

# LGN215 - Genética Geral

## Aula 5: Ligação I

Prof. Dr. Antonio Augusto Franco Garcia

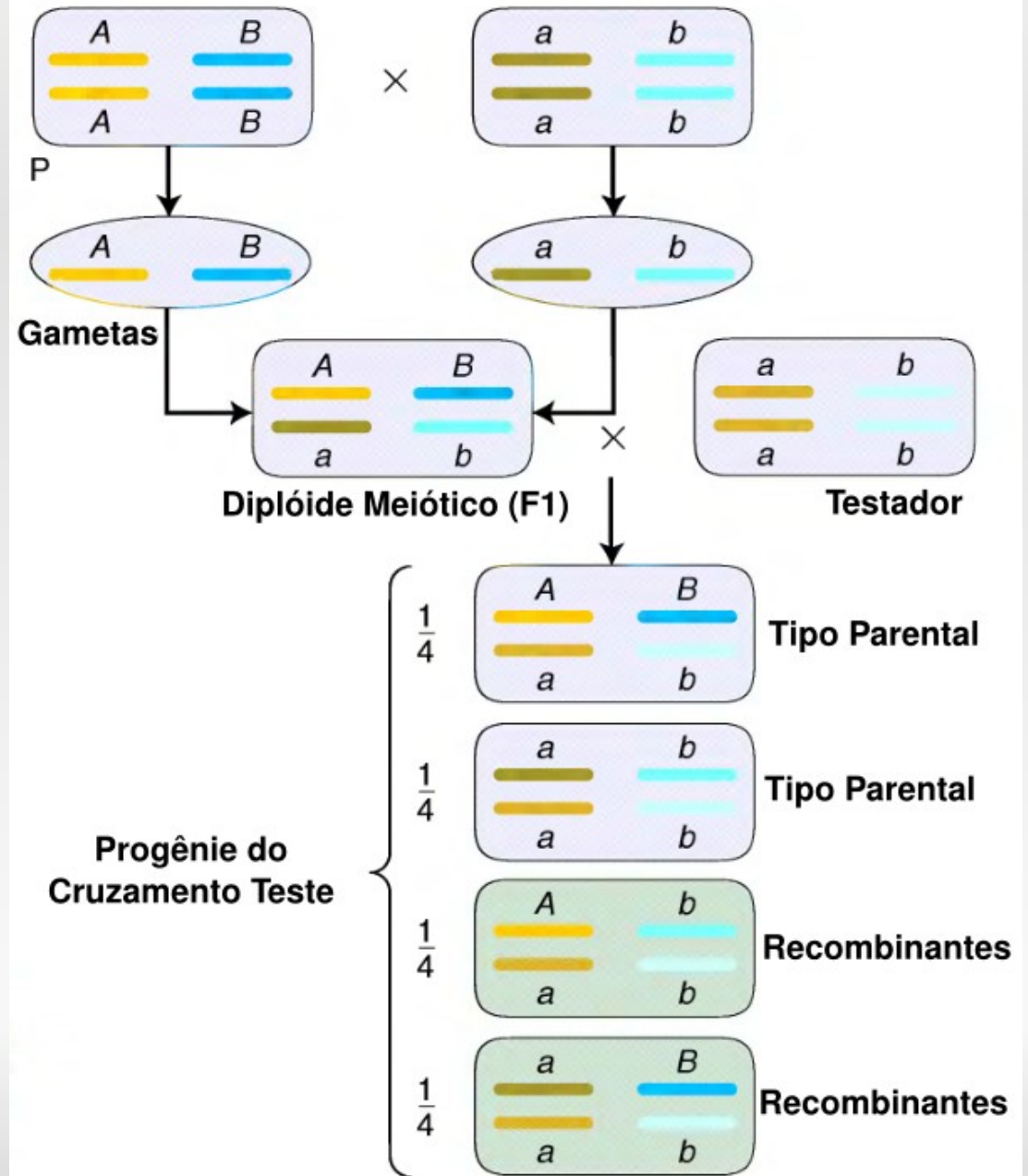
Monitora: Maria Marta Pastina

# Ligação

- Dois genes muito próximos no mesmo par cromossômico não se segregam independentemente na meiose
- A recombinação produz genótipos com novas combinações de alelos parentais
- Um par de segmentos homólogos pode trocar segmentos por crossing over
- A recombinação resulta ou da segregação independente ou de crossing-over (o que varia são as freq. de recombinantes)
- Os genes podem ser mapeados medindo-se as frequências de recombinantes

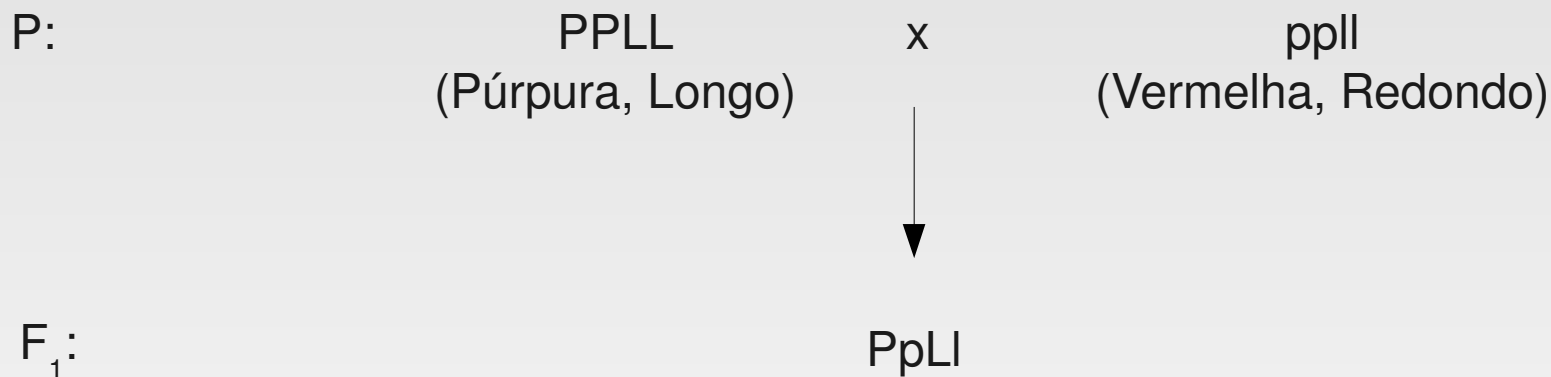
# Segregação independente

- Segregação de dois genes situados em cromossomos diferentes



# Experimentos de Bateson e Punnet

- Estudo de dois caracteres em Ervilhas (cada um controlado por um gene):
  - Gene para cor das flores (P= púrpura e p=vermelha)
  - Gene para forma do grão de pólen (L= longo e l=redondo)

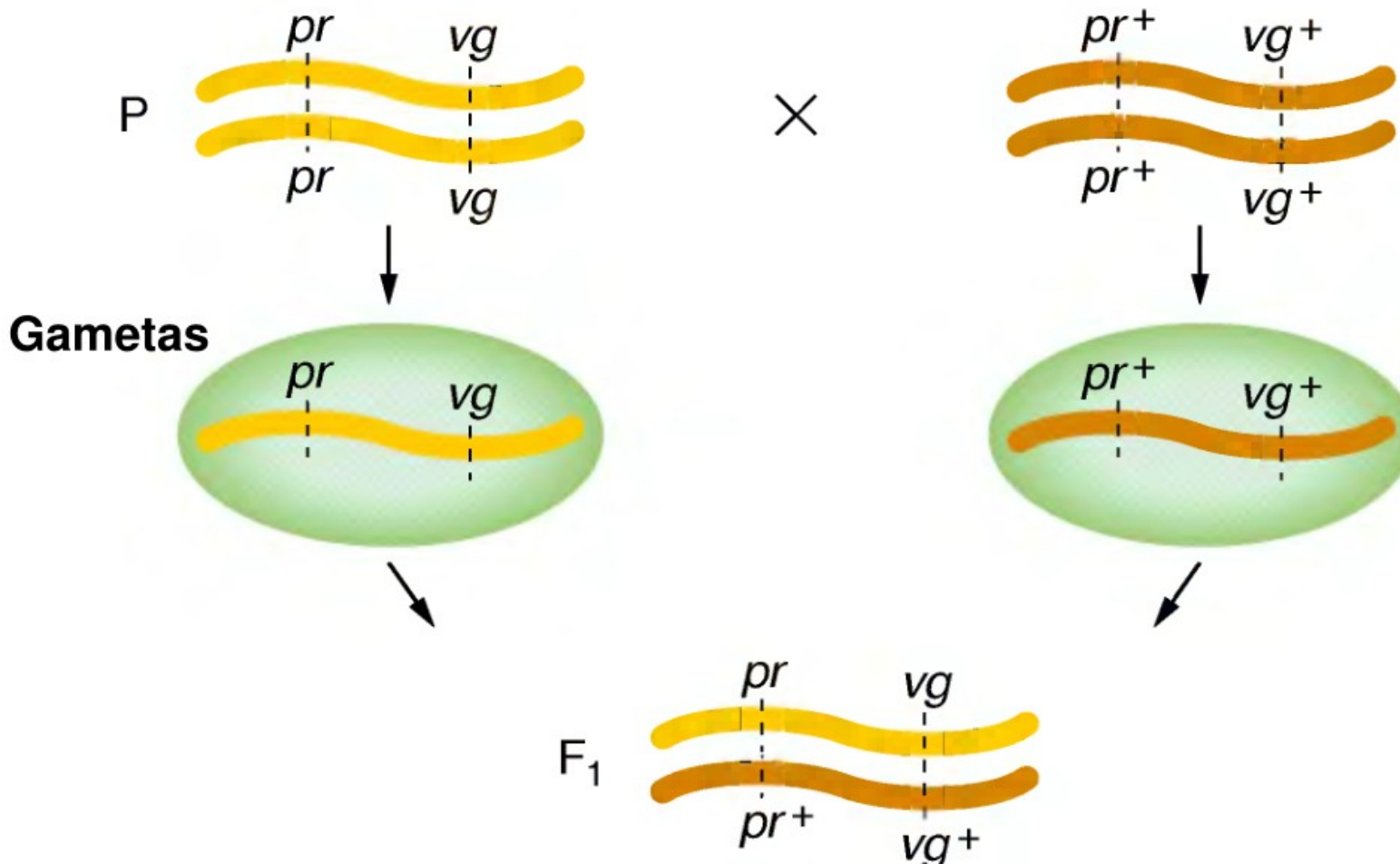


F<sub>2</sub>:

| Fenótipo (Genótipo)      | Progênie     |                    |
|--------------------------|--------------|--------------------|
|                          | Nº Observado | Esperado (9:3:3:1) |
| Púrpura, Longo (P_L_)    | 4831         | 3911               |
| Púrpura, redondo (P_ll)  | 390          | 1303               |
| Vermelha, Longo (ppL_)   | 393          | 1303               |
| Vermelha, Redondo (ppll) | 1338         | 435                |
| <b>Total</b>             | <b>6952</b>  | <b>6952</b>        |

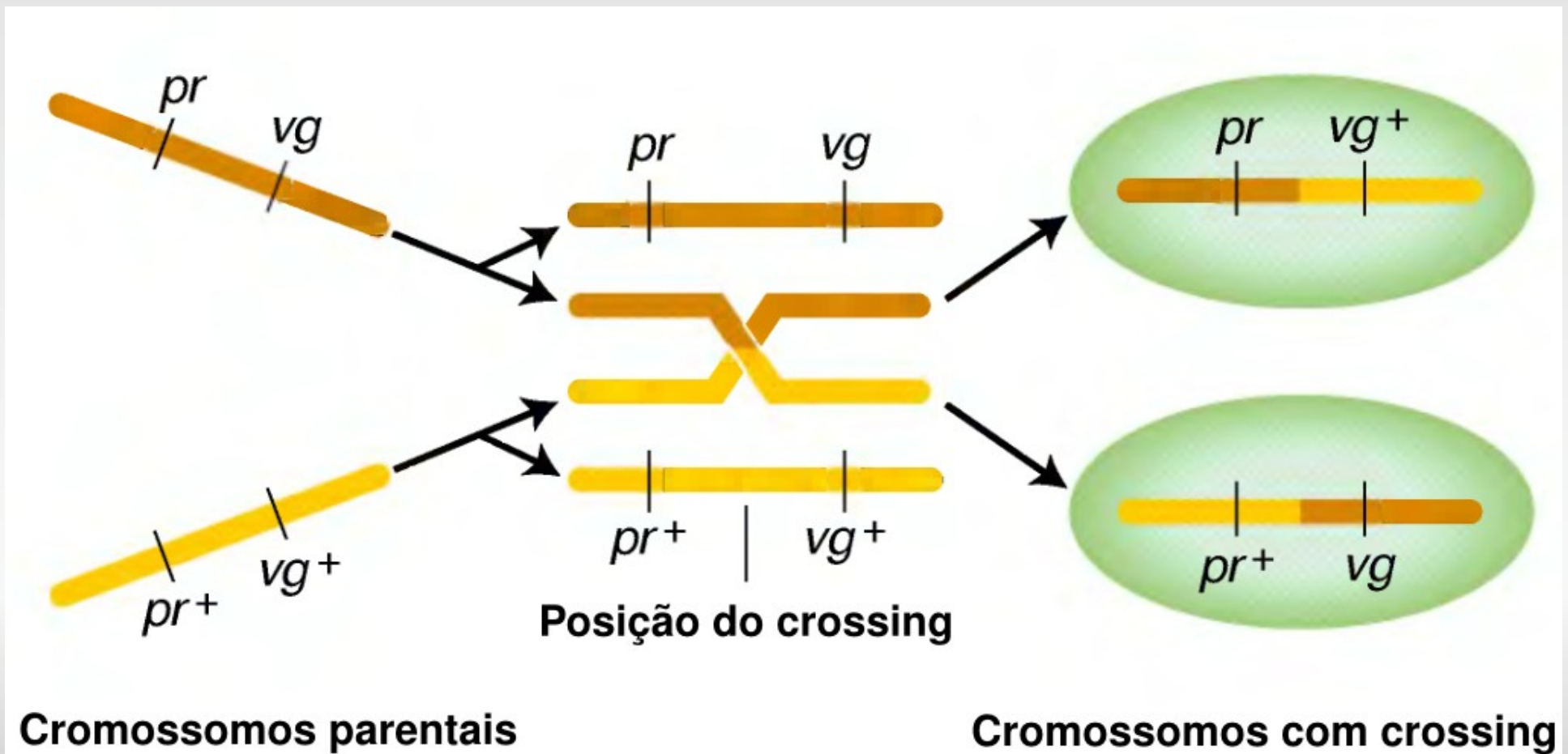
# Experimentos de Morgan (*Drosophila*)

- Genes Autossômicos em *Drosophila*:
  - Gene para cor dos olhos ( $pr$ = púrpura e  $pr^+$ =vermelho)
  - Gene para tamanho da asa ( $vg$ = vestigial e  $vg^+$ =normal)



# Experimentos de Morgan (*Drosophila*)

- F2: desvios das segregações esperadas para dois genes independentes (9:3:3:1)
- Morgan sugeriu que, quando os cromossomos homólogos se pareiam na meiose, os cromossomos ocasionalmente trocam partes em um processo chamado **crossing-over**



# Crossing-over

- **Quiasmas:** manifestações visíveis dos crossings

**Quiasma**



**Quiasma**

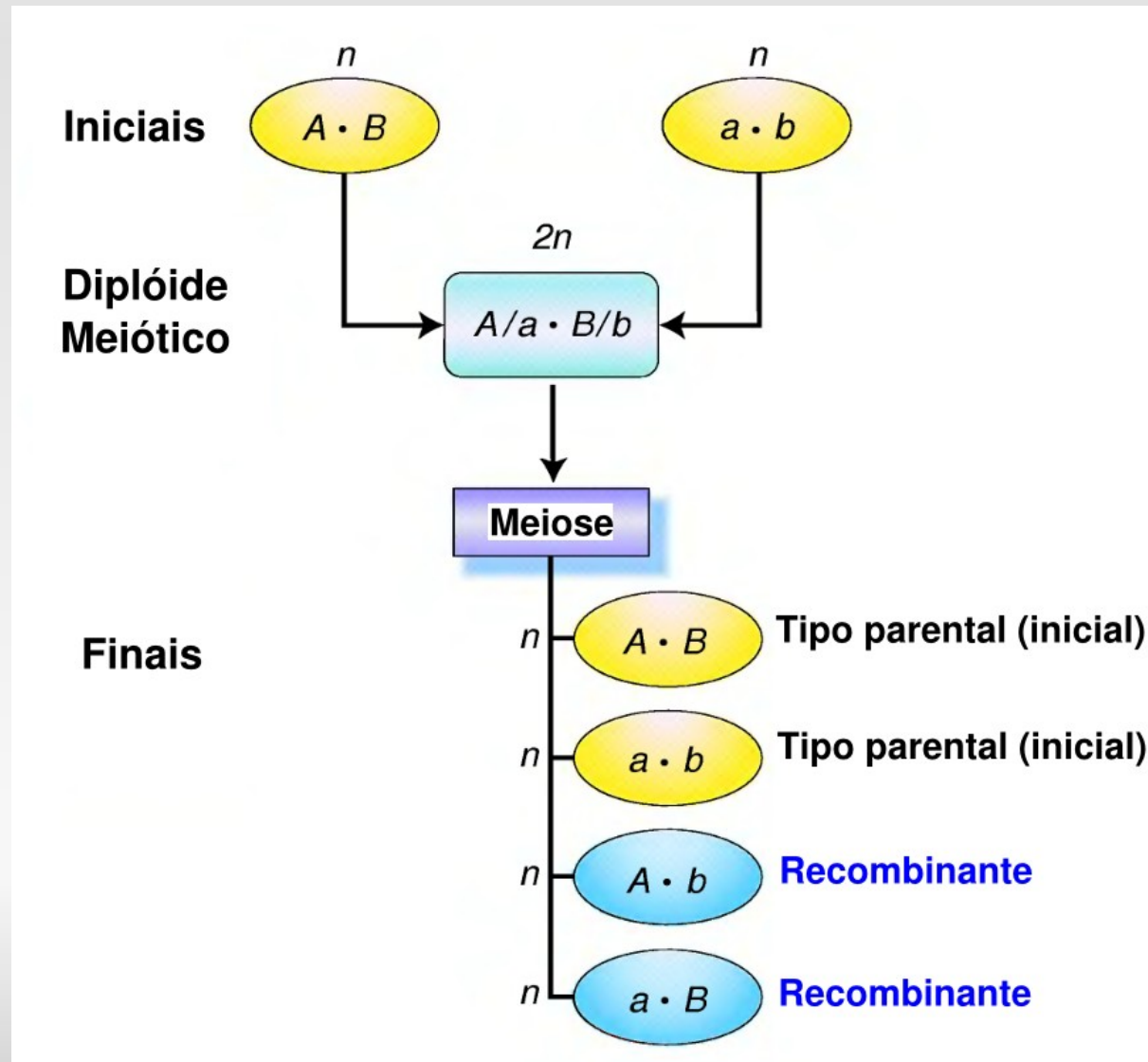


**Cromossomos homólogos duplicados**



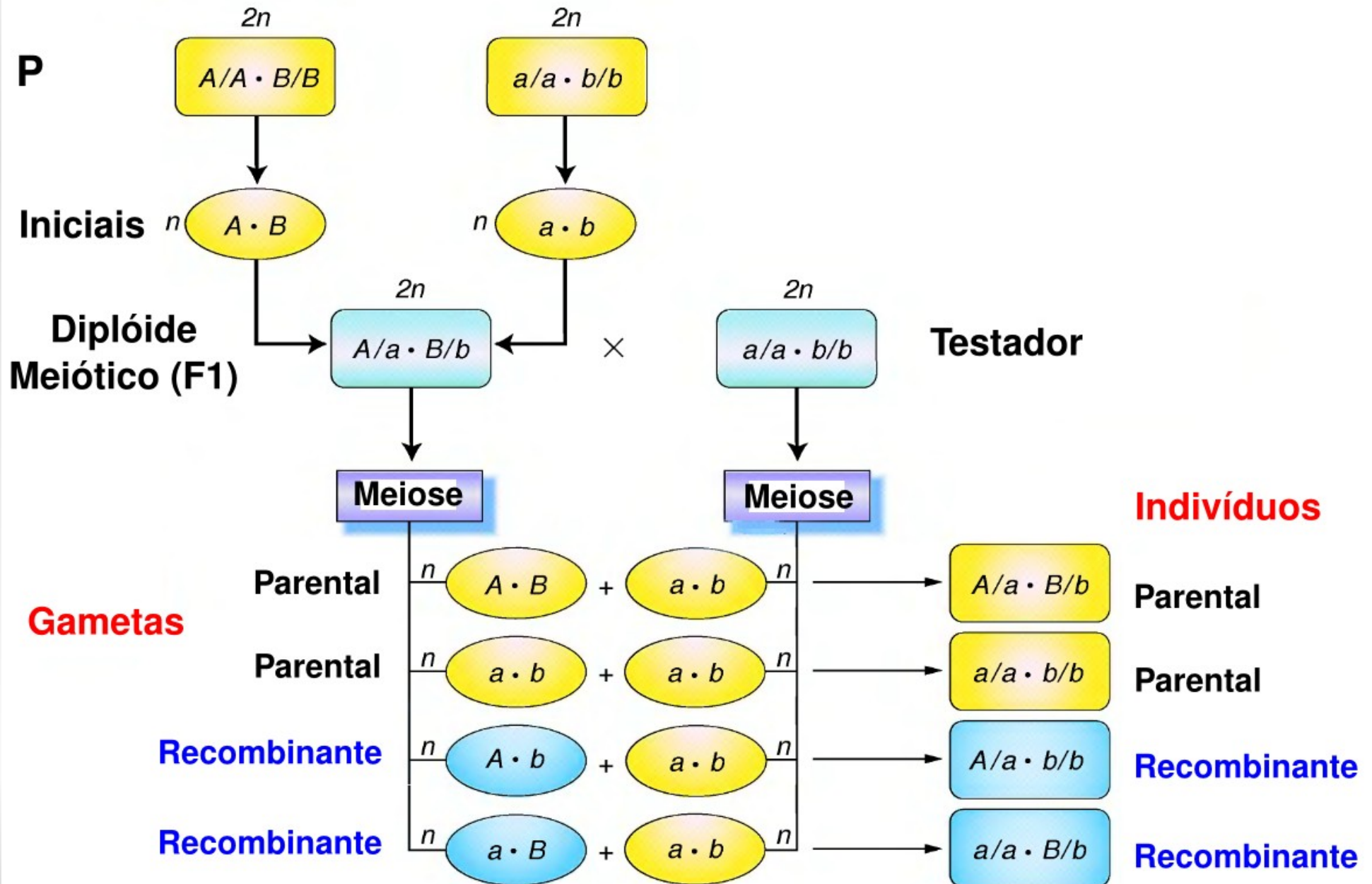
# Recombinação

■ **Recombinação meiótica:** qualquer processo que gere um produto haplóide (gameta) com um genótipo que o diferencie de ambos os genótipos haplóides que constituem a célula meiótica diplóide



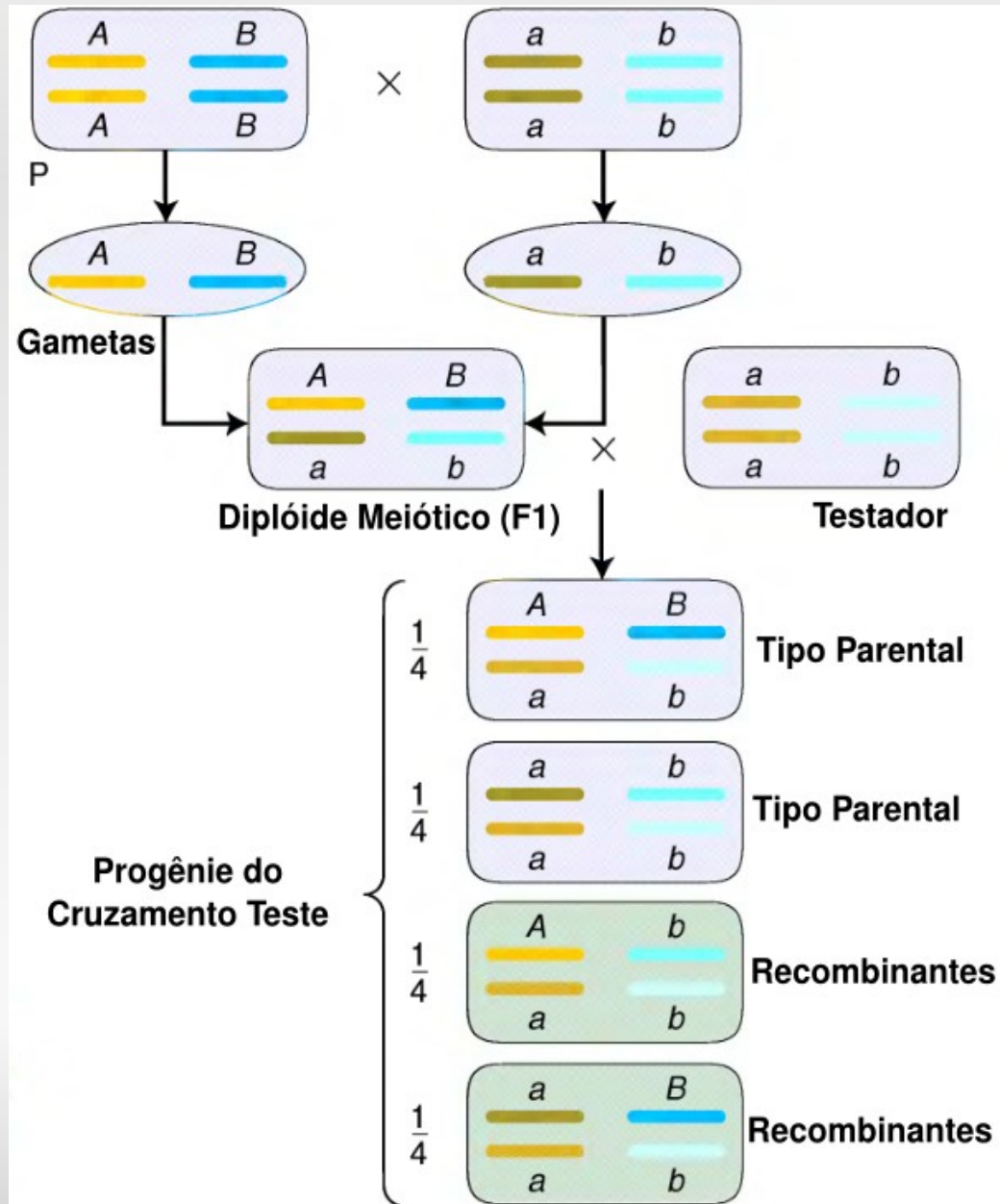


# Recombinação



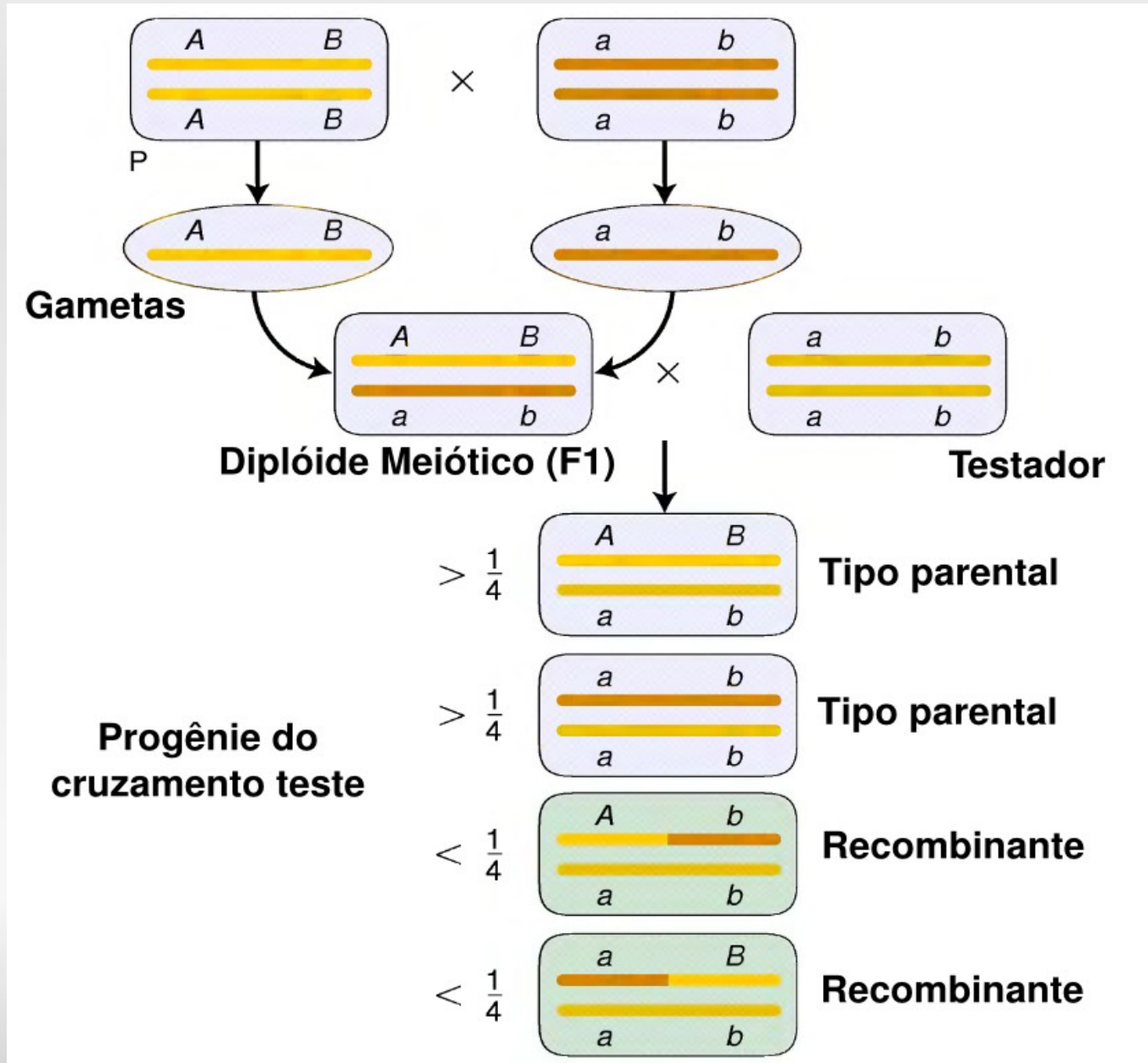
# Recombinação

Recombinação por segregação independente:



# Recombinação

## Recombinação por crossing-over:



# Recombinação

|  | Cromossomos meióticos              | Produtos meióticos                 |  |
|--|------------------------------------|------------------------------------|--|
| Meioses sem crossing entre os genes    | <p>A B<br/>A B<br/>a b<br/>a b</p> | <p>A B<br/>A B<br/>a b<br/>a b</p> | Parental<br>Parental<br>Parental<br>Parental                     |
| Meioses com um crossing entre os genes | <p>A B<br/>A B<br/>a b<br/>a b</p> | <p>A B<br/>A b<br/>a B<br/>a b</p> | Parental<br><b>Recombinate</b><br><b>Recombinate</b><br>Parental |

# Recombinação

- Frequência de recombinação significativamente menor que 50% mostra que os genes estão ligados
- Frequência de recombinantes igual a 50% significa que os genes estão em cromossomos separados (não ligados)
- Simbolismo para ligação:  $\frac{pr \quad vg}{pr^+ \quad vg^+}$   
 $\frac{pr \quad vg}{pr \quad vg} / \frac{pr^+ \quad vg^+}{pr^+ \quad vg^+}$   
 $\frac{pr \quad vg}{pr \quad vg} / ++$
- AB/ab → alelos dominantes ligados em associação (acoplamento)
- Ab/aB → alelos dominantes ligados em repulsão

# Mapa de Ligação

- Morgan percebeu que a proporção de indivíduos recombinantes nas progênes variava consideravelmente, dependendo dos genes ligados que estavam sendo estudados
- Então, imaginou que essas variações pudessem de algum modo indicar as distâncias reais entre os genes nos cromossomos
- Sturtevant (aluno de Morgan) descreveu um método para descrever as relações de ligação entre genes:
  - “Em fins de 1911, em conversa com Morgan, subitamente percebi que as variações na intensidade de ligação, já atribuídas por Morgan as diferenças na separação espacial dos genes, ofereceram a possibilidade de se determinar as seqüências na dimensão linear de um cromossomo...”



# Mapa de Ligação

- Exemplo (Cruzamento teste em *Drosophila*):

pr vg/ pr vg            165

pr<sup>+</sup> vg<sup>+</sup>/ pr vg        191



Parentais

pr vg<sup>+</sup>/ pr vg            23

pr<sup>+</sup> vg/ pr vg            21



Recombinantes

            
Total = 400

- 44 recombinantes (11%)
- Poncentagem de recombinantes pode ser utilizada como um indicador quantitativo da distância linear entre dois genes em um **mapa genético** (ou **mapa de ligação**)



# Mapa de Ligação

- Sturtevant postulou uma certa proporcionalidade: quanto maior a distância entre os genes ligados, maior a chance de que as cromátides não irmãs façam crossing na região entre os genes, e, assim, maior a proporção de recombinantes que seriam produzidos
- 1 unidade de mapeamento (u.m.): distância entre os genes para os quais 1 em 100 dos produtos meióticos é recombinante
- Frquência de recombinação de 0,01 é definida como 1 u.m.
- 1 unidade de mapeamento é chamada de 1 cM (centimorgan): função de mapeamento de Morgan

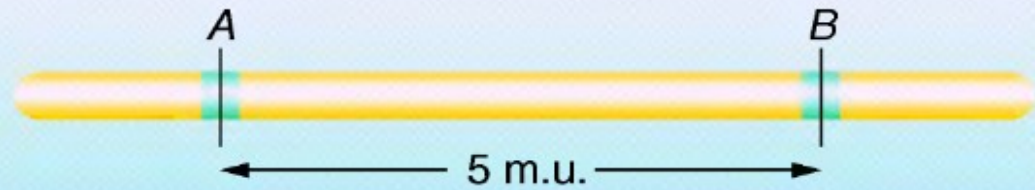
# Ligação

- “3ª lei de Mendel”: Ligação
  - Ocorre para genes situados em cromossomos diferentes, ou no mesmo cromossomo mas a uma distância maior que 50 cM
- Dois genes situados no mesmo cromossomo, a uma distância menor que 50cM, não segregam de forma independente (**GENES LIGADOS**)
- **Ligação**: dois genes situados no mesmo cromossomo a uma distância menor que 50 cM são ditos ligados

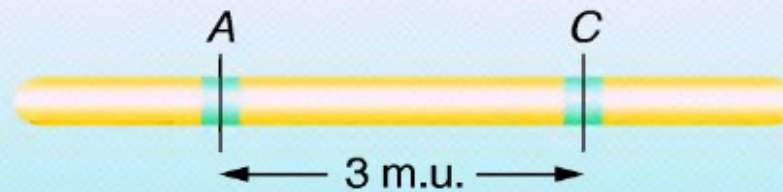
# Mapa de Ligação

- **Locus** (plural *loci*): local no mapa (cromossomo) onde o gene se situa

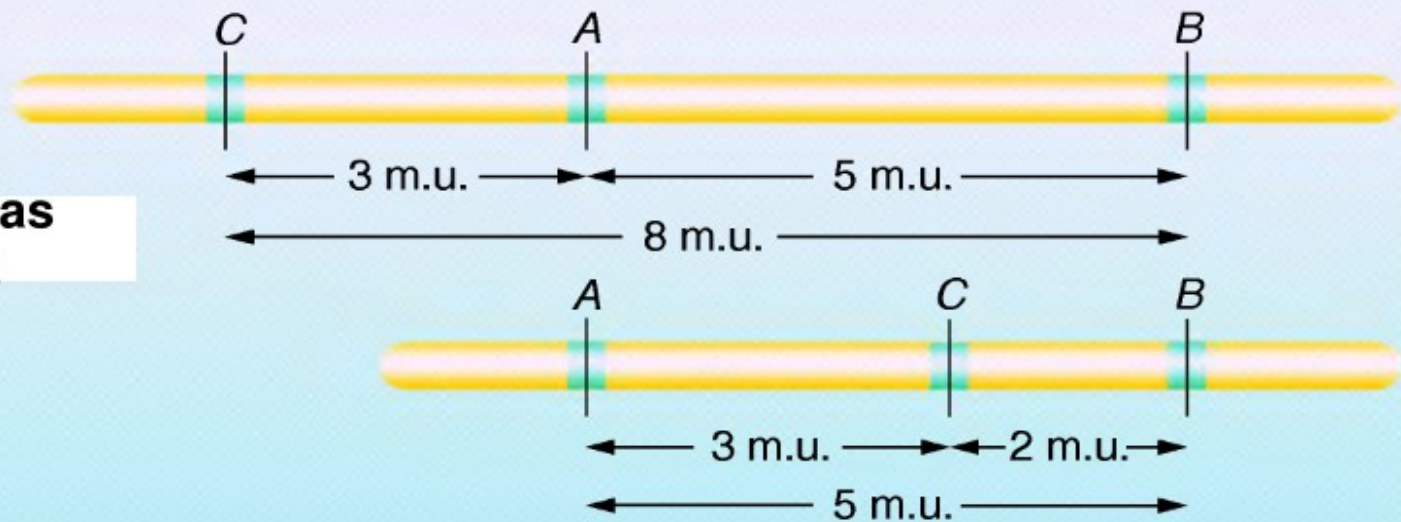
Mapa baseado na recombinação  
entre A-B



Mapa baseado na recombinação  
entre A-C



Possíveis mapas  
combinados



# Mapa de Ligação

- Mapa genético: tomate

