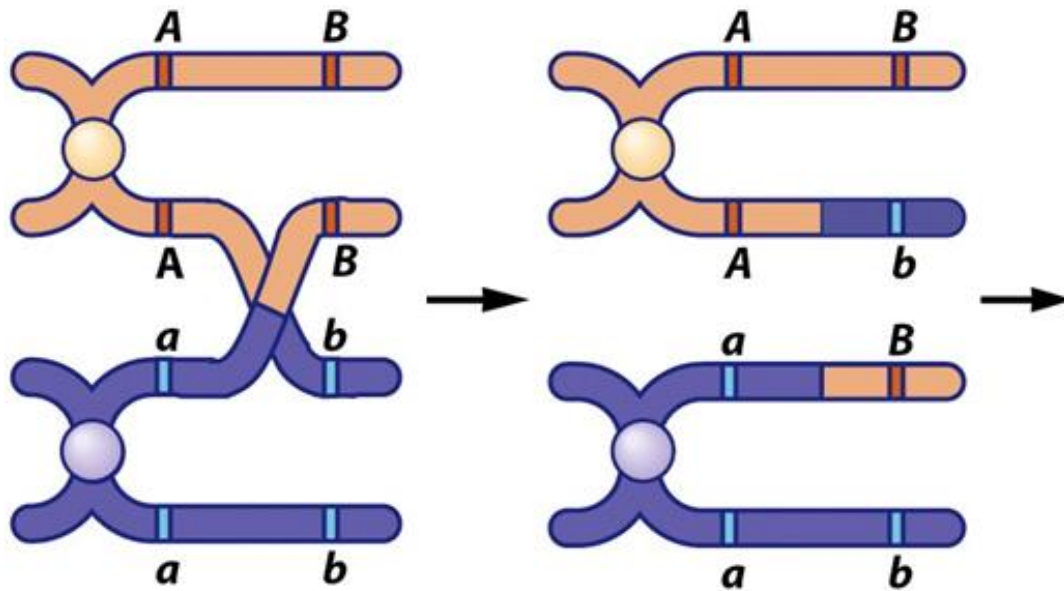
	Parental <i>R L</i>	Recombinant <i>R l</i>	Recombinant <i>r L</i>	Parental <i>r l</i>
Parental <i>R L</i>	 Red, long	 Red, long	 Red, long	 Red, long
Recombinant <i>R l</i>	 Red, long	 Red, short	 Red, long	 Red, short
Recombinant <i>r L</i>	 Red, long	 Red, long	 White, long	 White, long
Parental <i>r l</i>	 Red, long	 Red, short	 White, long	 White, short



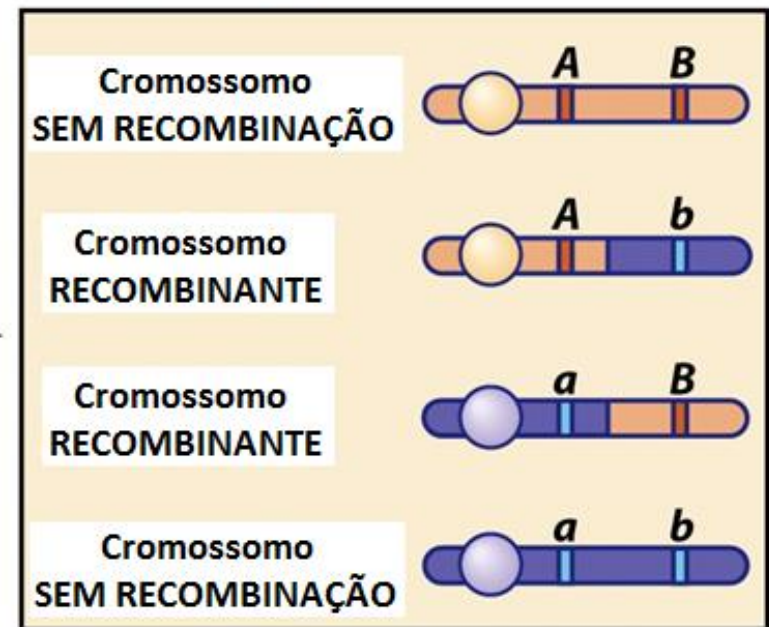
**Meiose:** pares de homólogos com troca física de material que recombinaria genes



# Crossing over : evidência física da recombinação



QUATRO produtos da meiose



## 3ª Lei da Genética: LIGAÇÃO



**Thomas Hunt Morgan**  
(1911)

*Dois genes próximos  
associados no mesmo  
**cromossomo** não teriam  
segregação independente  
na formação dos gametas*



Alfred Henry Sturtevant

Photo courtesy of Cold Spring Harbor Laboratory Archives.

# Primeiro mapa cromossômico em *Drosophila* (1913)

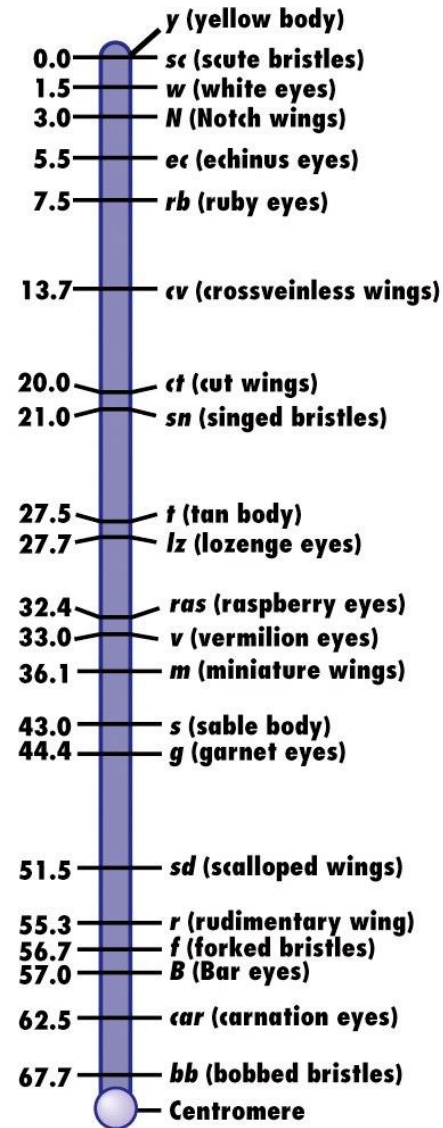
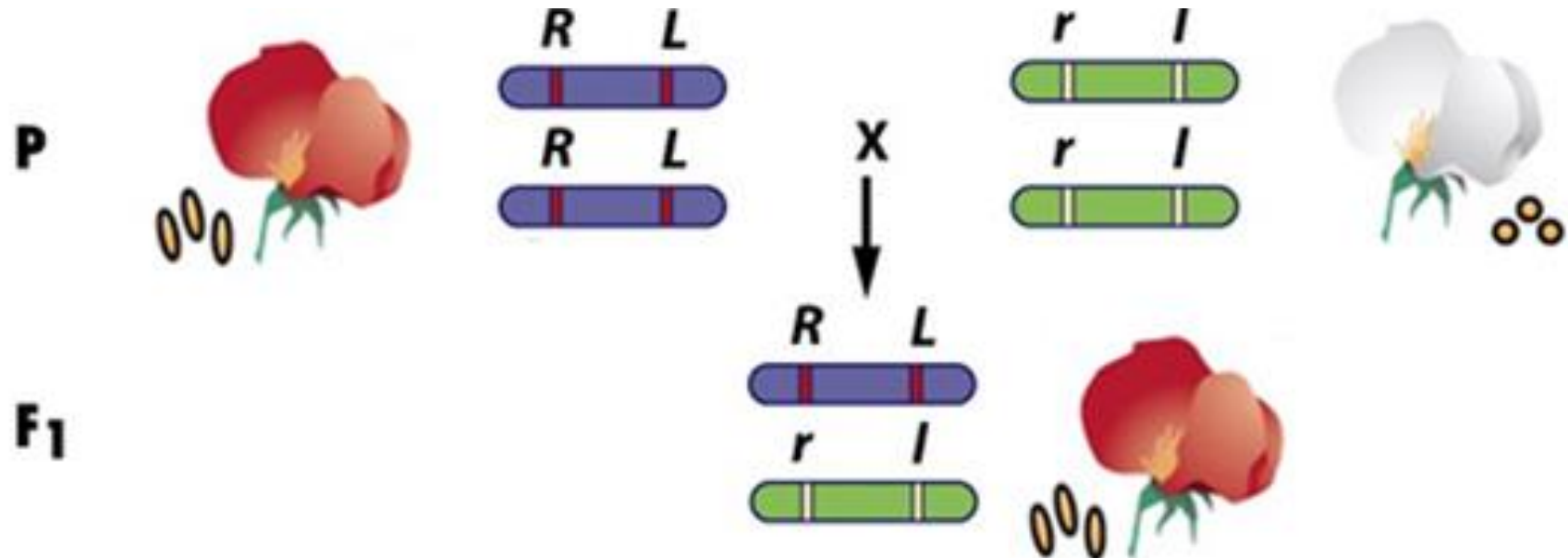


Figure 7-1 Principles of Genetics, 4/e  
© 2006 John Wiley & Sons

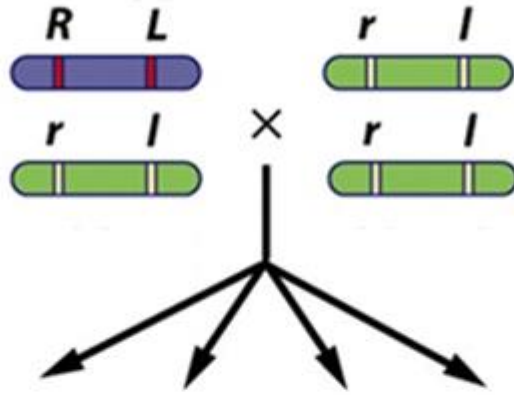


# Cruzamento Teste



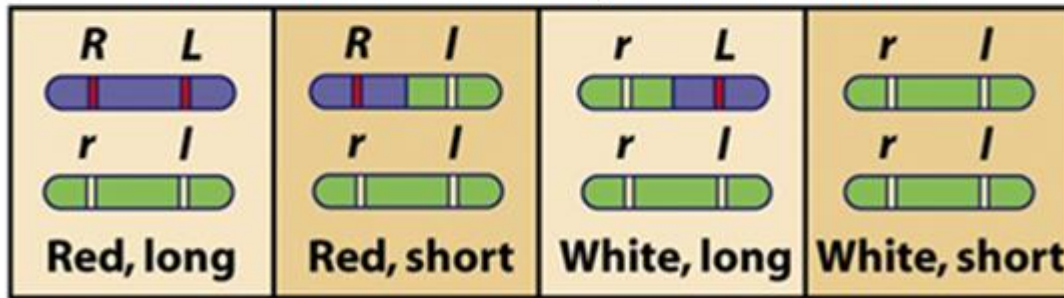


F<sub>1</sub>



Recombinantes: menos que 50% do total

F<sub>2</sub>



450

42

38

470

80 recombinant

920 parental

$$\text{Frequency of recombinants} = \frac{80}{80 + 920} = 0.08$$

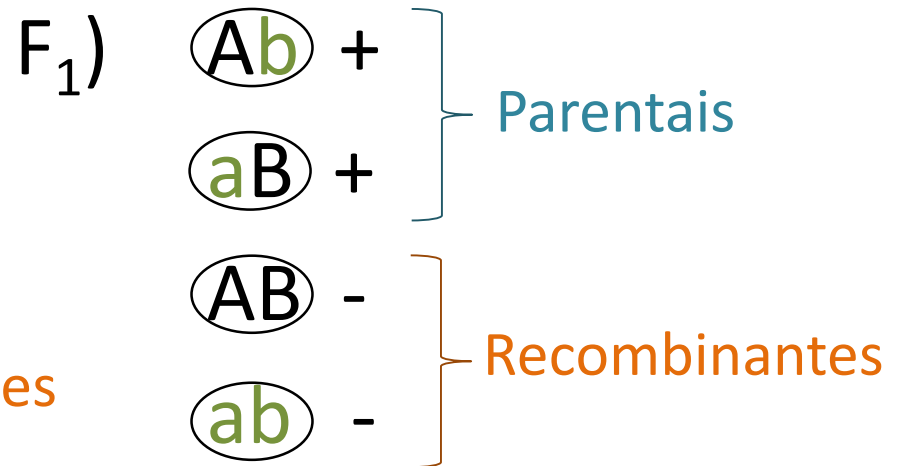
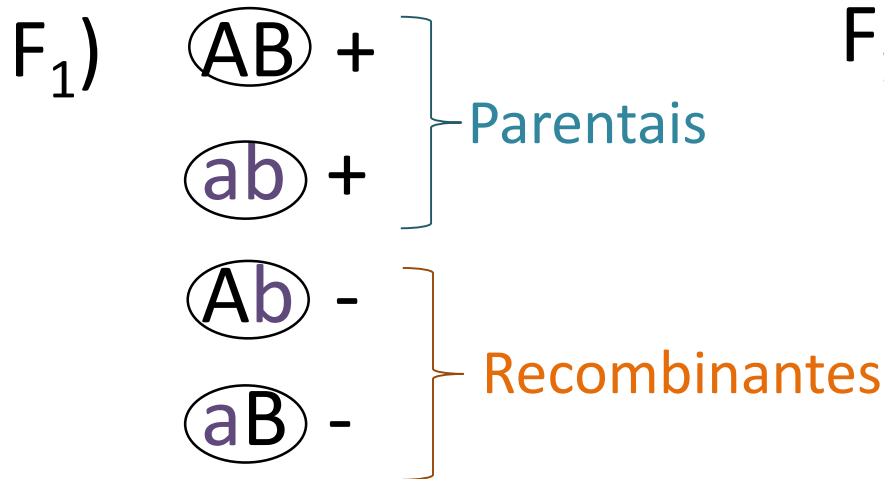
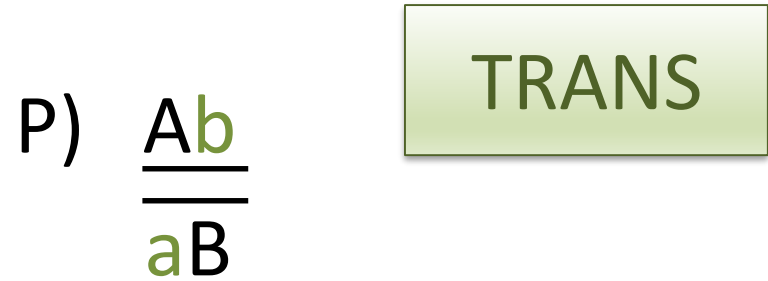
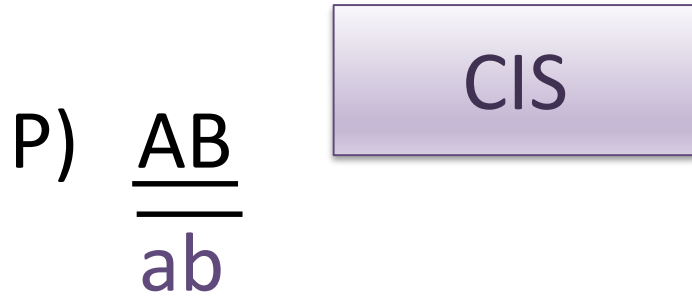
## Recombinação

Frequência que os genes para **tamanho de pólen** e **cor da flor** recombinaem na meiose



# Ligação Gênica

- **Recombinação** é usada para medir a **intensidade** de ligação
- A distância entre genes é dada pela frequência de recombinação e expressa em: **centiMorgans (cM)**; **unidades de mapa (u.m.)** ou em **% de recombinação**
- Quando a distância entre dois genes é **maior que 50cM**, a probabilidade de permuta é tão grande que a análise da descendência será como a de **segregação independentemente**
- **Fase de ligação** é o modo pelo qual os alelos estão dispostos em indivíduos heterozigotos: **CIS** ou **TRANS**



Heterozigoto em  
 ACOPLAMENTO  
 ATRAÇÃO ou CIS



Heterozigoto em  
 REPULSÃO  
 ou TRANS



# Exercício

- 1) Considere um indivíduo heterozigoto ( $AB/ab$ ), cujos genes **A** e **B** estão arranados em **cis**. Quais são os gametas (e suas respectivas proporções) que esse indivíduo produziria, se considerarmos que:
  - a) Os genes **A** e **B** estão em ligação absoluta (sem recombinantes).
  - b) Com 30% de recombinação entre **A** e **B**?



## Exercício

- 2) Considere um indivíduo heterozigoto, cujos genes **A** e **B** estão arranados em **trans**. Quais são os gametas e suas proporções, que esse indivíduo produziria se considerarmos que:
- a) Os genes **A** e **B** estão em ligação absoluta.
  - b) Com 10% de recombinação entre **A** e **B**?

## Valor de ligação gênica (c)

Cálculo da distância entre os genes em função da frequência de recombinação

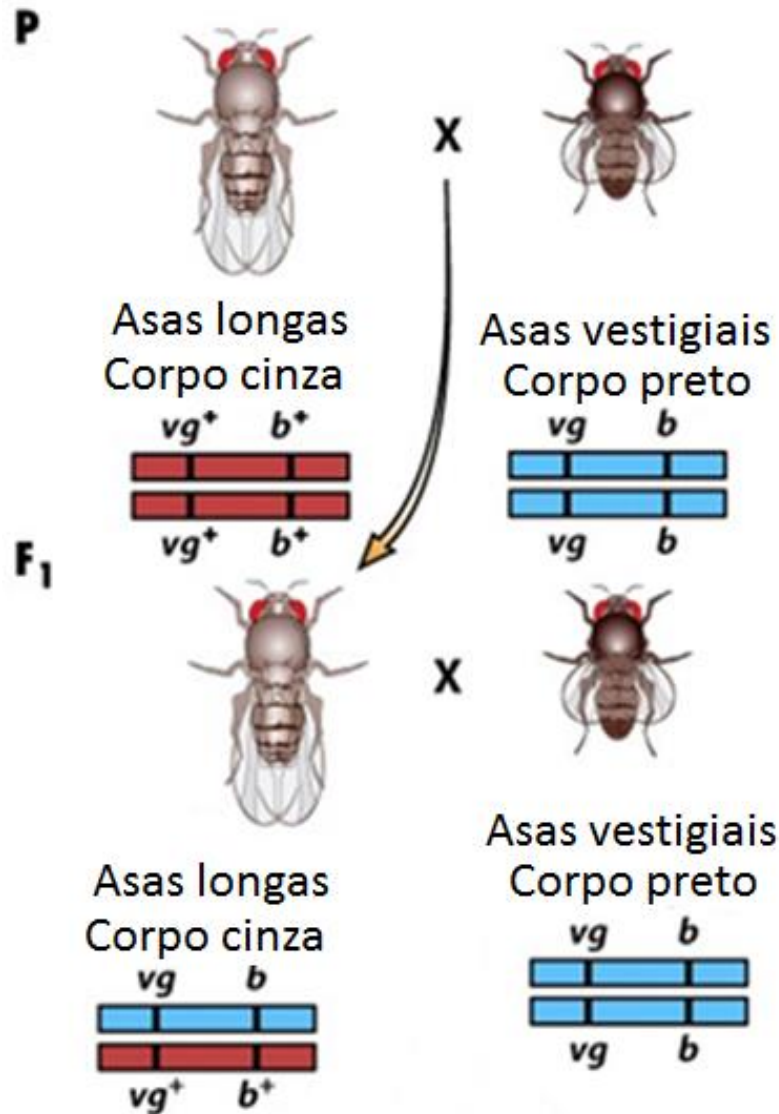
- Cruzamento Teste
  - Dados de  $F_2$
- } Cálculo de c

## Cruzamento Teste

Valor de ligação entre os genes dependente da frequência de recombinação

$$c = \frac{\sum R}{N} \times 100$$

# Ligação gênica em F<sub>1</sub>



*Drosophila melanogaster*

Asas } longas:  $vg^+$   
      } vestigiais:  $vg$

Corpo } cinza:  $b^+$   
      } preto:  $b$

F<sub>2</sub>



Asas longas  
Corpo cinza

Asas vestigiais  
Corpo cinza

Asas longas  
Corpo preto

Asas vestigiais  
Corpo preto

$vg^+ \quad b^+$

$vg \quad b^+$

$vg^+ \quad b$

$vg \quad b$



$vg \quad b$

$vg \quad b$

$vg \quad b$

$vg \quad b$

415

92

88

405

180 Recombinantes

820 Parentais

$$\text{Frequência de recombinação} = \frac{180}{1000} = 0,18$$

A cada **1000** cromossomos recuperados, **180** teriam **recombinação** entre os genes ***vg*** e ***b***

Conclui-se que os genes ***vg*** e ***b*** estão **18 cM** distantes



# Exercício

Uma linhagem endocruzada de boca-de-leão com **flores violeta** e **folhas opacas** foi cruzada com outra linhagem endocruzada com **flores brancas** e **folhas brilhantes**. As plantas  $F_1$ , que tinham todas as flores violeta e folhas opacas, foram retrocruzadas com a linhagem com flores brancas e folhas brilhantes, e foram obtidas as seguintes plantas em  $F_2$ : 63 violetas opacas; 55 brancas brilhantes; 15 violetas brilhantes e 17 brancas opacas.

- Quais classes fenotípicas são recombinantes?
- Qual evidência de que os genes para cor da flor e para textura da folha são ligados?
- Qual o valor de ligação ( $c$ ) entre os genes de cor da flor e textura da folha?

## Dados de $F_2$

- Frequências fenotípicas dependem do sistema de **interação alélica**
- Modelo de **dois genes** com alelos autossômicos de interação do tipo **dominância completa**
- Cálculo por fórmula de **Emerson** e fórmula de **Fisher**

# Segregação Independente

P ) A A B B x a a b b

G) (A B) e (a b)

F<sub>1</sub>) 100% A a B b

G) (A B) (a b) (A b) (a B)

F<sub>2</sub>) 9 A \_ B \_

3 A \_ b b

3 a a B \_

1 a a b b

Frequência dos gametas PARENTAIS

(A B) = 1/4

(a b) = 1/4

Frequência dos gametas RECOMBINANTES

(A b) = 1/4

(a B) = 1/4

# Segregação Independente

		GAMETAS PARENTAIS		GAMETAS RECOMBINANTES	
		AB 1/4	ab 1/4	Ab 1/4	aB 1/4
RECOMBINANTES	AB 1/4	AABB $\frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \mathbf{1/16}$	AaBb $\frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \mathbf{1/16}$	AABb $\frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \mathbf{1/16}$	AaBB $\frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \mathbf{1/16}$
	ab 1/4	AaBb $\frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \mathbf{1/16}$	aabb $\frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \mathbf{1/16}$	Aabb $\frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \mathbf{1/16}$	aaBb $\frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \mathbf{1/16}$
	Ab 1/4	AABb $\frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \mathbf{1/16}$	Aabb $\frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \mathbf{1/16}$	AAbb $\frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \mathbf{1/16}$	AaBb $\frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \mathbf{1/16}$
	aB 1/4	AaBB $\frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \mathbf{1/16}$	aaBb $\frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \mathbf{1/16}$	AaBb $\frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \mathbf{1/16}$	aaBB $\frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \mathbf{1/16}$

Proporção Fenotípica 9 : 3: 3 :1

# Segregação Independente

P ) AA BB x aa bb

F<sub>1</sub>) 100% Aa Bb

F<sub>2</sub>) **9** A\_ B\_

**3** A\_ bb

**3** aa B\_

**1** aa bb

1 - c

Frequência dos gametas **PARENTAIS**

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{A B} = \frac{1}{4} = \frac{(1-c)}{2} \\ \text{a b} = \frac{1}{4} = \frac{(1-c)}{2} \end{array} \right.$$

Frequência dos gametas

**RECOMBINANTES**

c

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{A b} = \frac{1}{4} = \frac{c}{2} \\ \text{a B} = \frac{1}{4} = \frac{c}{2} \end{array} \right.$$

Frequência de  
Recombinação = c



# Segregação Independente

		GAMETAS PARENTAIS		GAMETAS RECOMBINANTES	
		AB (1-c)/2	ab (1-c)/2	Ab c/2	aB c/2
RECOMBINANTES PARENTAIS	♂ ♀				
	AB (1-c)/2	AABB (1-c) <sup>2</sup> /4	AaBb (1-c) <sup>2</sup> /4	AABb c(1-c)/4	AaBB c(1-c)/4
	ab (1-c)/2	AaBb (1-c) <sup>2</sup> /4	aabb (1-c) <sup>2</sup> /4	Aabb c(1-c)/4	aaBb c(1-c)/4
	Ab c/2	AABb c(1-c)/4	Aabb c(1-c)/4	AAbb c <sup>2</sup> /4	AaBb c <sup>2</sup> /4
	aB c/2	AaBB c(1-c)/4	aaBb c(1-c)/4	AaBb c <sup>2</sup> /4	aaBB c <sup>2</sup> /4

## Genes ligados em CIS

Frequência dos  
gametas  
PARENTAIS

$$(A B) = (1 - c)/2$$

$$(a b) = (1 - c)/2$$

Frequência dos  
gametas  
RECOMBINANTES

$$(a B) = c/2$$

$$(A b) = c/2$$

# Genes ligados em CIS

		GAMETAS PARENTAIS		GAMETAS RECOMBINANTES	
		AB (1-c)/2	ab (1-c)/2	Ab c/2	aB c/2
RECOMBINANTES PARENTAIS	♂ \ ♀				
	AB (1-c)/2	AABB (1-c) <sup>2</sup> /4	AaBb (1-c) <sup>2</sup> /4	AABb c(1-c)/4	AaBB c(1-c)/4
	ab (1-c)/2	AaBb (1-c) <sup>2</sup> /4	aabb (1-c) <sup>2</sup> /4	Aabb c(1-c)/4	aaBb c(1-c)/4
	Ab c/2	AABb c(1-c)/4	Aabb c(1-c)/4	AAbb c <sup>2</sup> /4	AaBb c <sup>2</sup> /4
	aB c/2	AaBB c(1-c)/4	aaBb c(1-c)/4	AaBb c <sup>2</sup> /4	aaBB c <sup>2</sup> /4

## Genes ligados em CIS

- $A\_ B\_ = 3 \times [(1-c)^2/4] + 4 \times [c(1-c)/4] + 2 \times [c^2/4]$
- $A\_ bb = 2 \times [c(1-c)/4] + 1 \times [c^2/4]$
- $aa B\_ = 2 \times [c(1-c)/4] + 1 \times [c^2/4]$
- $aa bb = (1-c)^2/4$

# Genes ligados em CIS

- $A\_B\_ = [ 2 + (1-c)^2 ] / 4$
- $A\_bb = [ 1 - (1-c)^2 ] / 4$
- $aaB\_ = [ 1 - (1-c)^2 ] / 4$
- $aa\ bb = (1-c)^2 / 4$

Parentais

Recombinantes

$$c = 1 - \frac{(A\_B\_ + aabb) - (A\_bb + aaB\_)}{N}$$

## Genes ligados em TRANS

Frequência dos  
gametas  
PARENTAIS

$$\textcircled{A b} = (1 - c)/2$$

$$\textcircled{a B} = (1 - c)/2$$

Frequência dos  
gametas  
RECOMBINANTES

$$\textcircled{A B} = c/2$$

$$\textcircled{a b} = c/2$$

# Genes ligados em TRANS

GAMETAS RECOMBINANTES

GAMETAS PARENTAIS

		GAMETAS RECOMBINANTES		GAMETAS PARENTAIS	
		AB $c/2$	ab $c/2$	Ab $(1-c)/2$	aB $(1-c)/2$
PARENTAIS RECOMBINANTES	♀ ♂				
	AB $c/2$	AABB $c^2/4$	AaBb $c^2/4$	AABb $c(1-c)/4$	AaBB $c(1-c)/4$
	ab $c/2$	AaBb $c^2/4$	aabb $c^2/4$	Aabb $c(1-c)/4$	aaBb $c(1-c)/4$
	Ab $(1-c)/2$	AABb $c(1-c)/4$	Aabb $c(1-c)/4$	AAbb $(1-c)^2/4$	AaBb $(1-c)^2/4$
	aB $(1-c)/2$	AaBB $c(1-c)/4$	aaBb $c(1-c)/4$	AaBb $(1-c)^2/4$	aaBB $(1-c)^2/4$



## Genes ligados em TRANS

- $A\_ B\_ = 2 \times [(1-c)^2/4] + 4 \times [c(1-c)/4] + 3 \times [c^2/4]$
- $A\_ bb = 2 \times [c(1-c)/4] + 1 \times [(1 - c)^2/4]$
- $aa B\_ = 2 \times [c(1-c)/4] + 1 \times [(1 - c)^2/4]$
- $aa bb = c^2/4$

# Genes ligados em TRANS

- $A\_B\_ = (2 + c^2)/4$
- $A\_bb = (1 - c^2)/4$
- $aaB\_ = (1 - c^2)/4$
- $aa\ bb = c^2/4$

Recombinantes

Parentais

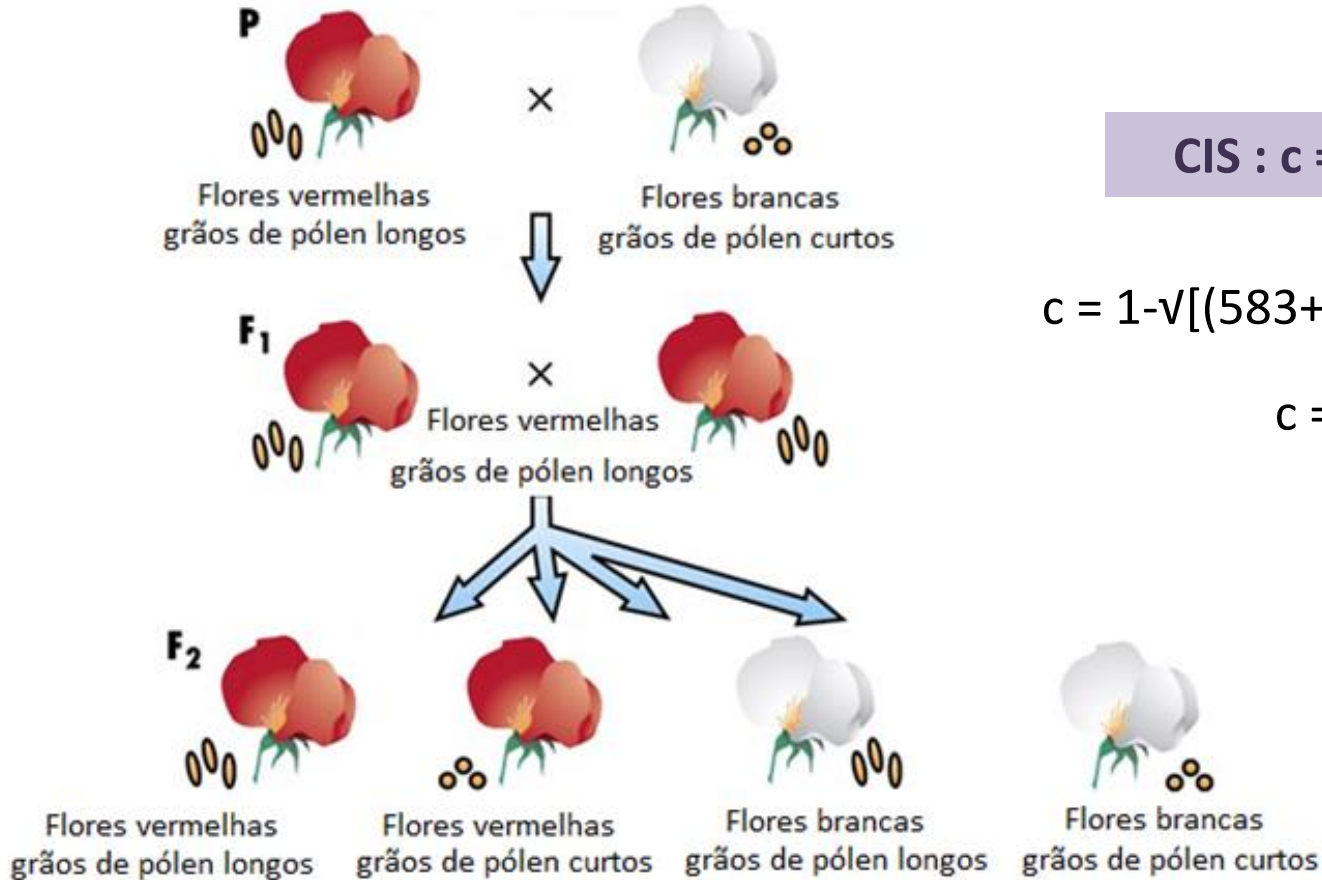
$$c = \sqrt{\frac{(A\_B\_ + aabb) - (A\_bb + aaB\_)}{N}}$$

Ligação gênica em F<sub>2</sub>

Fórmula de **EMERSON**: **soma** das equações

$$\text{CIS} \quad c = 1 - \sqrt{\frac{(\Sigma P - \Sigma R)}{N}}$$

$$\text{TRANS} \quad c = \sqrt{\frac{(\Sigma R - \Sigma P)}{N}}$$



$$CIS : c = 1 - \sqrt{[(\Sigma P - \Sigma R) / N]}$$

$$c = 1 - \sqrt{[(583 + 170) - (26 + 24) / 803]}$$

$$c = 1 - \sqrt{[(753 - 50) / 803]}$$

$$c = 1 - \sqrt{[703 / 803]}$$

$$c = 1 - \sqrt{0,8755}$$

$$c = 1 - 0,9357$$

$$c = 0,0643$$

Parental	Não parental	Não parental	Parental
583	26	24	170
451.6	150.6	150.6	50.2

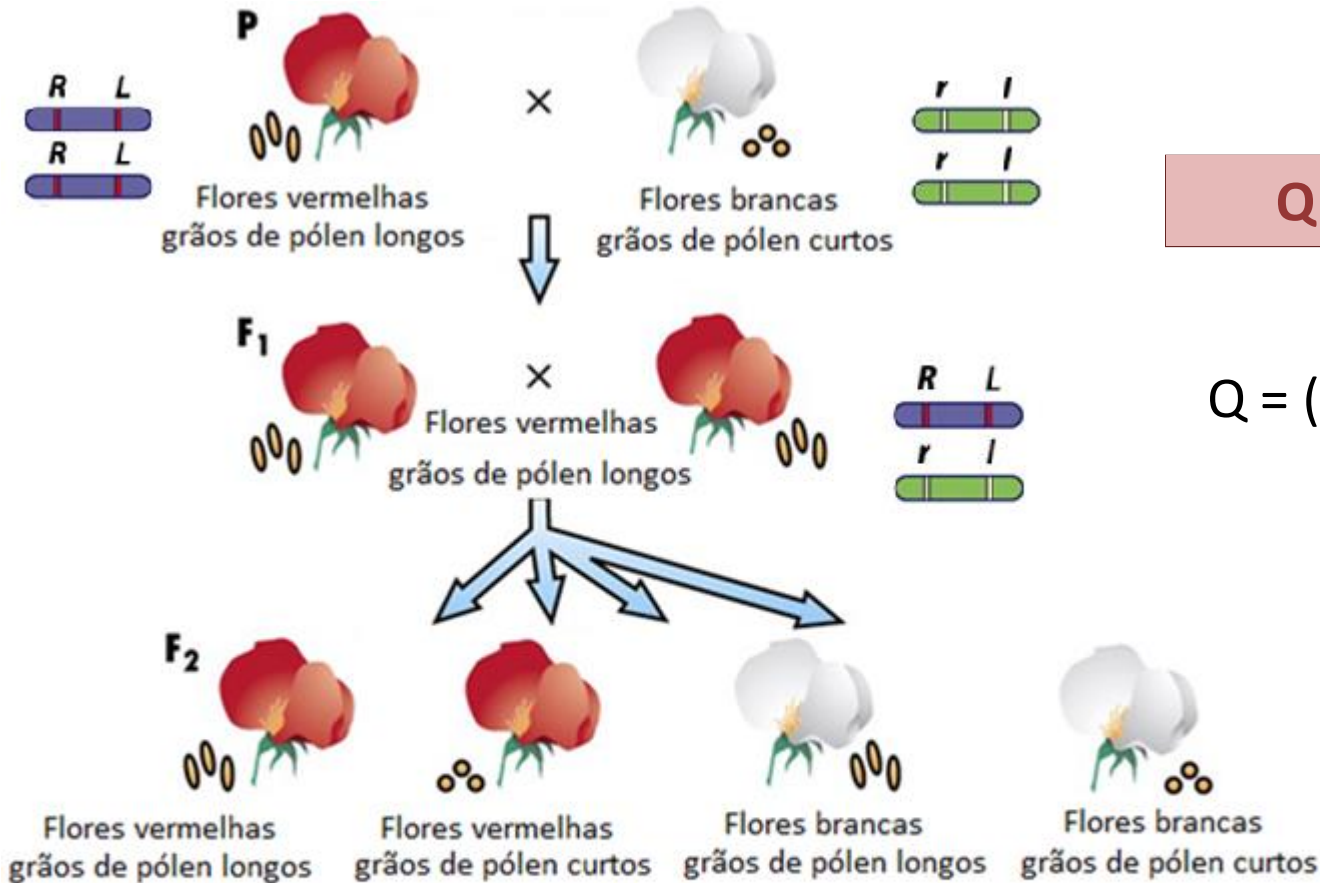
$$c = 6,43 \text{ cM}$$

## Ligação gênica em F<sub>2</sub>

Fórmula de FISHER: **produto** equações

**CIS** ou **TRANS**

$$Q = \frac{\text{Produto das combinações recombinantes}}{\text{Produto das combinações parentais}}$$



$$Q = (R \times R) / (P \times P)$$

$$Q = (26 \times 24) / (583 \times 170)$$

$$Q = 624 / 99110$$

$$Q = 0,006296$$

Parental	Não parental	Não parental	Parental
583	26	24	170
451.6	150.6	150.6	50.2

c %	Q	
	Associação	Repulsão
1	0,000136	0,000200
2	0,000552	0,000800
3	0,001	0,002
4	0,002	0,003
5	0,004	0,005
6	0,005	0,007
7	0,007	0,010
8	0,010	0,013
9	0,013	0,017
10	0,016	0,021

CIS = associação

$$Q = 0,006296$$

c % entre 6 e 7

**Fisher:**

**6 a 7 cM**

**Emerson:**

**6,43 cM**

\* Tábua abreviada daquela contida no livro "Tábuas e Fórmulas para Estatística" de **F. G. Brieger.**

# Exercício

Por meio dos cruzamentos de sementes de milho contrastantes para a cor (amarela **A** > branca **a**) e textura (lisa **B** > rugosa **b**), pesquisadores observaram a ligação destes genes:

Fenótipos	Cruzamento teste 1	Cruzamento teste 2	Dados de F <sub>2</sub>
Amarela e lisa	85	6	255
Amarela e rugosa	4	97	8
Branca e lisa	6	102	9
Branca e rugosa	90	5	83
<b>TOTAL</b>	<b>185</b>	<b>210</b>	<b>355</b>

- Determine a fase do heterozigoto nos cruzamentos teste 1 e 2.
- Calcule o valor de ligação para os cruzamentos teste 1 e 2.
- Calcule o valor de ligação para os dados de F<sub>2</sub> usando as fórmulas de Fisher e de Emerson.

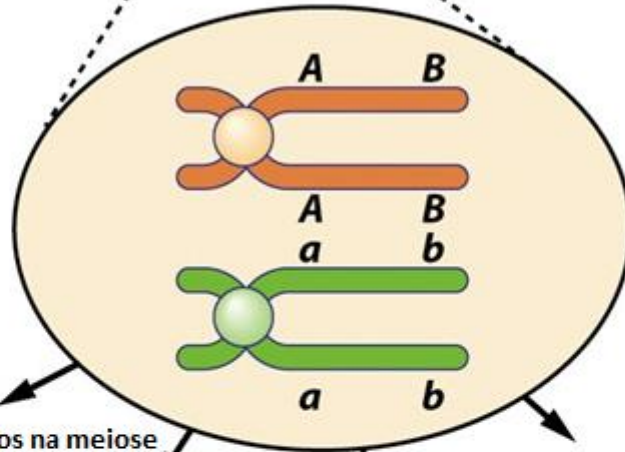


# Mapeamento Gênico

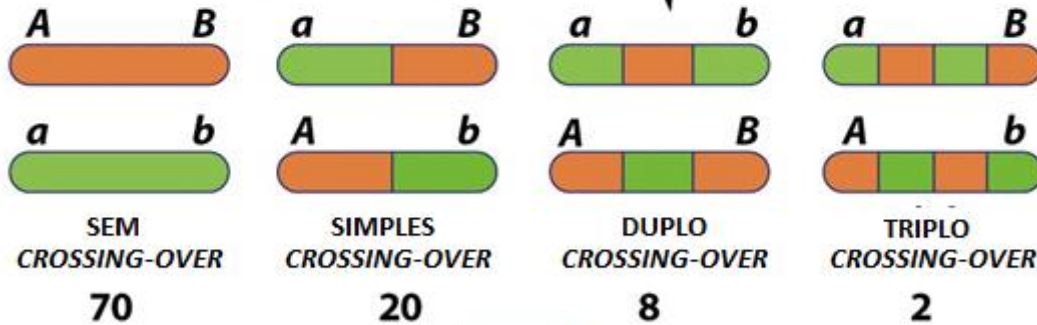


Usado número de *crossings* estimado pelo número de **quiasmas** ou cromossomos recombinantes observados

100 Oogonia



Cromossomos recuperados na meiose



**Total**  
**100**

Média de *crossing-over* entre A e B =

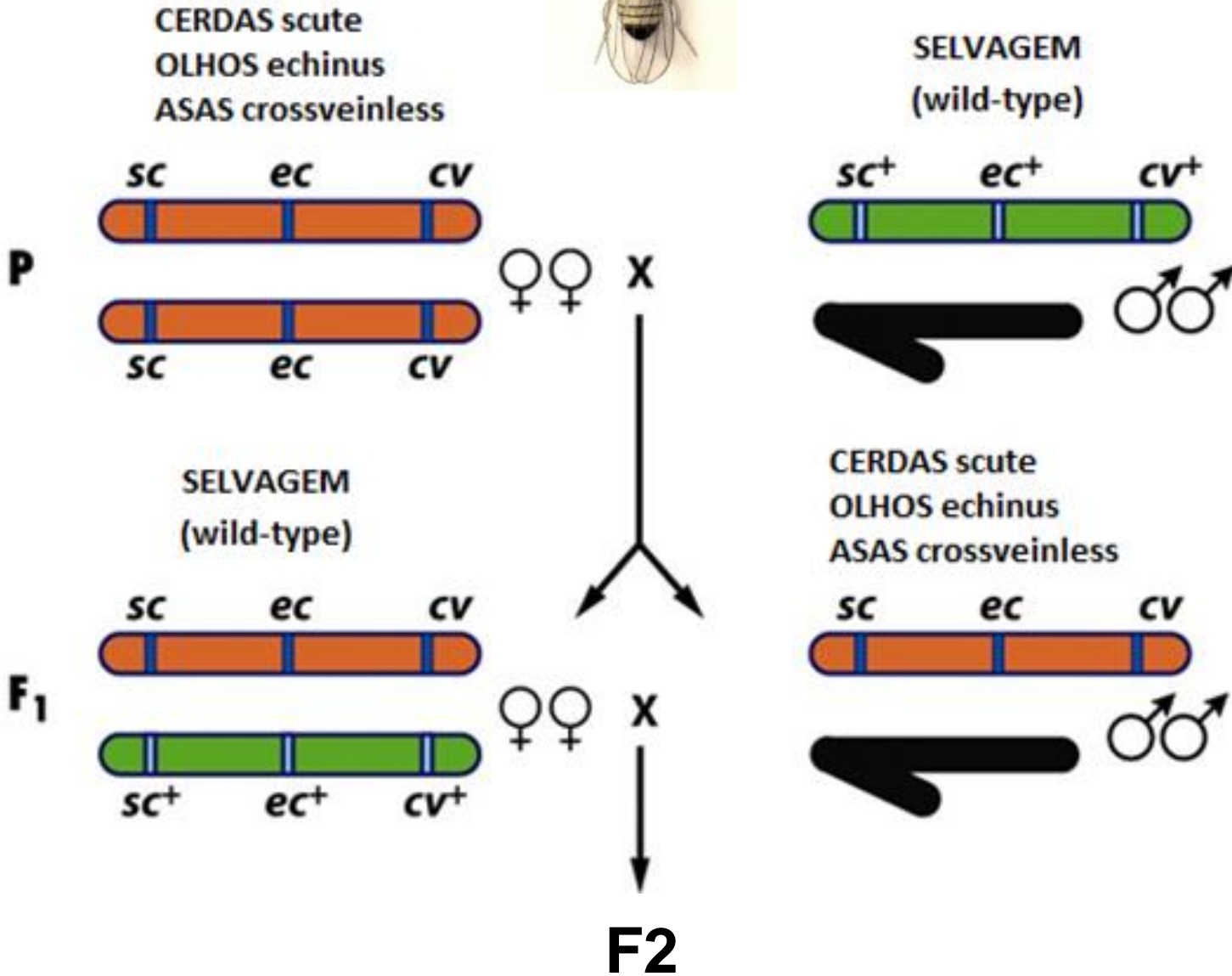
$$0 \times \left(\frac{70}{100}\right) + 1 \times \left(\frac{20}{100}\right) + 2 \times \left(\frac{8}{100}\right) + 3 \times \left(\frac{2}{100}\right) = 0.42$$

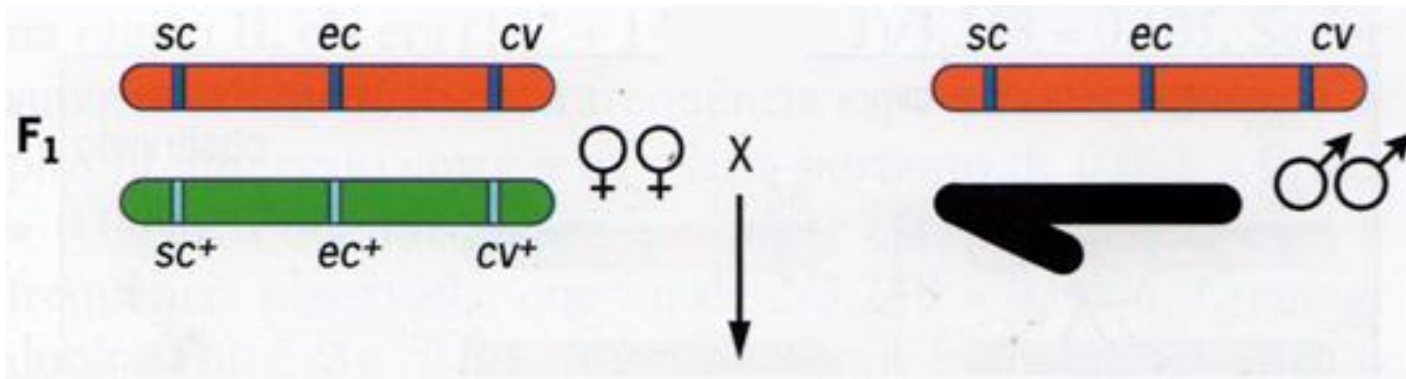
**Número médio  
de *crossings*  
entre genes dos  
cromossomos  
recuperados na  
meiose**

## Mapeamento de três pontos

- Dados de cruzamentos testes envolvendo **três genes**
  - **Ordem** relativa dos genes
  - Cálculo das **distâncias** entre genes
  - Coeficientes de **Interferência** e **Coincidência**

# Experimento de Bridges e Olbrycht





**F<sub>2</sub>**

Classe	Fenótipo	Genótipo do cromossomo X herdado maternamente			Número observado
1	Scute, echinus, crossveinless	sc	ec	cv	1.158
2	Tipo selvagem	sc <sup>+</sup>	ec <sup>+</sup>	cv <sup>+</sup>	1.455
3	Scute	sc	ec <sup>+</sup>	cv <sup>+</sup>	163
4	Echinus, crossveinless	sc <sup>+</sup>	ec	cv	130
5	Scute, echinus	sc	ec	cv <sup>+</sup>	192
6	Crossveinless	sc <sup>+</sup>	ec <sup>+</sup>	cv	148
7	Scute, crossveinless	sc	ec <sup>+</sup>	cv	1
8	Echinus	sc <sup>+</sup>	ec	cv <sup>+</sup>	1
				Total:	3.248



# Ordem Relativa do Genes

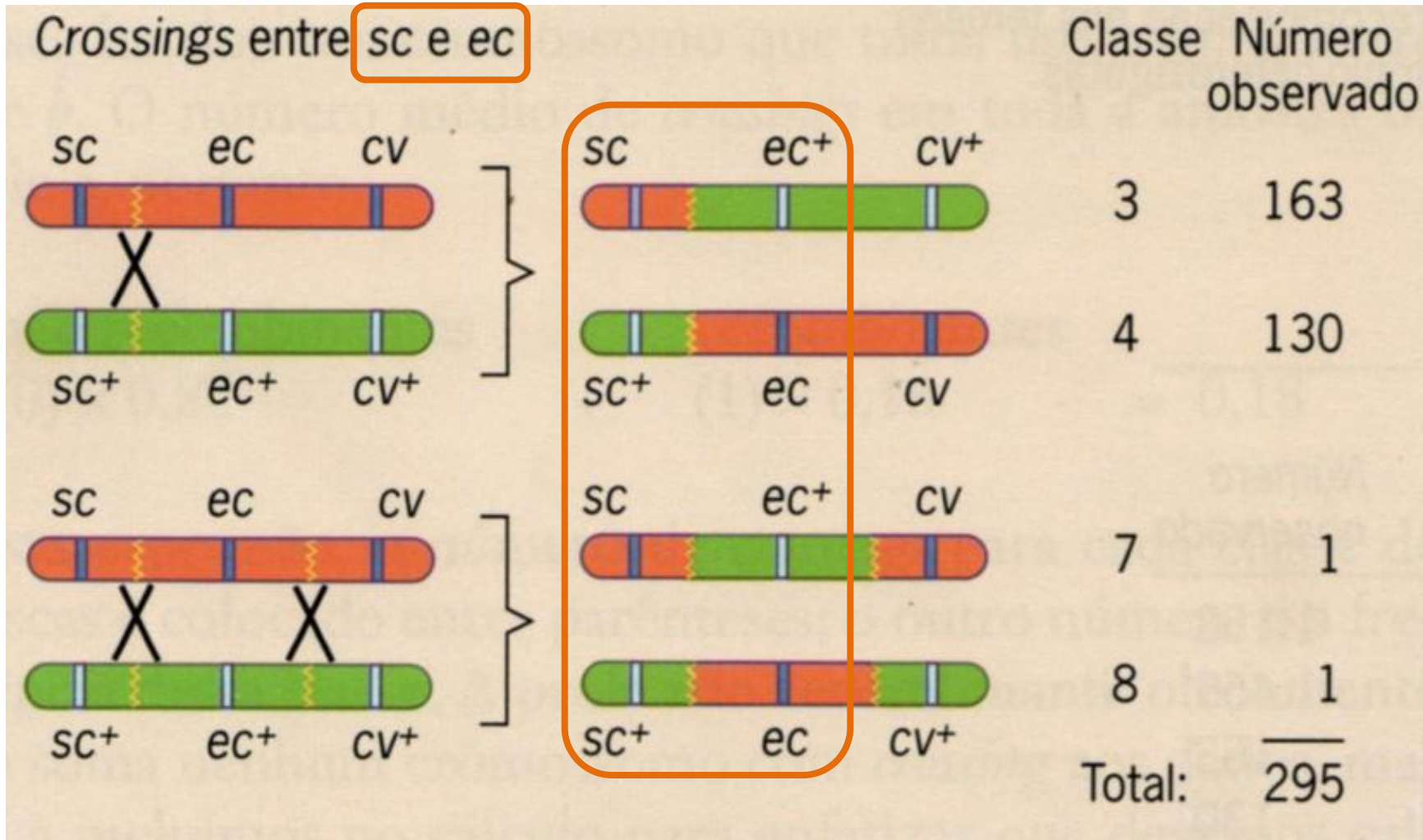
Classe	Fenótipo	Genótipo do cromossomo X herdado maternamente			Número observado
1	Scute, echinus, crossveinless	sc	ec	cv	1.158
2	Tipo selvagem	sc <sup>+</sup>	ec <sup>+</sup>	cv <sup>+</sup>	1.455
3	Scute	sc	ec <sup>+</sup>	cv <sup>+</sup>	163
4	Echinus, crossveinless	sc <sup>+</sup>	ec	cv	130
5	Scute, echinus	sc	ec	cv <sup>+</sup>	192
6	Crossveinless	sc <sup>+</sup>	ec <sup>+</sup>	cv	148
7	Scute, crossveinless	sc	ec <sup>+</sup>	cv	1
8	Echinus	sc <sup>+</sup>	ec	cv <sup>+</sup>	1
Total:					3.248

# Ordem Relativa do Genes

- 2 classes mais abundantes (**parentais**):
  - $sc\ ec\ cv$  (1.158 indivíduos)
  - $sc^+\ ec^+\ cv^+$  (1.455 indivíduos)
- 2 classes mais raras (**recombinação dupla**):
  - $sc\ ec^+\ cv$  (1 indivíduo)
  - $sc^+\ ec\ cv^+$  (1 indivíduo)

SC – EC – CV

# Distância entre os genes adjacentes



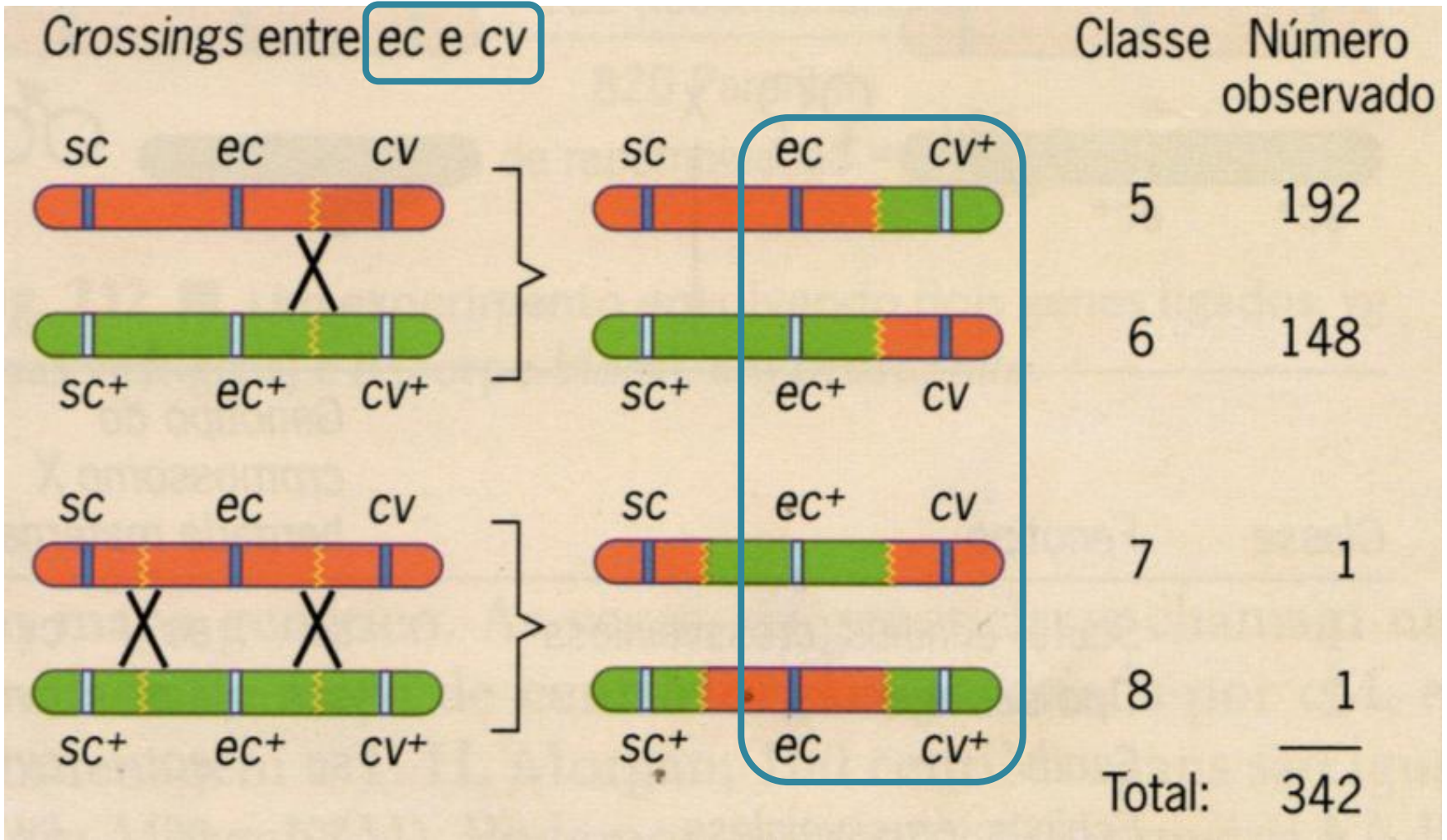


# Cálculo da distância entre genes

$$\text{FRRI} = \frac{\text{n}^\circ \text{ de Recombinantes na Região I} + \text{n}^\circ \text{ de Duplo Recombinantes}}{\text{número Total de Descendentes}} \times 100$$

$$\text{Freq}_{\text{sc-ec}} = \frac{163 + 130 + 1 + 1}{3248} \times 100 = 9,1 \text{ cM}$$

# Distância entre os genes adjacentes



# Cálculo da distância entre genes

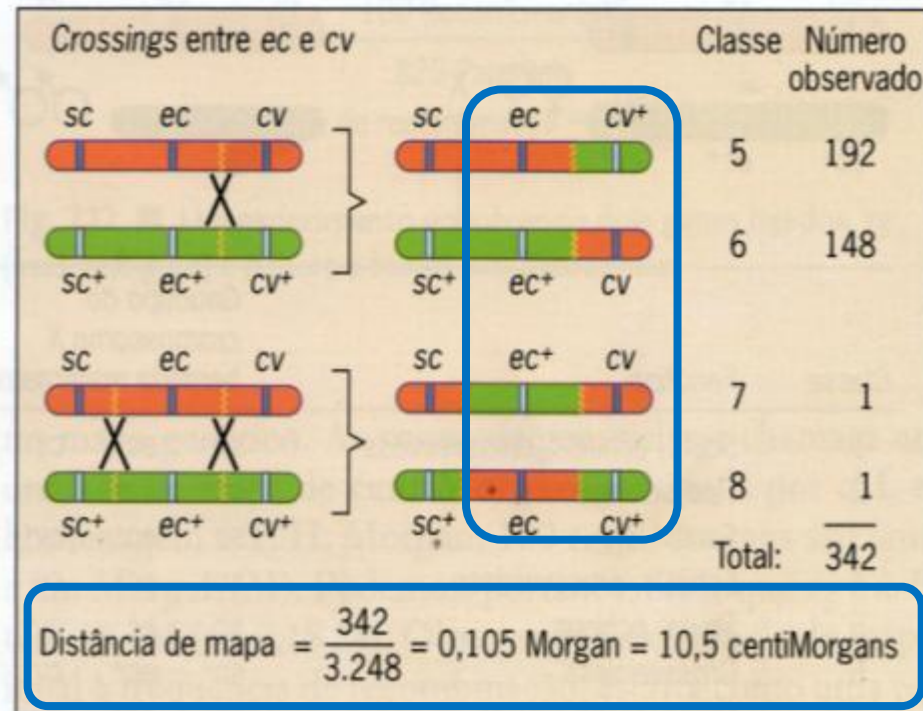
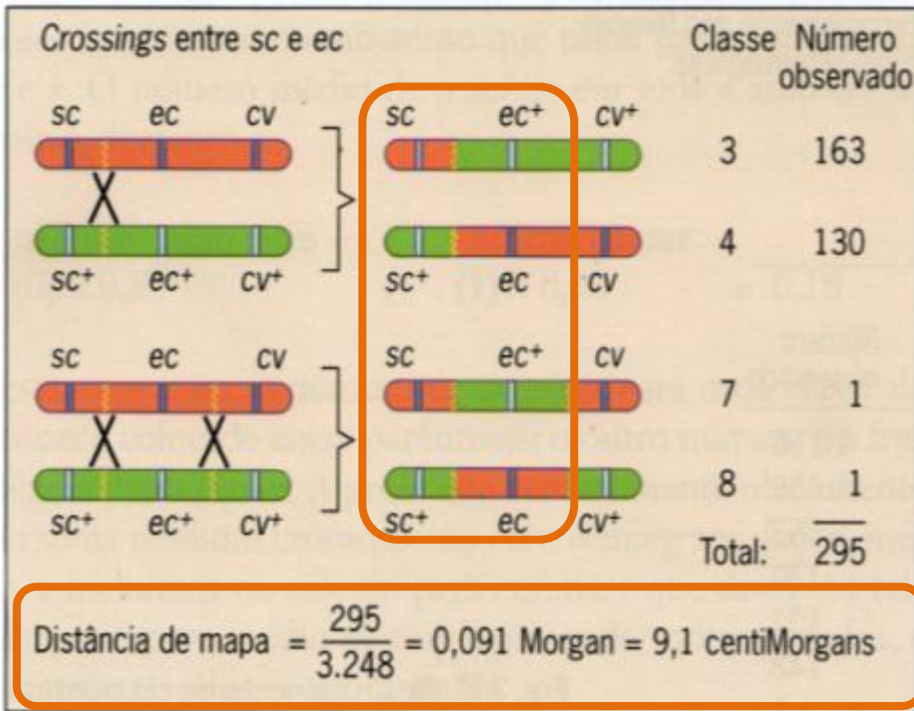
$$\text{FRRII} = \frac{\text{n}^\circ \text{ de Recombinantes na Região II} + \text{n}^\circ \text{ de Duplo Recombinantes}}{\text{número Total de Descendentes}} \times 100$$

$$\text{Freq}_{\text{ec-cv}} = \frac{192 + 148 + 1 + 1}{3248} \times 100 = \mathbf{10,5 \text{ cM}}$$

# Cálculo da distância entre genes

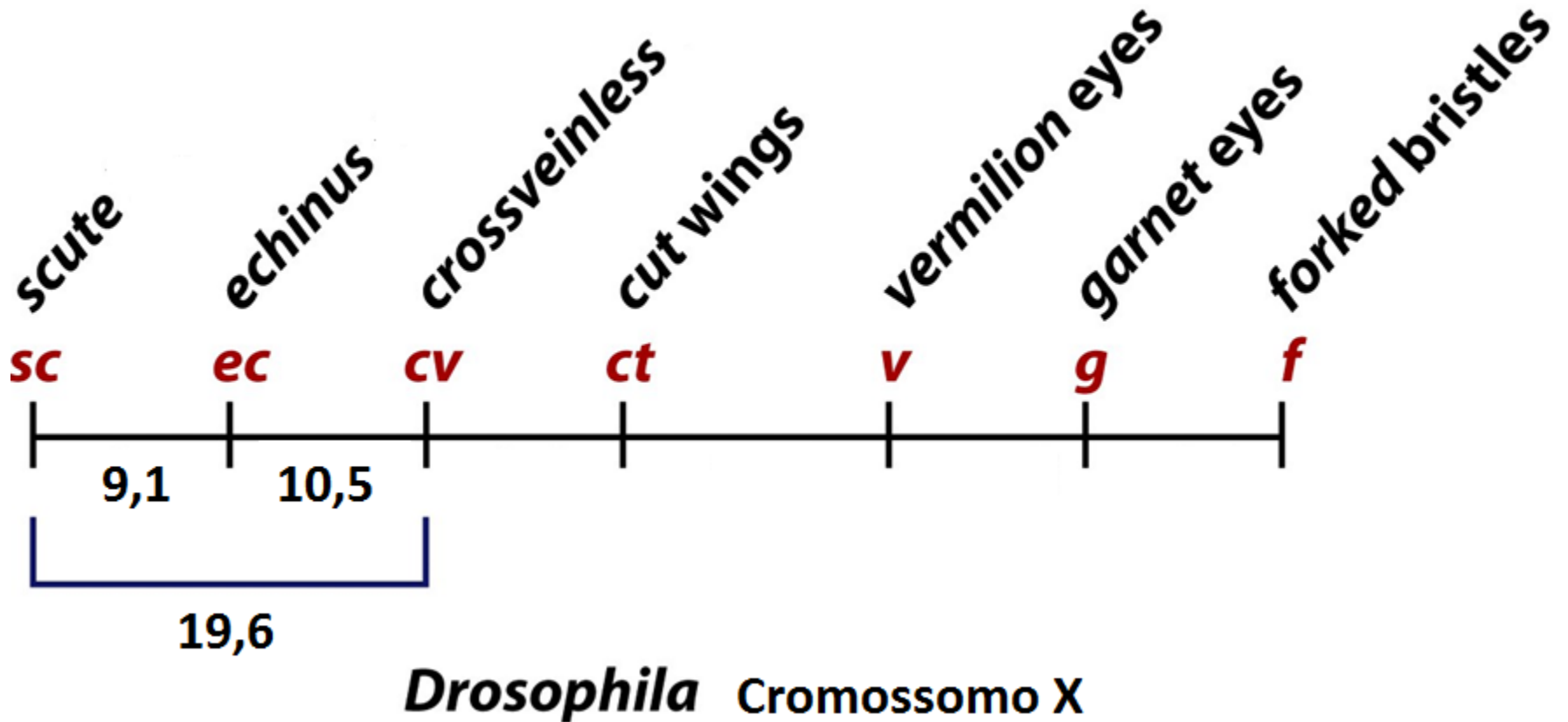
## Recombinantes Região I

## Recombinantes Região II



$$\text{Freq}_{sc-cv} = \frac{163 + 130 + 1 + 1 + 192 + 148 + 1 + 1}{3248} \times 100 = 19,6 \text{ cM}$$

# Mapa de Bridges e Olbrycht



# Exercício



Em aves existe um grupo de genes ligados, associados a características comportamentais: **A** agressividade e **a** submissão; **B** cuidado parental curto e **b** cuidado parental longo; **C** monogamia estrita e **c** monogamia frouxa. O cruzamento ABC/abc x abc/abc gerou a seguinte prole:

Fenótipo	N
Agressivo, curto, estrita	450
Submisso, longo, frouxa	430
Agressivo, longo, estrita	26
Submissos, curto, frouxa	24
Agressivos, curto, frouxa	32
Submissos, longo, estrita	33
Agressivos, longo, frouxa	03
Submissos, curto, estrita	02
<b>Total</b>	<b>1000</b>

- Represente os genótipos correspondentes a cada fenótipo da prole.
- Quais são os parentais e duplo-recombinantes?
- Qual é a ordem dos genes A, B e C?
- Quais são simples recombinantes da primeira e da segunda região?
- Construa o mapa gênico, indicando as distâncias em centiMorgans.

## Coeficiente de Interferência

- Uma permuta pode **interferir na ocorrência** de uma outra permuta no mesmo cromossomo
- Se a interferência (I) for alta, significa que as permutas estão próximas

$$\text{Interferência} = 1 - \text{CC}$$



## Coeficiente de Coincidência

- A **intensidade** da interferência é medida pelo coeficiente de coincidência (CC)

$$CC = \frac{\text{Freq. Duplo Recombinantes Observados}}{\text{Freq. Duplo Recombinantes Esperados}}$$

# Duplo Recombinantes

Classe	Fenótipo	Genótipo do cromossomo X herdado maternamente			Número observado
1	<i>Scute, echinus, crossveinless</i>	sc	ec	cv	1.158
2	Tipo selvagem	sc <sup>+</sup>	ec <sup>+</sup>	cv <sup>+</sup>	1.455
3	<i>Scute</i>	sc	ec <sup>+</sup>	cv <sup>+</sup>	163
4	<i>Echinus, crossveinless</i>	sc <sup>+</sup>	ec	cv	130
5	<i>Scute, echinus</i>	sc	ec	cv <sup>+</sup>	192
6	<i>Crossveinless</i>	sc <sup>+</sup>	ec <sup>+</sup>	cv	148
7	<i>Scute, crossveinless</i>	sc	ec <sup>+</sup>	cv	1
8	<i>Echinus</i>	sc <sup>+</sup>	ec	cv <sup>+</sup>	1
Total:					3.248

# Frequência Duplo Recombinantes Observados

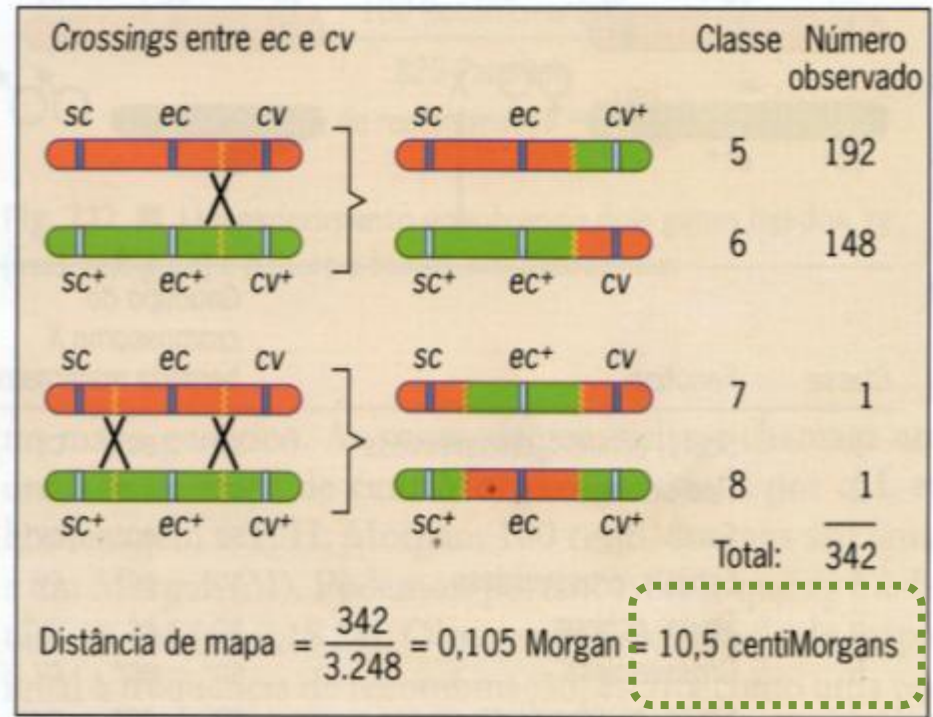
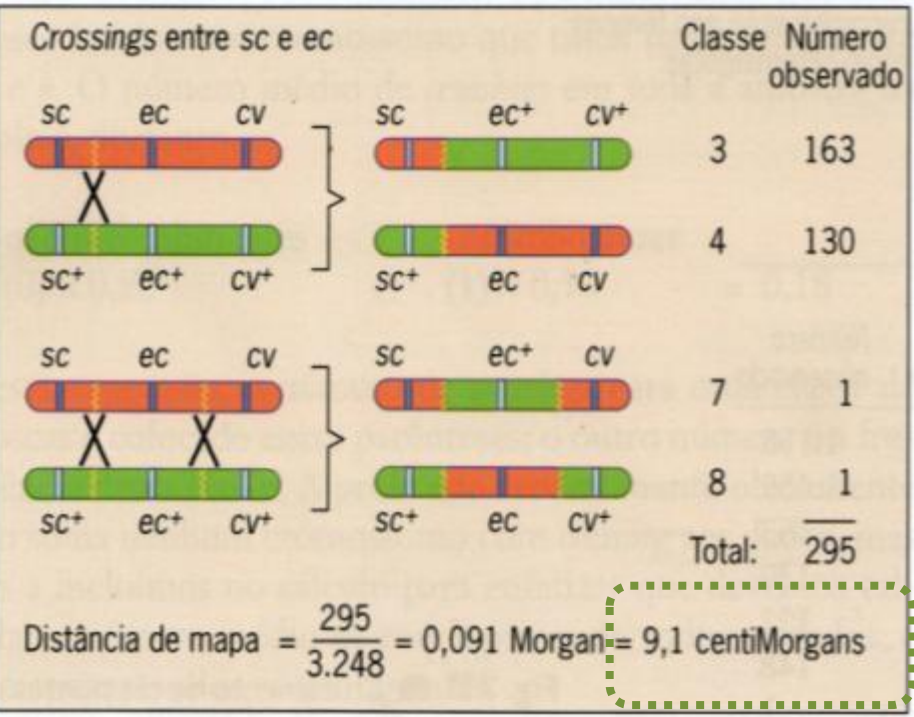
$$F_{DR\ Obs} = \frac{\text{n}^\circ \text{ de Duplo Recombinantes Observados}}{\text{número Total de Descendentes}} \times 100$$

$$\text{Frequência de Duplo Recombinantes Observados} = \frac{1 + 1}{3248} \times 100 = \mathbf{0,061}$$

# Duplo Recombinantes

## Recombinantes Região I

## Recombinantes Região II



# Frequência Duplo Recombinantes Esperados

$$F_{DR\ Esp} = \frac{\text{Distância RI} \times \text{distância RII}}{100}$$

$$\text{Freq. de Duplo Recomb. Esperados} = \frac{9,1 \times 10,5}{100} = 0,95$$

# Coeficiente de Coincidência

$$CC = \frac{\text{Freq. DR Obs}}{\text{Freq. DR Esp}}$$

Frequência de Duplo Recombinantes Observados = **0,061**

Frequência de Duplo Recombinantes Esperados = **0,95**

$$CC = \frac{0,061}{0,95}$$

$$0,95$$

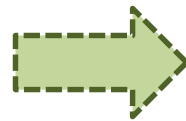
$$CC = \mathbf{0,064}$$

# Interferência

$$\text{Interferência} = 1 - \text{CC}$$

$$\text{CC} = 0,064$$

Interferência  
muito forte!



$$I = 1 - 0,064$$

$$I = \mathbf{0,936}$$

# Exercício



No estágio de plântula, uma planta de milho homocigota para todos os alelos recessivos apresenta fenótipo folhas brilhantes, virescente e sem língula. Essa planta foi cruzada com outra heterocigota para as três características produzindo a seguinte proporção de descendentes:

Fenótipos	Número de Descendentes
Folhas sem brilho, verde, com língula	250
Folhas sem brilho, verde, sem língula	179
Folhas sem brilho, virescente, com língula	28
Folhas sem brilho, virescente, sem língula	69
Folhas brilhantes, verde, com língula	70
Folhas brilhantes, verde, sem língula	23
Folhas brilhantes, virescente, com língula	163
Folhas brilhantes, virescente, sem língula	218
<b>Total</b>	<b>1000</b>

- Determine a ordem e construa o mapa dos genes.
- Calcule o coeficiente de coincidência e a interferência.
- Qual o genótipo da planta heterocigota usada no cruzamento teste?



# Referência

## Capítulo 7

**SNUSTAD, D. P.; SIMMONS, M. J. Fundamentos de genética. 4 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.**



**OBRIGADA !**

aikeda@ufpr.br