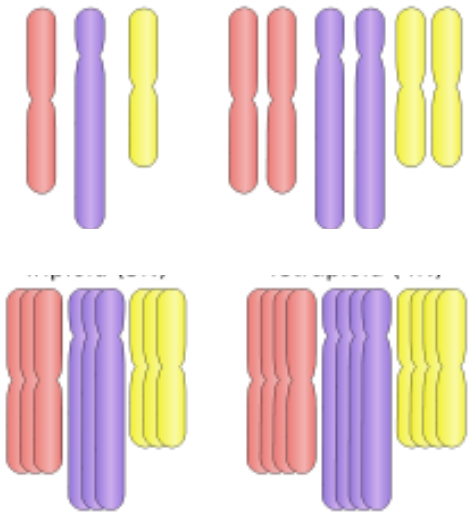
ORIGEM E IMPORTÂNCIA DOS POLIPLÓIDES

Aula teórica 12



LGN0114 – Biologia Celular

Maria Carolina Quecine
Departamento de Genética
mquecine@usp.br

POLIPLOIDIA...

Ocorrência da poliploidia:

✓ Importante na evolução de plantas superiores (a maioria das plantas cultivadas são poliplóides);

✓ Mais comum em angiospermas, pouco encontrada nas gimnospermas;

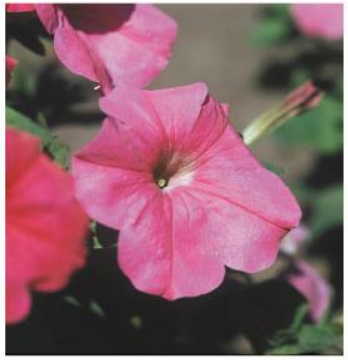
✓ Características importantes para a agricultura.

Poliploidia: refere-se a todas as variações naturais ou induzidas ao número de cromossomos.

As variações podem ocorrer no número de genomas (conjunto de todos os cromossomos). Aneuploidias são variações no número de cromossomos individuais.



(a) A hexploid species



Diploid



Tetraploid

(b) A comparison of diploid and tetra

ABERRAÇÕES CROMOSSÔMICAS NUMÉRICAS

ANEUPLOIDIA - alteração do número de alguns cromossomos (desvios do número básico)

EUPLOIDIA - múltiplos do número básico de cromossomos

Terminologia

Alteração do número básico de cromossomos

x=número básico de cromossomos de um gênero

n=número gamético

2n=número somático

ANEUPLOIDIA

Terminologia

2n+1 adição de um cromossomo ao complemento somático

2n-1 subtração de um cromossomo ao complemento somático

x+1 ou x-1 são fórmulas aplicáveis aos indivíduos e seus respectivos número básicos

Exemplo: Milho – **2n=2x=20**

com o ganho de um cromossomo: **2n=2x+1=21**

com a perda de um cromossomo: **2n=2x-1=19**

Hipoploidia ou Hiperploidia

Plantas – mais tolerado provavelmente pela origem poliplóide

Animais – menos tolerado – problemas de balanço gênico

Tipos de Aneuplóides

Dissômico – é o estado em que a maioria das espécies se encontram, onde há dose dupla de cada tipo cromossômico por célula somática

Trissômicos – vários tipos em plantas (2n+1)

Tetrassômicos – 4 doses de um determinado cromossomo (2n+2)

Monossômico – perda de um cromossomo do complemento (2n-1)

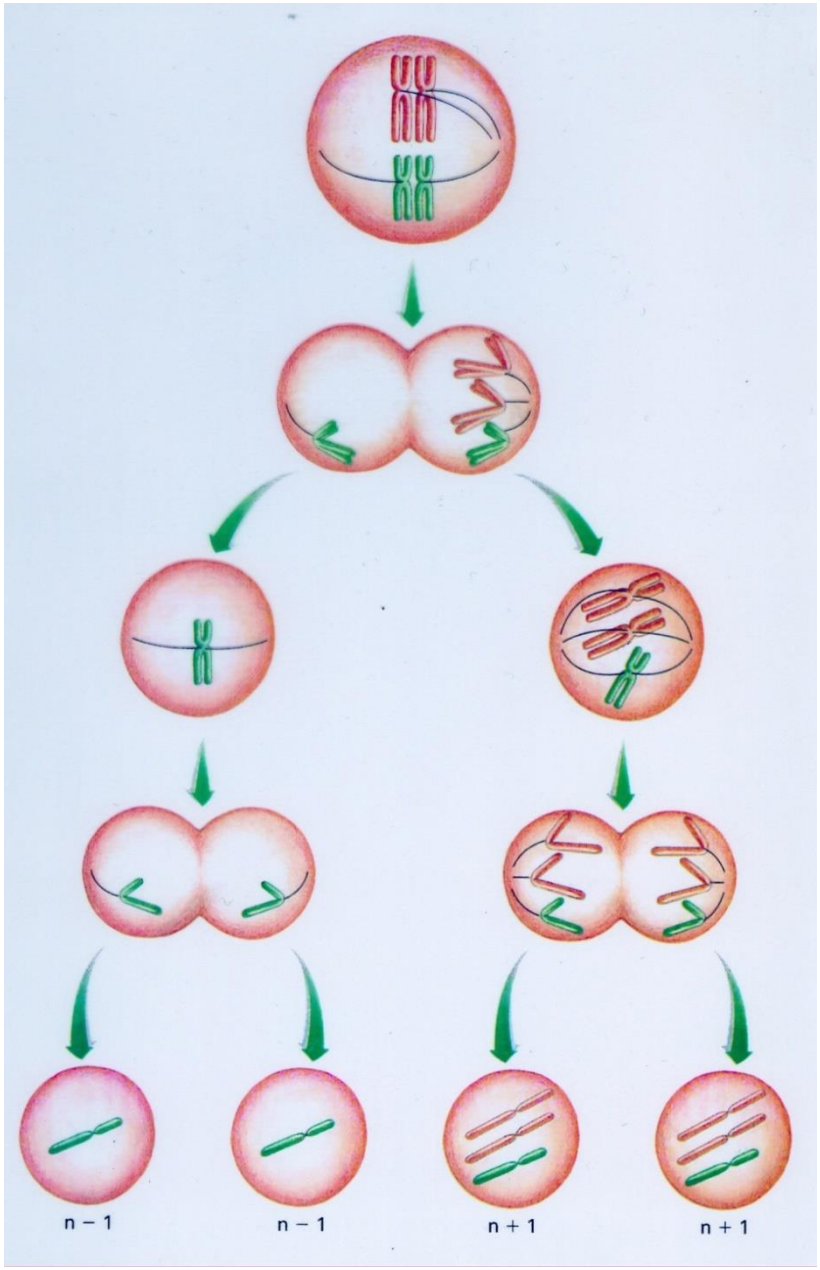
Nulissômico – perda de um par de cromossomos do complemento (2n-2)

Origem da aneuploidia

Distúrbios Mitóticos

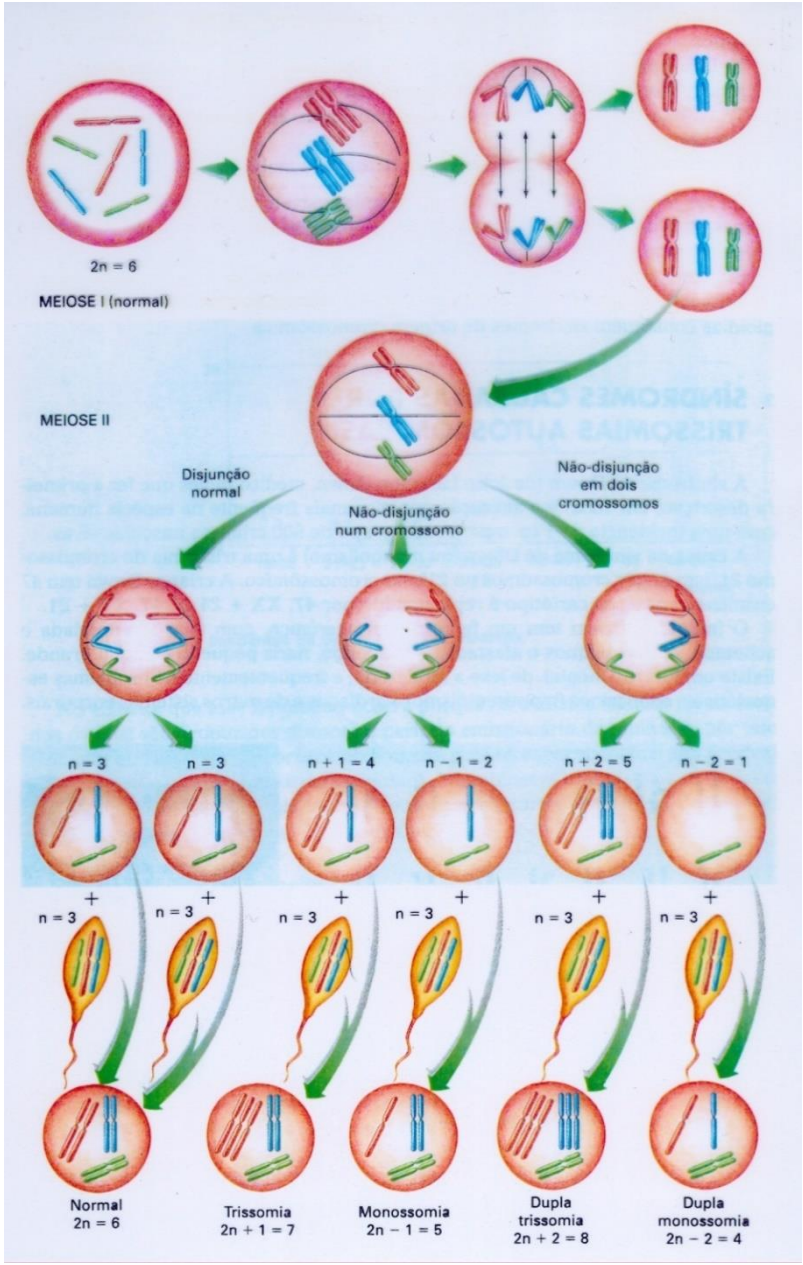
Distúrbios Meióticos

Não-disjunção



n= x -1 n= x-1 n= x + 1 n= x + 1

Tipos de Aneuploidia e sua origem

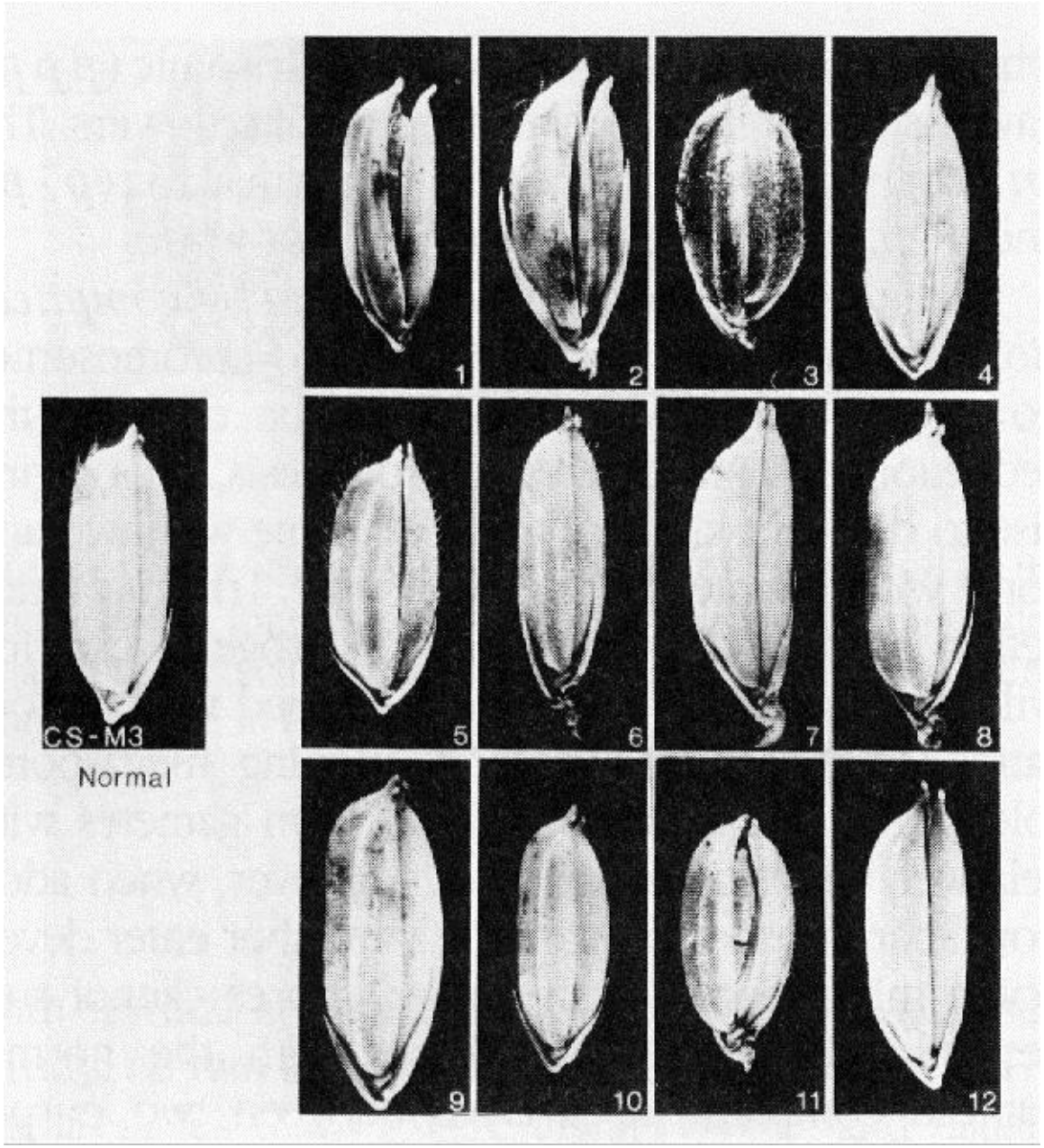


2n= 2x 2n= 2x+1 2n= 2x-1 2n= 2x+1+1 2n= 2x-1-1

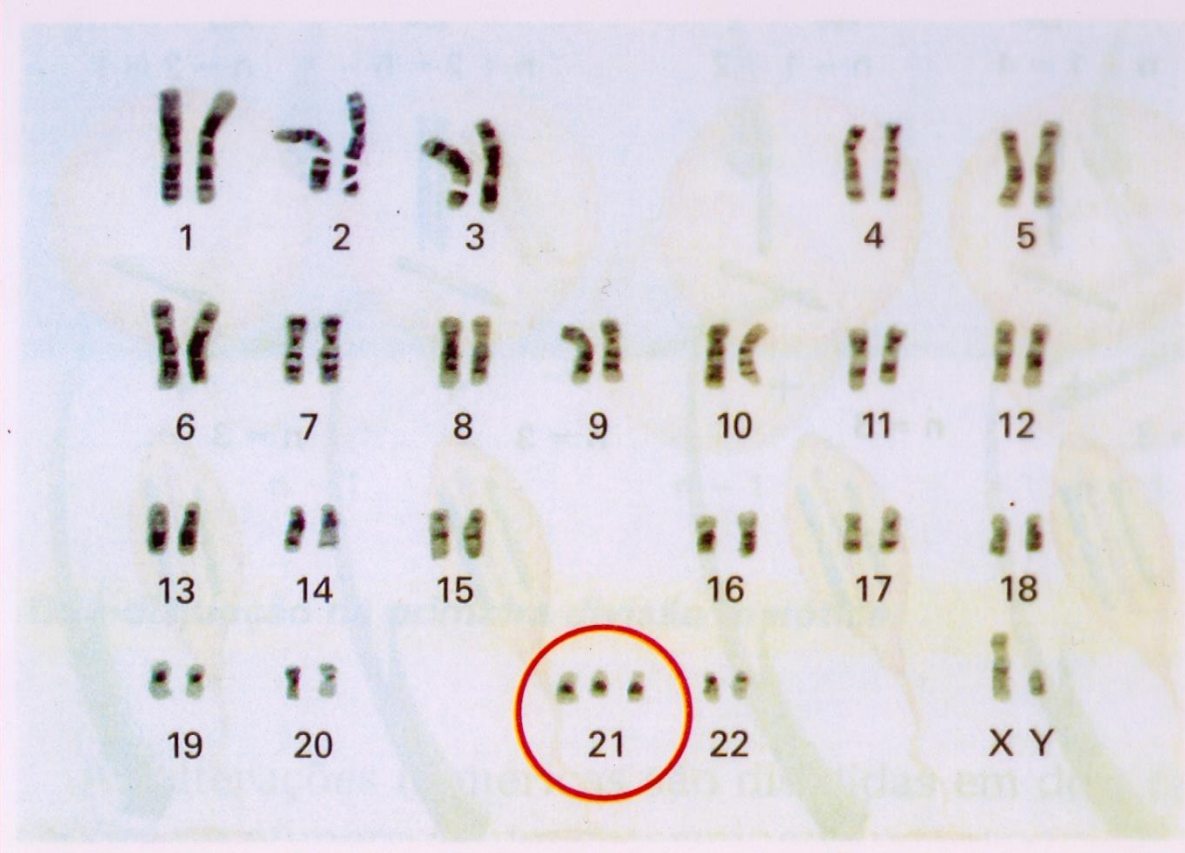
Trissomia – 2n+1

Oryza sativa – 2n=2x=24
variedade CS-M3

12 trissômicos primários – o número corresponde a cada um dos cromossomos do arroz, ordenados do maior para o menor. Nota-se claramente o efeito de cada cromossomo no fenótipo da semente



Trissomia – (2n+1)



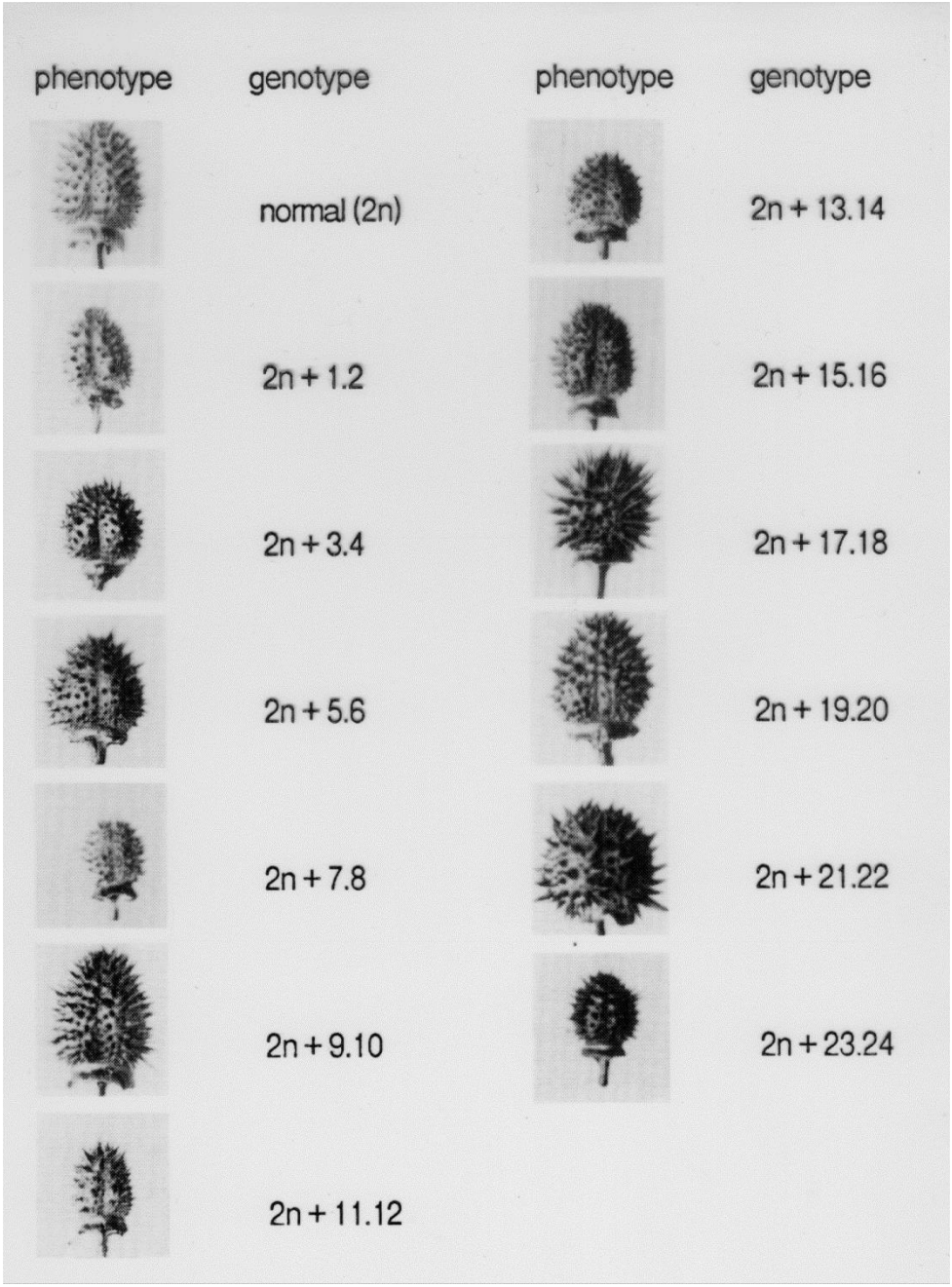


Síndrome de Down

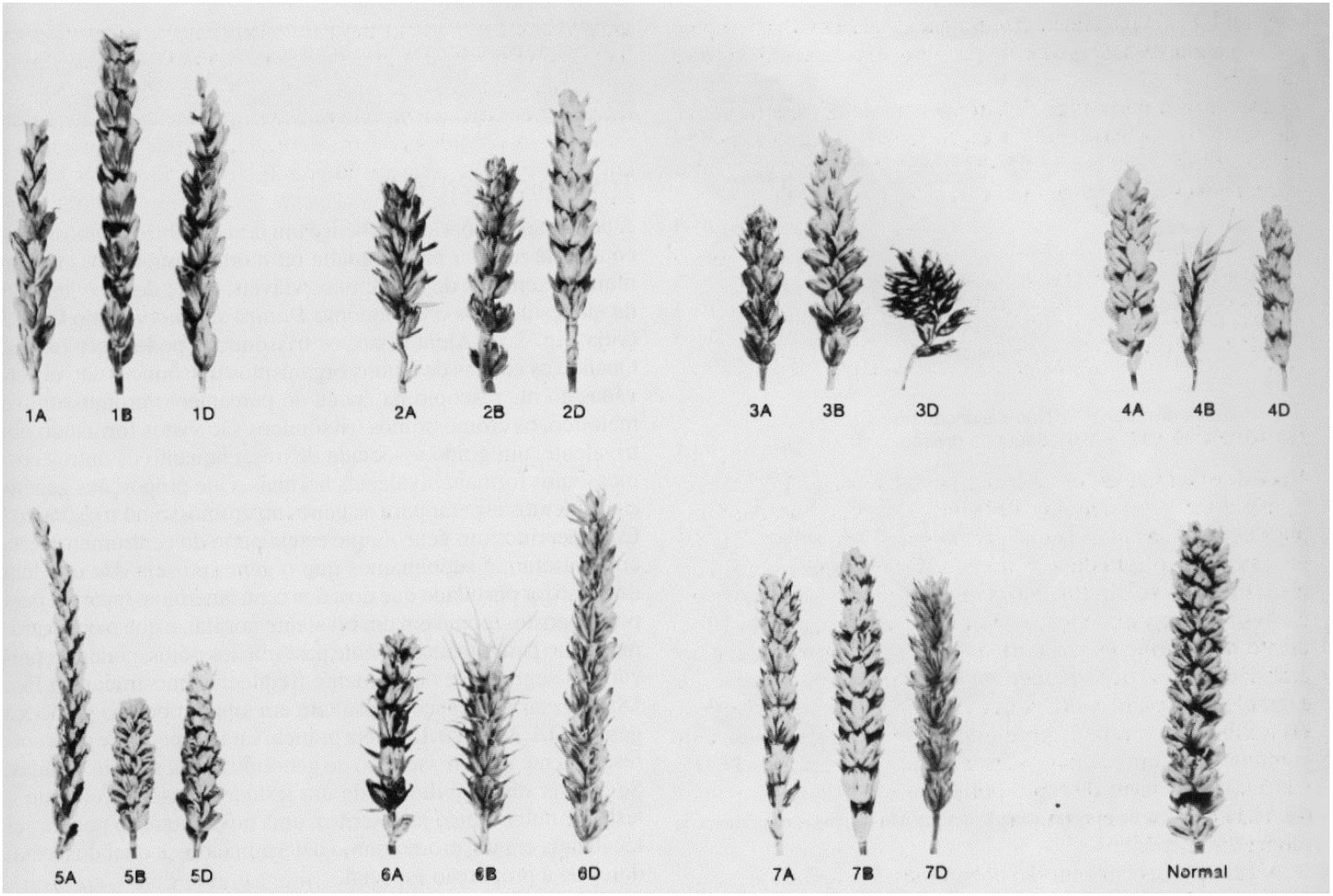
Tetrassômicos– 2n+1 +1

***Datura stramonium* – 2n=2x=48**

24 trissômicos primários
Efeitos fenotípicos na cápsula da semente



Nulissômia – (2n-2)



Trigo – 2n=6x=42 (AABBDD) – aspecto fenotípico de espigas nulissômicas para cada par de cromossomo de cada um dos genomas que formam o trigo

EUPLOIDIA

Alteração do número básico de cromossomos

Autopoliplóides: número múltiplo de genomas semelhantes

Alopoliplóides: dois ou mais genomas de espécies distintas estão presentes

Triticum aestivum: 2n=42 (6x) AABBDD
x=7

x - monoplóide	5x - pentaplóide
2x - diplóide	6x - hexaplóide
3x - triplóide	7x - heptaplóide
4x - tetraplóide	8x - octaplóide

POLIPLOIDIA E ESPECIAÇÃO

POLIPLÓIDES - Espécies com número múltiplo de cromossomos em relação a outras espécies do mesmo gênero

Importância

Evolução de várias espécies de plantas

Batata (*Solanum tuberosum*)
Trigo (*Triticum aestivum*)
Fumo (*Nicotiana tabacum*)
Cana-de-Açúcar

Estudo da especiação

Como se originam?
Como se propagaram?
Como se adaptaram?

Melhoramento

Utilização de espécies poliplóides
Obtenção de poliplóides artificiais

EFEITO DA POLIPLOIDIA

Aumento do tamanho das células
Aumento do tamanho dos orgãos (folhas, flores, fruto, semente)

IMPORTÂNCIA DA INDUÇÃO DE POLIPLOIDIA PARA A AGRICULTURA:

Floricultura
Fruticultura

Problemas: poliplóides têm baixa fertilidade

"Baixa fertilidade é conseqüência do comportamento meiótico"

EFEITOS FENOTÍPICOS DOS POLIPLÓIDES

- Formação de órgãos vegetativos gigantes,

Ex: cravo-de-defunto, boca-de-leão, dentre outros





- Formação de frutos sem sementes,

Ex: bananas, melancia, e outros





POLIPLÓIDES PODEM SER RESULTADO DE DISTÚRBIOS NO CICLO CELULAR

Distúrbios Mitóticos

Endomitose ⟶ endopoliploidização

Ocorrência natural
Indução artificial com tratamento com colchicina

Distúrbios Meióticos

Formação de gametas não-reduzidos (2n)
Ocorre na natureza - estudos em batata (*Solanum tuberosum*)

FORMAÇÃO DE GAMETAS NÃO-REDUZIDOS

- Duplicação dos cromossomos em células pré-meiótica
- Restituição na 1ª Divisão Meiótica (FDR)
- Restituição na 2ª Divisão Meiótica (SDR)
- Duplicação após a meiose
- Desenvolvimento de uma célula somática no óvulo - gameta 2n

AUTOPOLIPLÓIDES

- Indivíduos com vários genomas idênticos

- Simboliza-se cada genoma com uma letra
  Diplóide - AA (Ex: *Triticum monococcum* 2n=14)
  Autotriplóide - 3n = AAA
  Autotetraplóide - 4n = AAAA

- A corresponde ao número básico de cromossomos

AUTOTETRAPLÓIDES

Origem: Duplicação dos cromossomos somáticos

Espontânea ou Induzida

Endomitose - endodiploidização

Duplicação dos cromossomos, separação das cromátides e inclusão das mesmas em um núcleo de restituição

Endorreduplicação

Após um ciclo de replicação de DNA, os cromossomos não se condensam e um novo ciclo de replicação acontece.

Conseqüências: formação de cromossomos politênicos ou duplocromossomos

Células do mesófilo com um ciclo de endorreduplicação

TETRAPLÓIDES

Menor grau de esterilidade que triplóides

Poe ter comportamento meiótico

Paquíteno: tetravalentes ou bivalentes
Diacinese e Metáfase I: anéis ou cadeias

Formação de gametas 2n

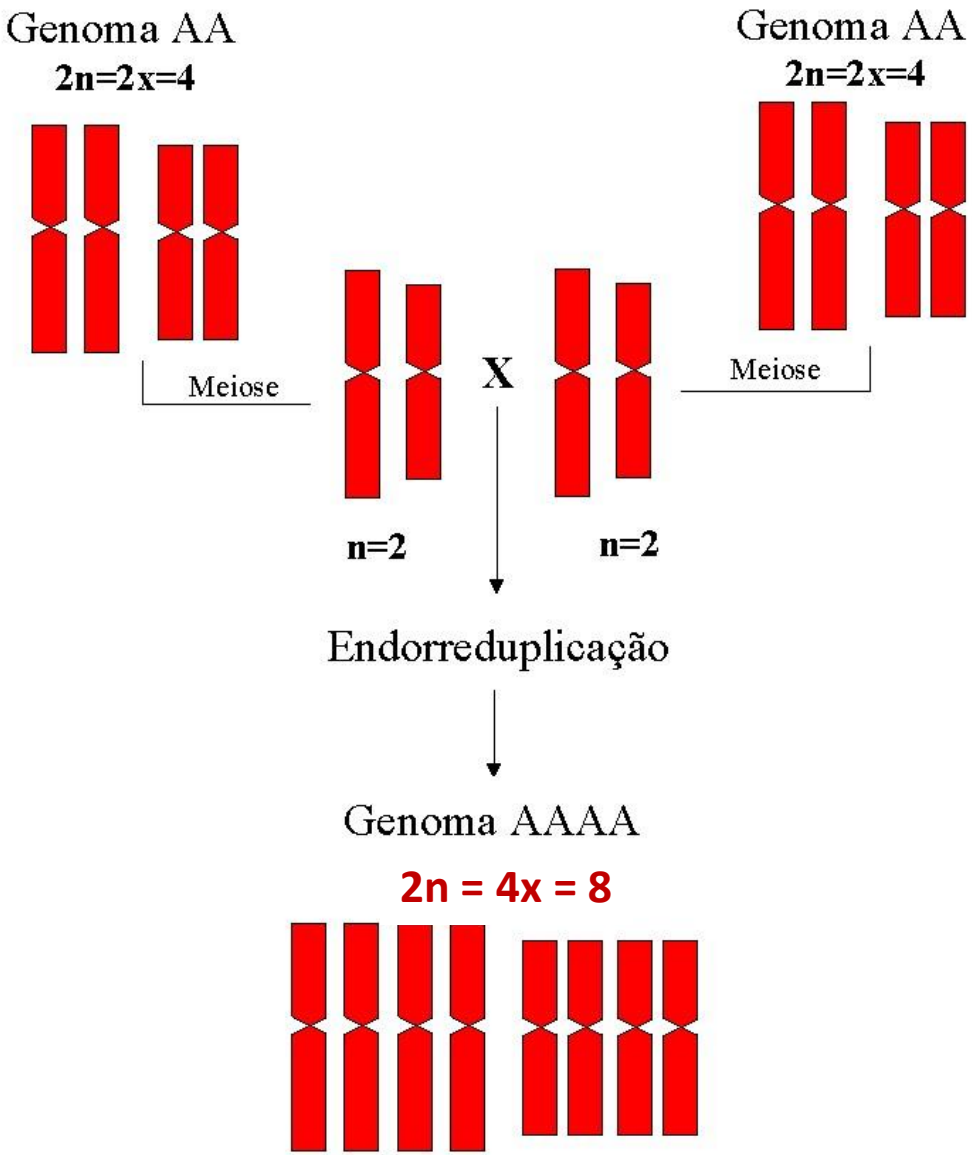


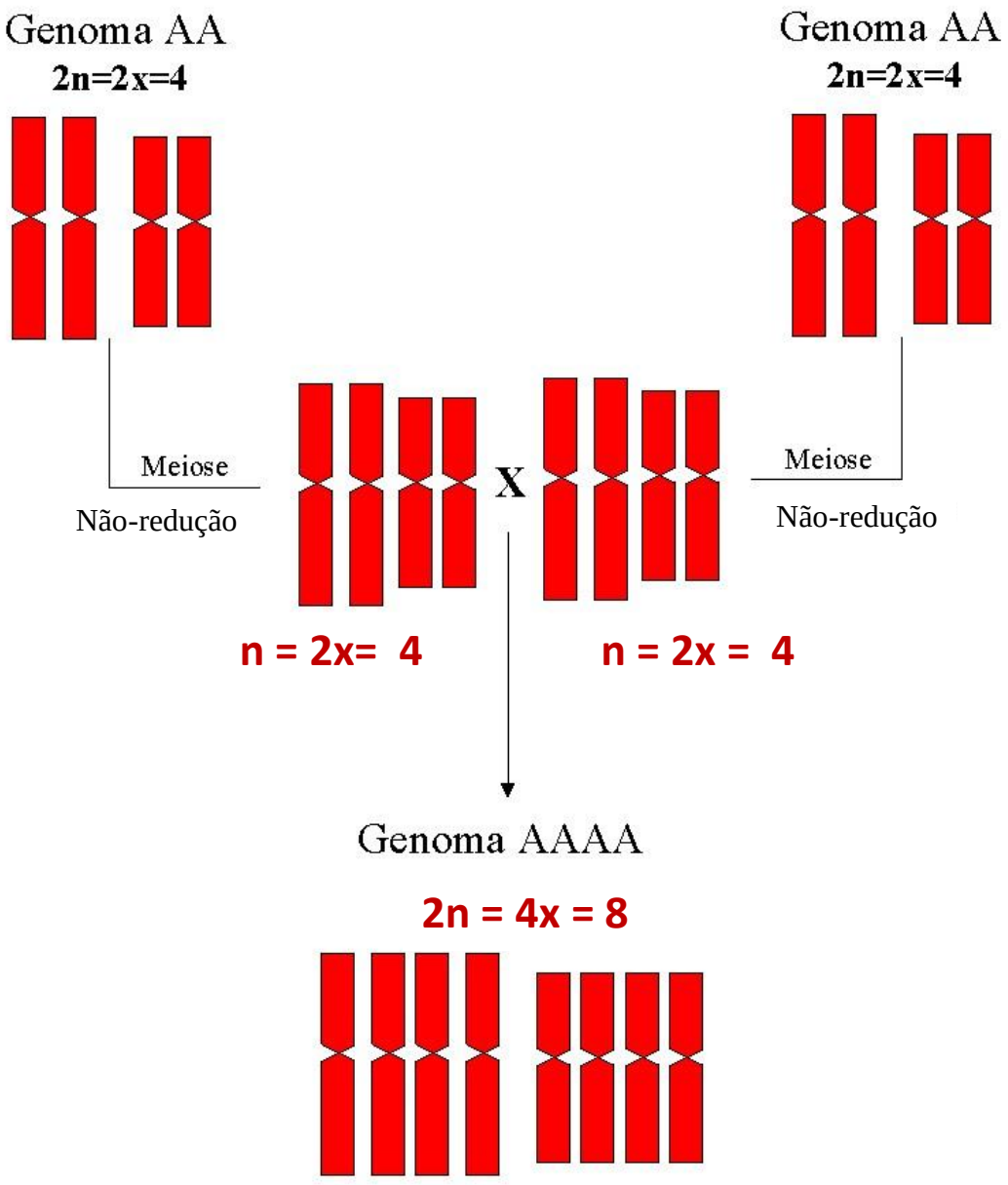
Flor do cultivar diploide (2n) *Cymbidium* Fanfare 'Sierra Spring', AM/AOS (1965)



Flor do cultivar tetraploide (4n) *Cymbidium* Fanfare 'St. Francis', AM/AOS

A indução de poliploidia é uma importante estratégia para o melhoramento genético destas plantas. Orquídeas poliplóides apresentam flores maiores, arredondadas (com pétalas e sépalas maiores), em maior número na inflorescência (cacho) e mais durabilidade (comparativo entre cultivares de *Cymbidium)*.


Genoma AA
2n=2x=4
Meiose
n=2
X
Genoma AA
2n=2x=4
Meiose
n=2
Endorreduplicação
Genoma AAAA
2n = 4x = 8


Genoma AA
2n=2x=4
Genoma AA
2n=2x=4
Meiose
Não-redução
X
Meiose
Não-redução
n = 2x= 4
n = 2x = 4
Genoma AAAA
2n = 4x = 8

Theor Appl Genet (2003) 107:1195–1200
DOI 10.1007/s00122-003-1374-1

M. J. Kermani · V. Sarasan · A. V. Roberts ·
K. Yokoya · J. Wentworth · V. K. Sieber

Oryzalin-induced chromosome doubling in *Rosa* and its effect on plant morphology and pollen viability

Rosa

Número básico de cromossomos:
X=7

Variabilidade natural do número de cromossomos:
De 2n=2x=14 a 2n=8x=56

→ ***Resistência à doenças fúngicas***

Entretanto os cultivares para jardins ou de flores para corte são:
2n=4x=28

Rotinas para obtenção de resistência:

Cruzamento das espécies diplóides (resistentes) com as tetraplóides cultivadas (susceptíveis).

Problemática:

Híbridos triplóides são estéreis

Objetivo:

Desenvolvimento de um protocolo para duplicação do número de cromossomos a partir de gemas cultivadas *in vitro*;

Melhoramento da fertilidade e morfologia dos poliplóides obtidos.

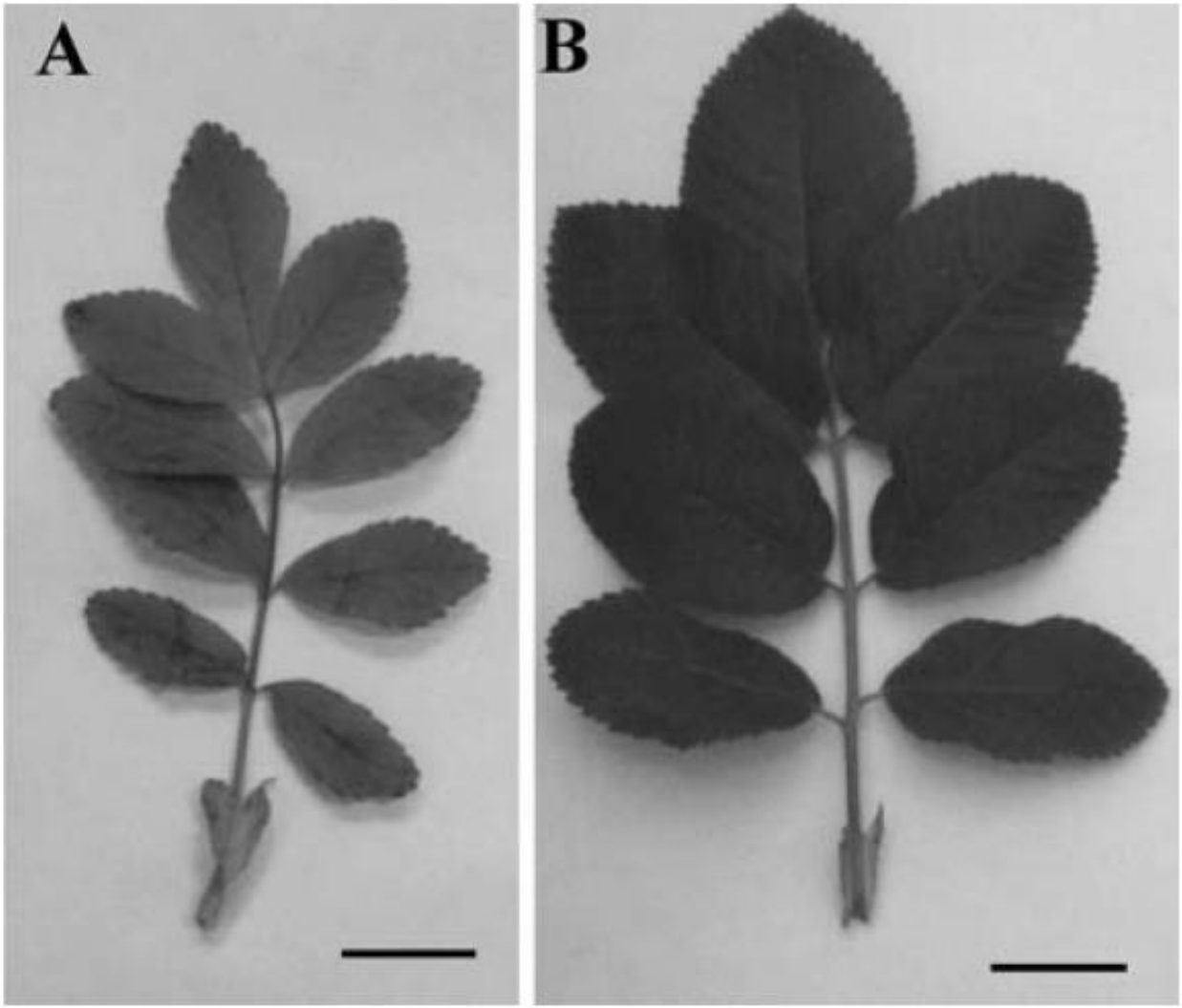


Fig. 5 Leaves of diploid **A** and tetraploid **B** forms of Thérèse Bugnet. *Bars*=40 mm. Note the greater breadth to length ratio and the darker colour of leaflets in the tetraploid form

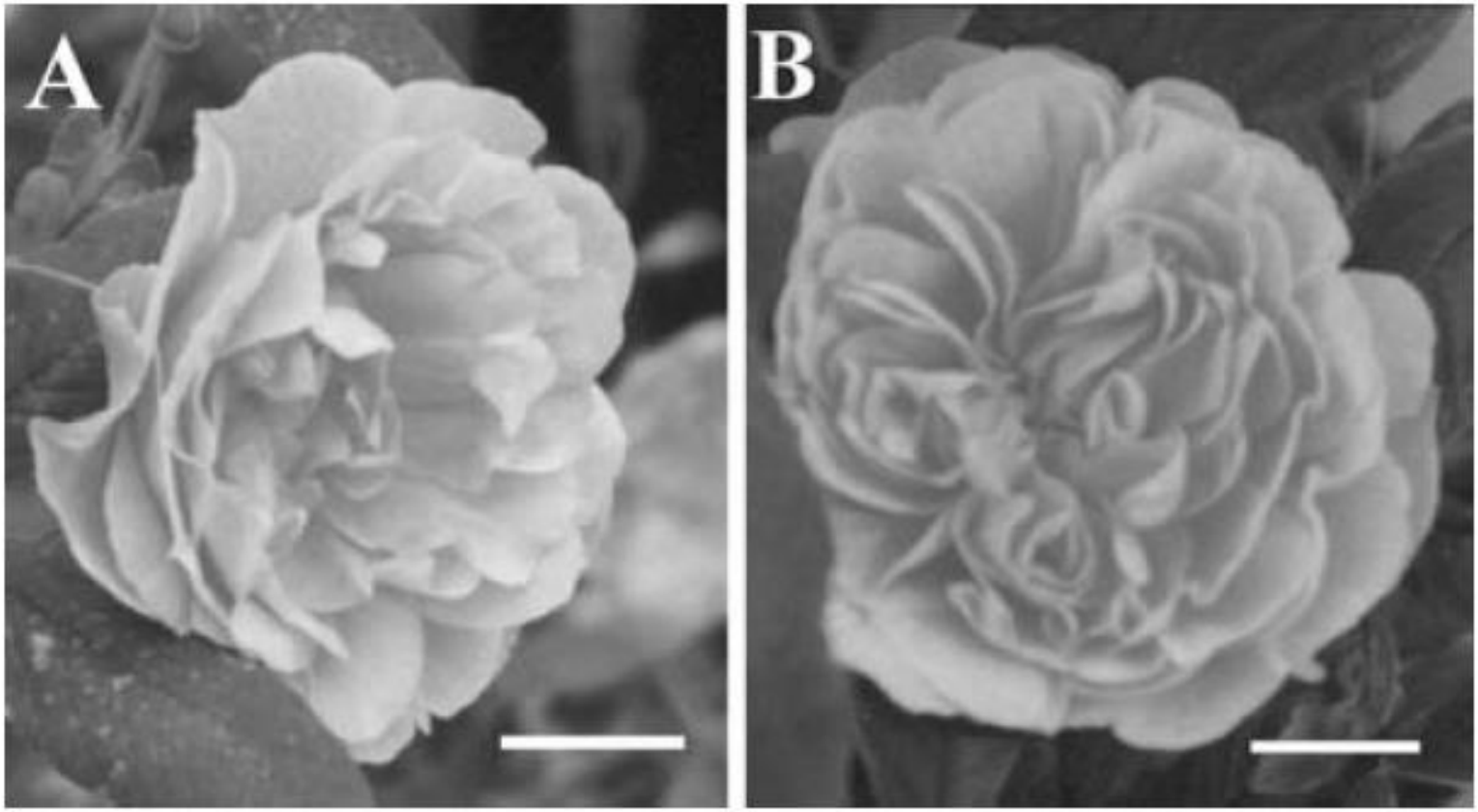


Fig. 6 Flowers of diploid **A** and tetraploid **B** forms of Thérèse Bugnet. *Bars*=20 mm. Note the greater number of petals in the tetraploid form

TRIPLÓIDES

Altamente estéreis - cromossomos podem formar na meiose:
trivalentes, bivalentes + univalentes

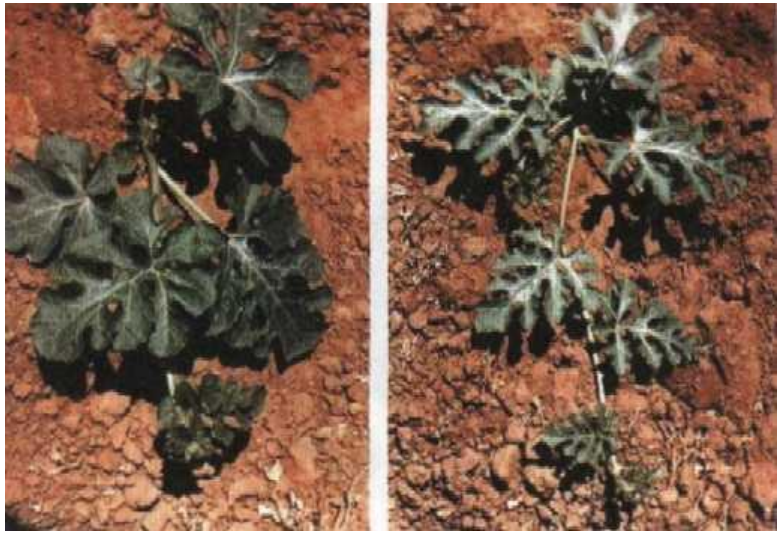
Gametas não balanceados: n+1, n+2 ... etc

Exemplo: Planta 3n=33

n=11
2n=22 → Gametas balanceados geneticamente

n+1=12
n+2=13
etc → Gametas não balanceados

Produzindo melancia sem sementes



Linhagem autotetraplóide
2n=4x=44

Linhagem diplóide
2n=2x=22

Triplóide 2n=3x=33



ATÉ SUA VOVÓZINHA SABE....

BRAGANTIA

Boletim Técnico do Instituto Agronômico do Estado de São Paulo

Vol. 17 Campinas, novembro de 1958 N.º 5

A POLIPLOIDIA ARTIFICIAL NA OBTENÇÃO DE MELANCIA SEM SEMENTES (*)

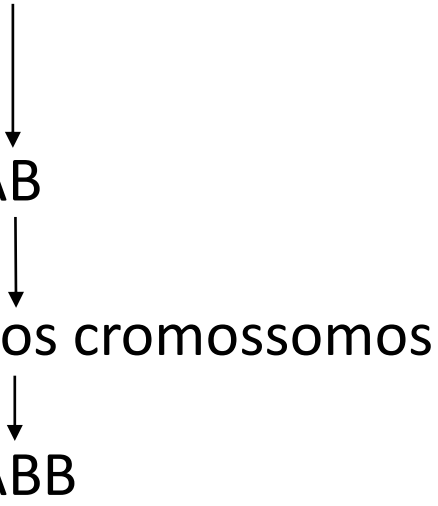
DIXIER M. MEDINA, *engenheiro-agrônomo, Seção de Citologia,* OLÍMPIO T. PRADO, *engenheiro-agrônomo, Seção de Olericultura e Floricultura,* A. J. T. MENDES, *engenheiro-agrônomo, Seção de Citologia e* CARLOS ROESSING, *engenheiro-agrônomo, Estação Experimental de Limeira, Instituto Agronômico*

ALOPOLIPLOIDIA

Têm no mínimo 2 genomas

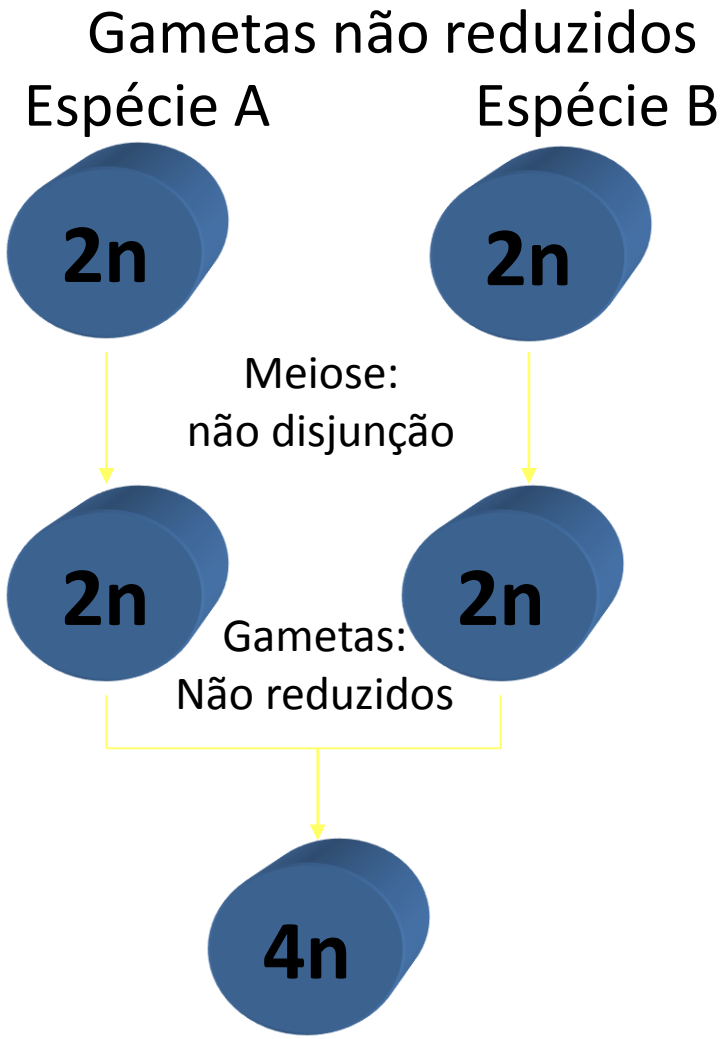
Exemplo: Planta AABB

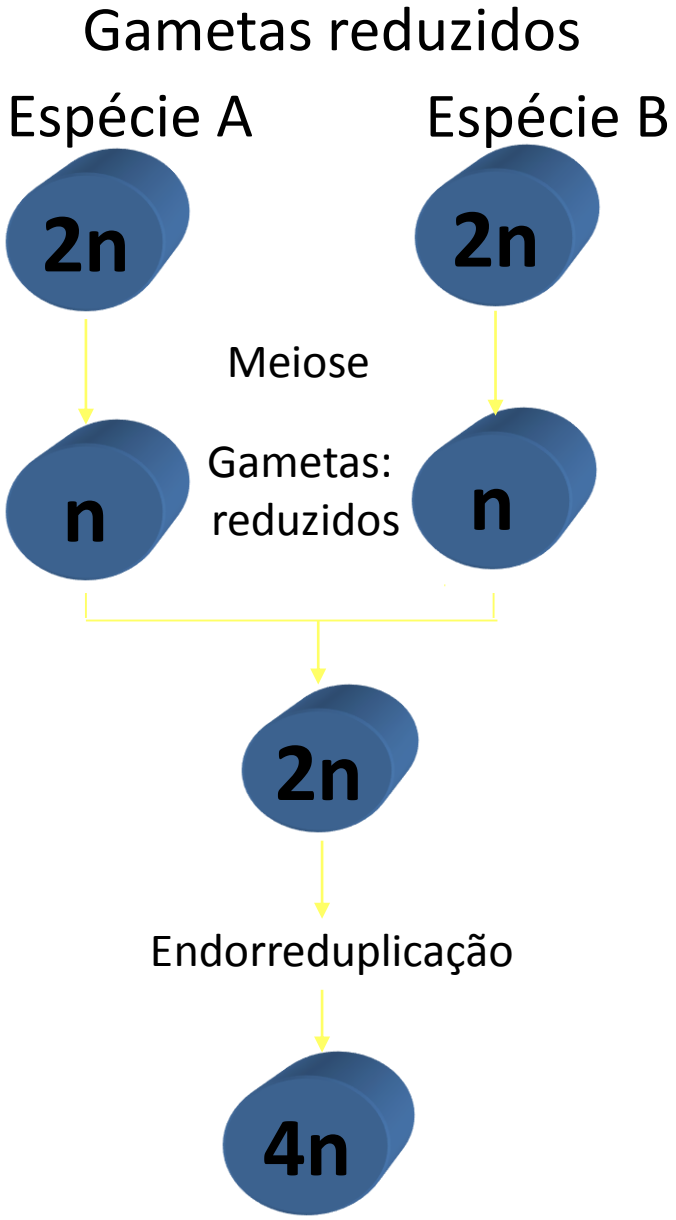
Origem: AA x BB

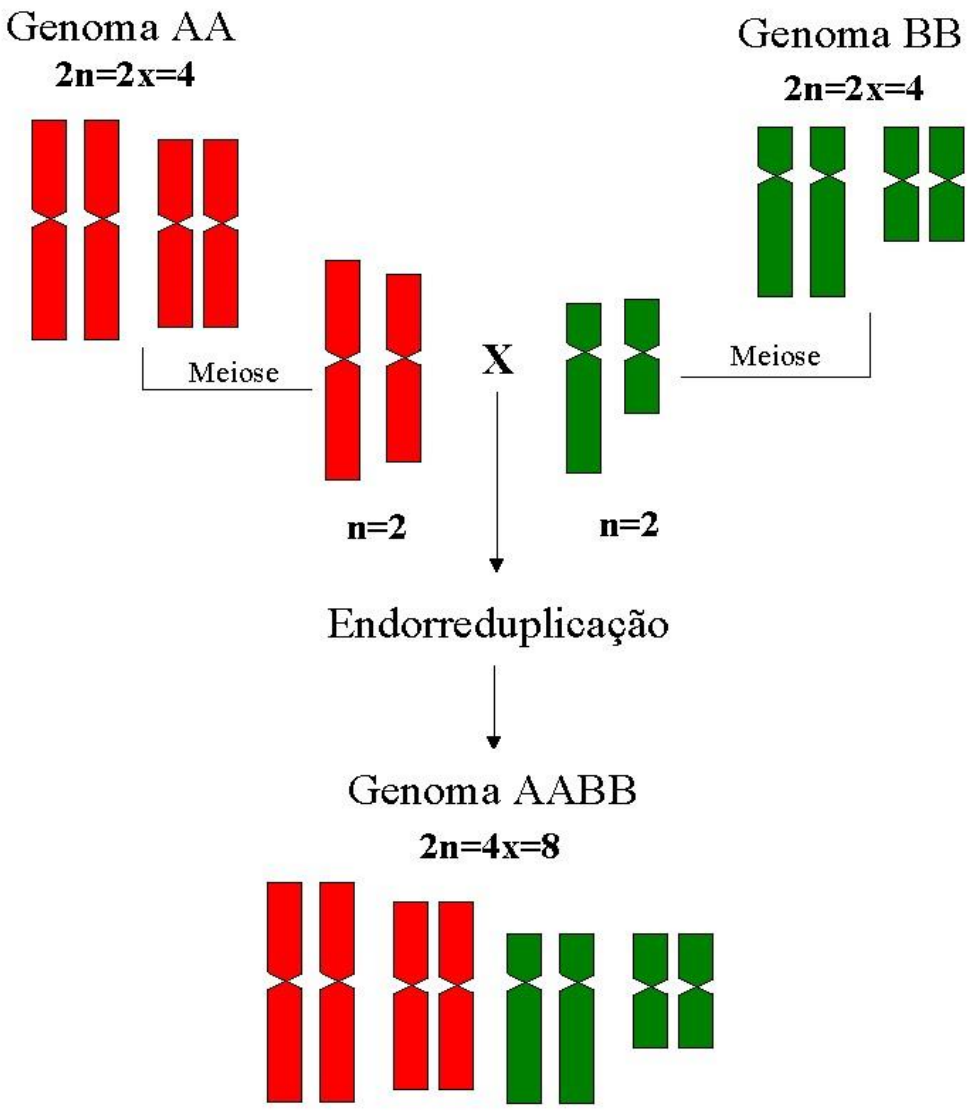


Alotriplóides - AAB, ABB
Alotetraplóides - AABB
Alohexaplóides - AABBDD

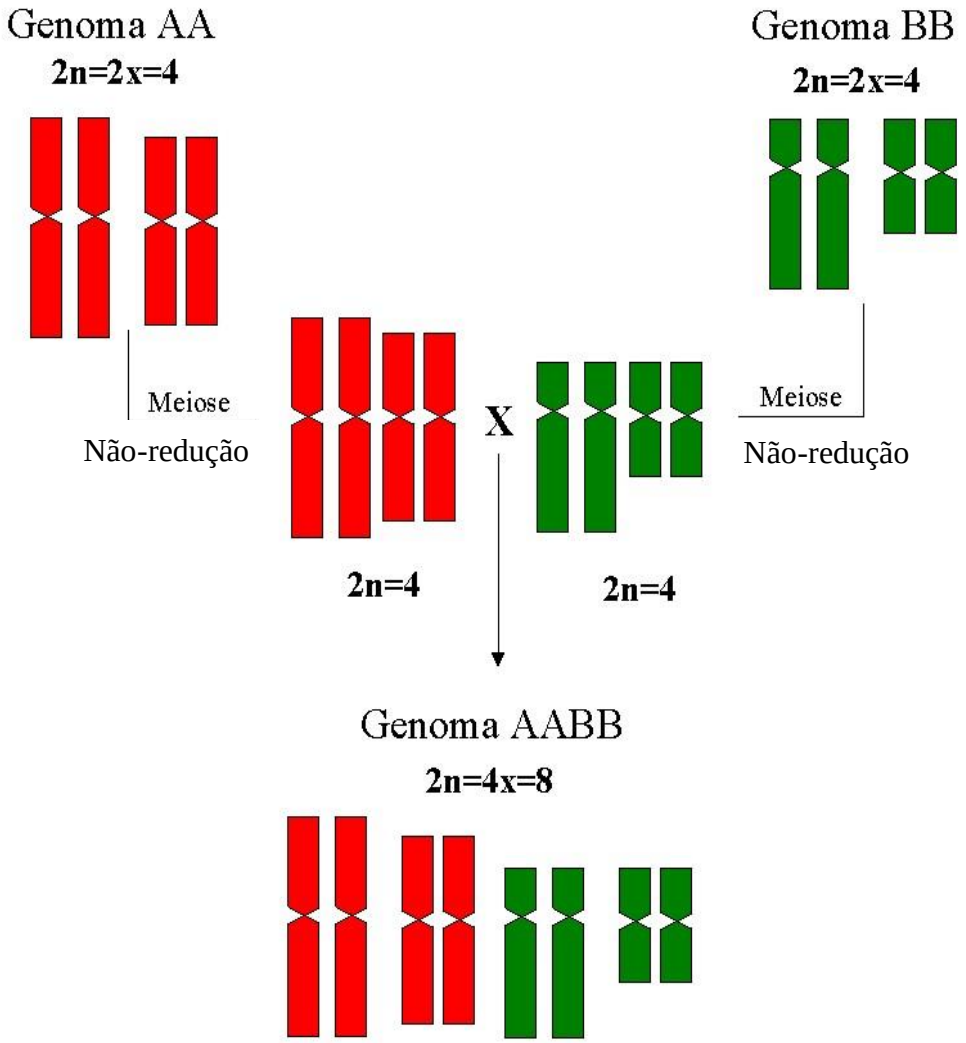
Origem de espécies alopoliplóides



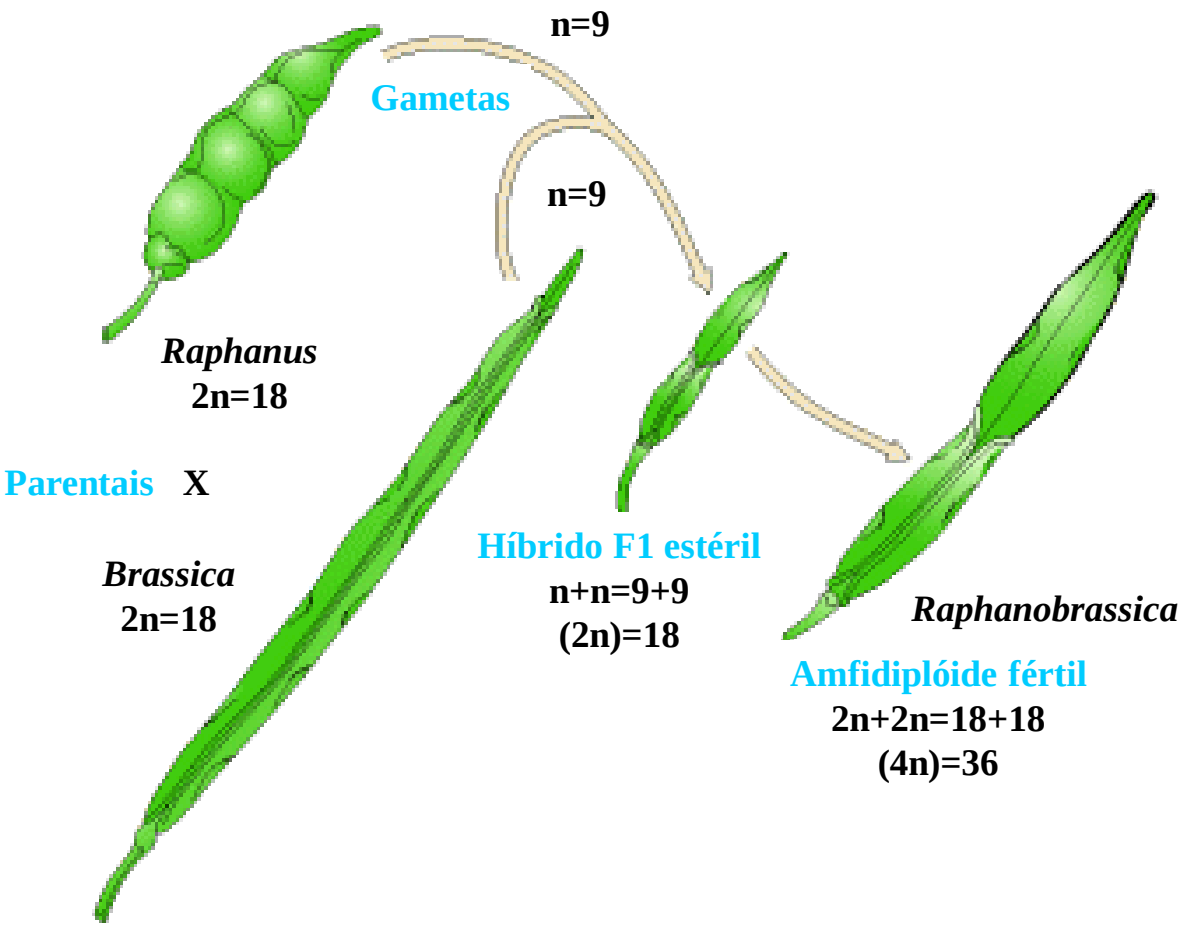



Genoma AA
2n=2x=4
Genoma BB
2n=2x=4
Meiose
Meiose
X
n=2
n=2
Endorreduplicação
Genoma AABB
2n=4x=8

Mondin - 2002


Genoma AA
2n=2x=4
Meiose
Não-redução
2n=4
X
Genoma BB
2n=2x=4
Meiose
Não-redução
2n=4
Genoma AABB
2n=4x=8

Mondin - 2002


n=9
Gametas
n=9
Raphanus
2n=18
Parentais X
Brassica
2n=18
Híbrido F1 estéril
n+n=9+9
(2n)=18
Raphanobrassica
Amfidiplóide fértil
2n+2n=18+18
(4n)=36

Nicotiana tabacum 2n=48 (SSTT)



Possíveis Ancestrais:



N. sylvestris



N. tomentosa, N. tomentosiformes

Híbridos: *N. tabacum* x *N. sylvestris* - **12 II + 12 I**

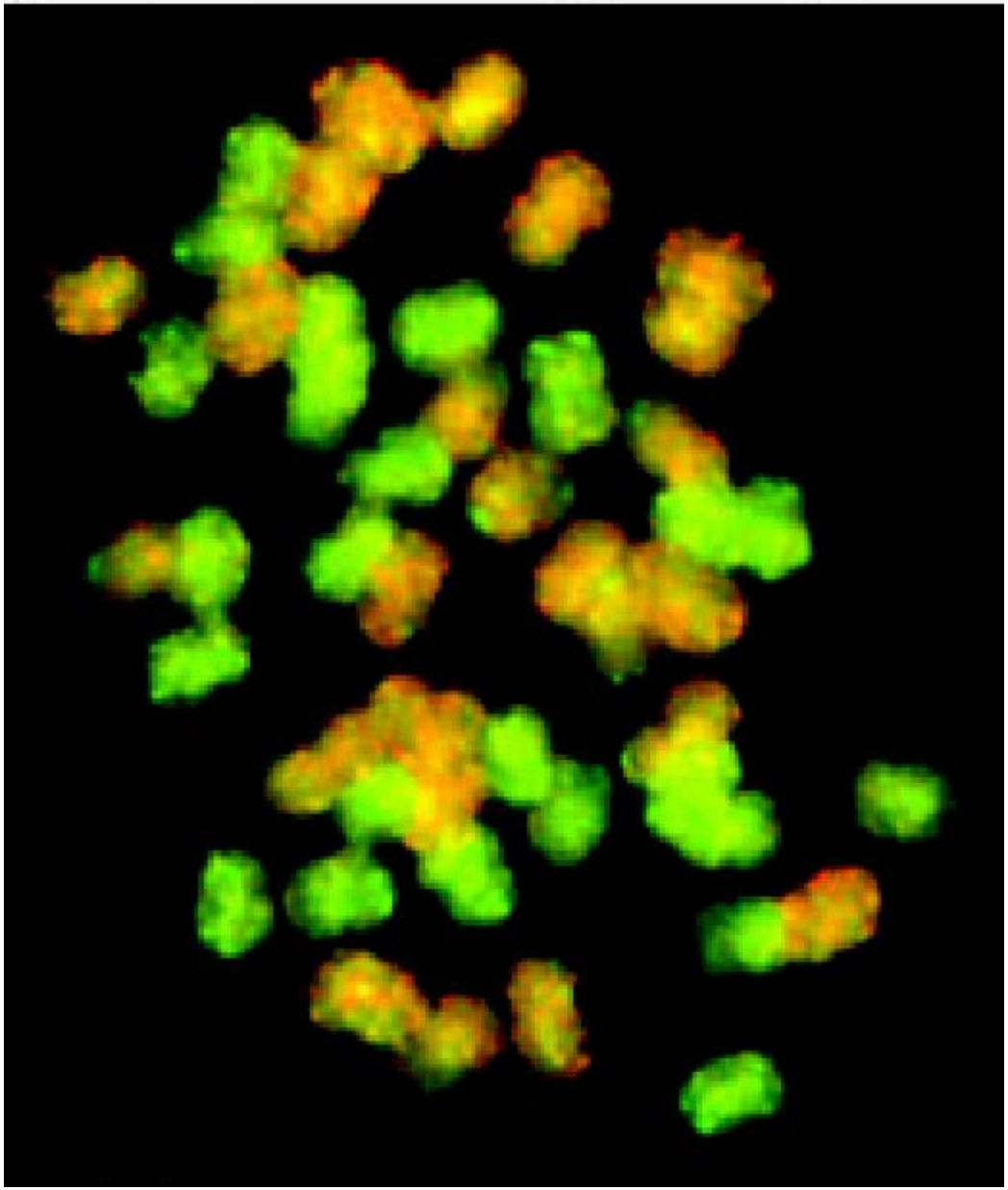
N. tabacum x *N. tomentosa* ou *N. tomentosiformes* - **12 II + 12 I**

Nicotiana tabacum

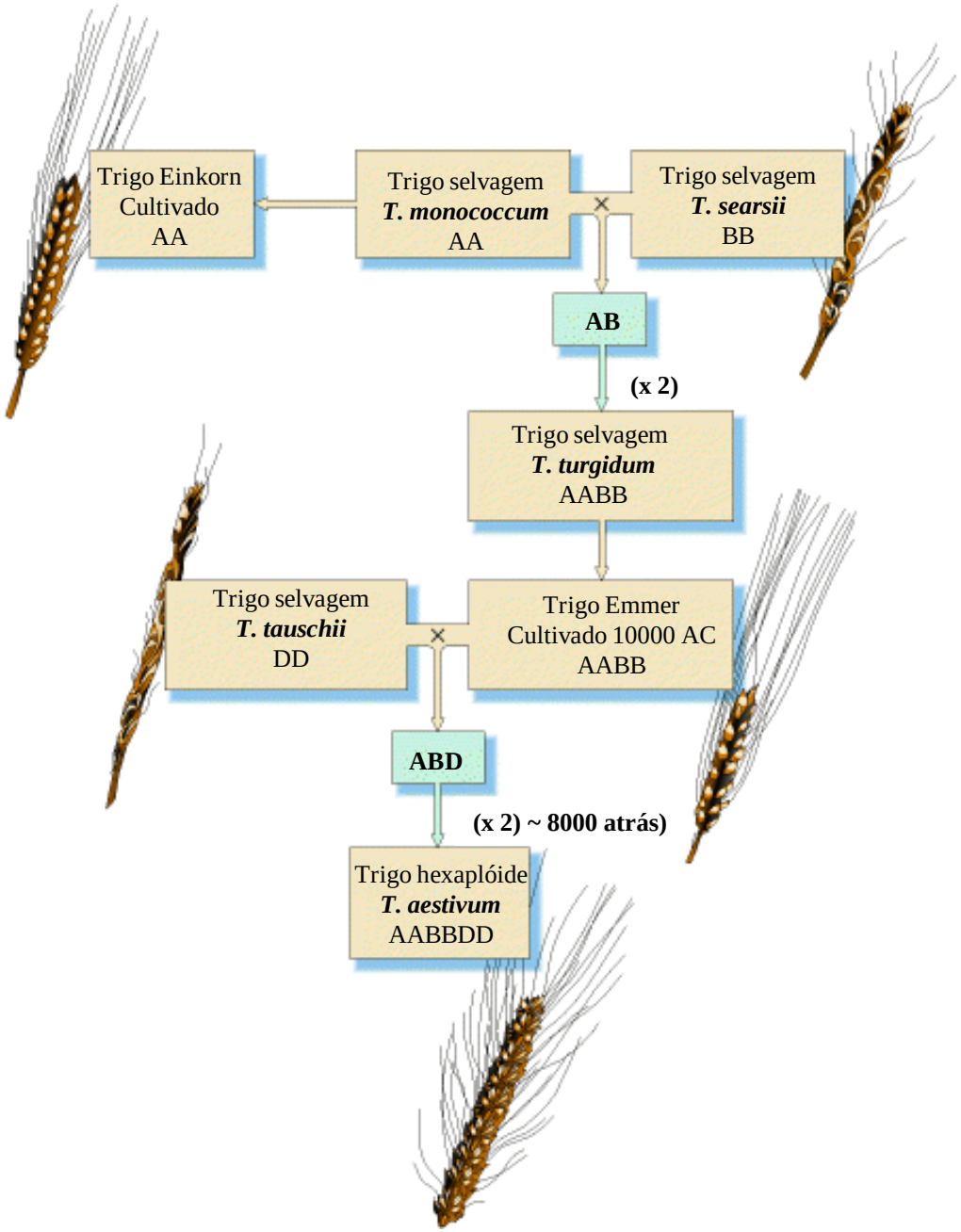
origem alopoliplóide

N. sylvestris - verde

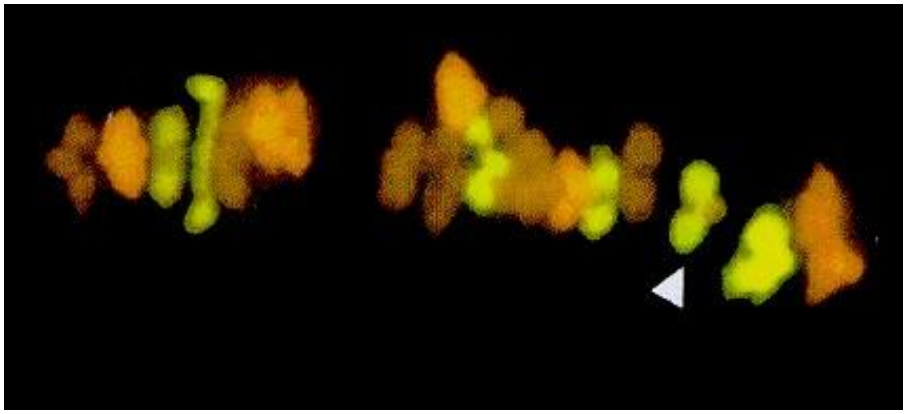
N. tomentosiformis - laranja



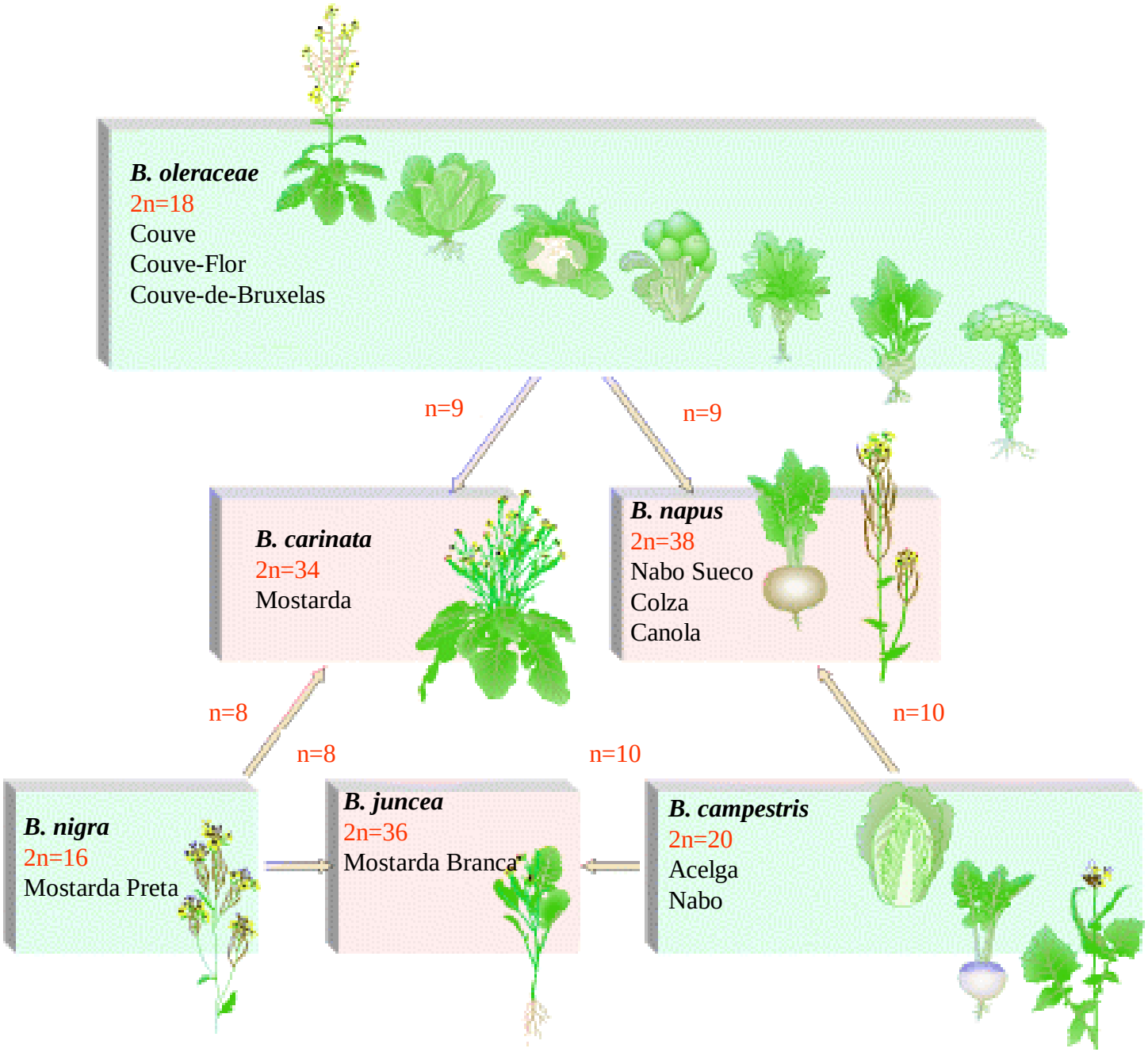
História evolutiva dos trigos até a origem do trigo farináceo



Alopoliplóides: sucesso evolutivo devido a alta estabilidade meiótica



***Triticum aestivum* 2n=6x=42 AABBDD**


B. oleraceae
2n=18
Couve
Couve-Flor
Couve-de-Bruxelas
n=9
n=9
B. carinata
2n=34
Mostarda
B. napus
2n=38
Nabo Sueco
Colza
Canola
n=8
n=8
n=10
n=10
B. nigra
2n=16
Mostarda Preta
B. juncea
2n=36
Mostarda Branca
B. campestris
2n=20
Acelga
Nabo

CARYOLOGIA Vol. 58, no. 3: 220-228, 2005

Comparative karyotype analysis of three *Passiflora* L. species and cytogenetic characterization of somatic hybrids

CUCO S. M., M. L. C. VIEIRA, M. MONDIN and M. L. R. AGUIAR-PERECIN*

Plant Breeding **126**, 323—328 (2007)
doi:10.1111/j.1439-0523.2007.01362.x
© 2007 The Authors
Journal compilation © 2007 Blackwell Verlag, Berlin

Cytological behaviour of the somatic hybrids *Passiflora edulis* f. *flavicarpa* + *P. cincinnata*

L. V. BARBOSA[1], M. MONDIN[2], C. A. OLIVEIRA[2], A. P. SOUZA[3] and M. L. C. VIEIRA[2,4]

***Passiflora edulis* –** amarelo e roxo

Cultivados: consumo *in natura* ou suco

Problemática: fungos de solo – atacam raízes o colo das plantas

Cruzamentos interespecíficos inviáveis - naturalmente



Caracterização dos cromossomos de *Passiflora*

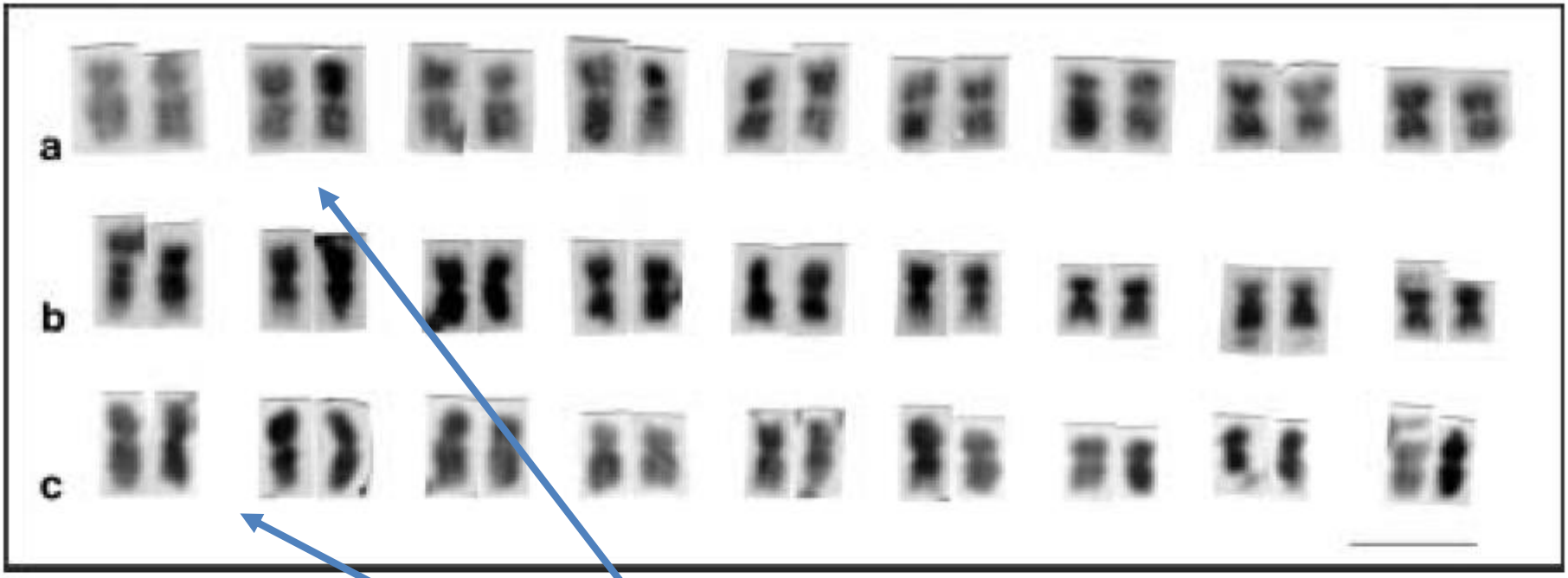


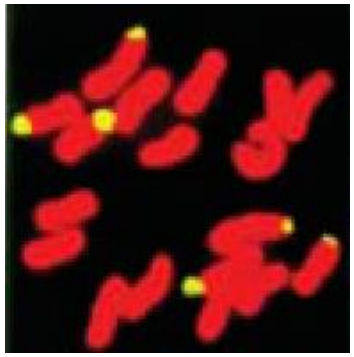
Fig. 1 — Karyotypes of *Passiflora amethystina* (a), *P. edulis* f. *flavicarpa* (b) and *P. cincinnata* (c), showing 2n = 18 chromosomes and the presence of secondary constrictions and satellites on chromosomes 8 and 9. Due to chromosome condensation in *P. amethystina*, the satellites are not clearly seen. Bar = 5 µm.

RESISTENTES

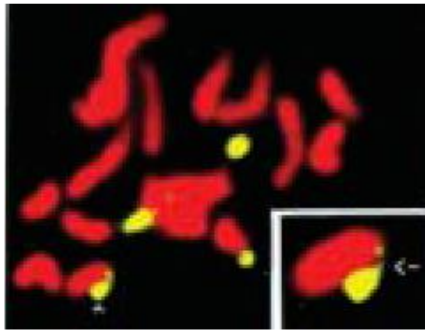
Fusão de Protoplastos

Passiflora edulis f. *flavicarpa* x *Passiflora amethystina*

2n=2x=18

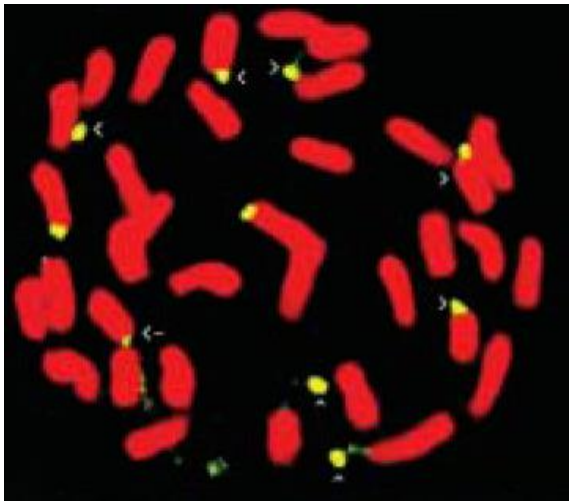


2n=2x=18



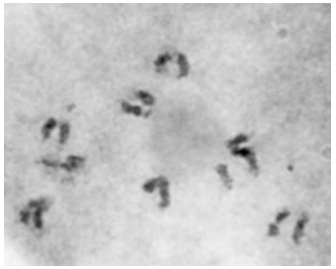
[E+A]

2n=4x=36

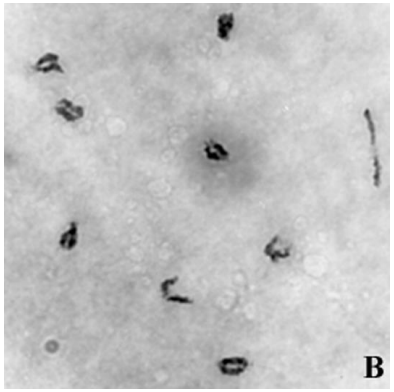


Passiflora edulis f. *flavicarpa* x *Passiflora cincinnata*

2n=2x=18

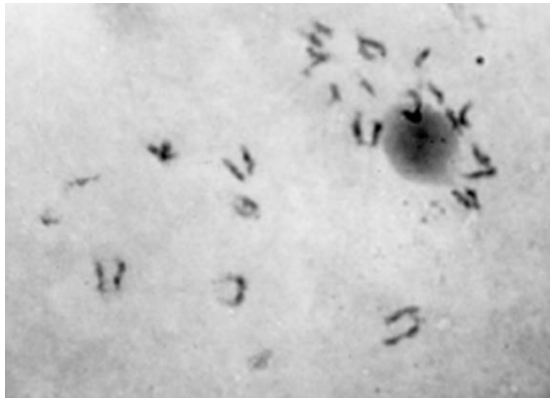


2n=2x=18



[E+C]

2n=4x=36



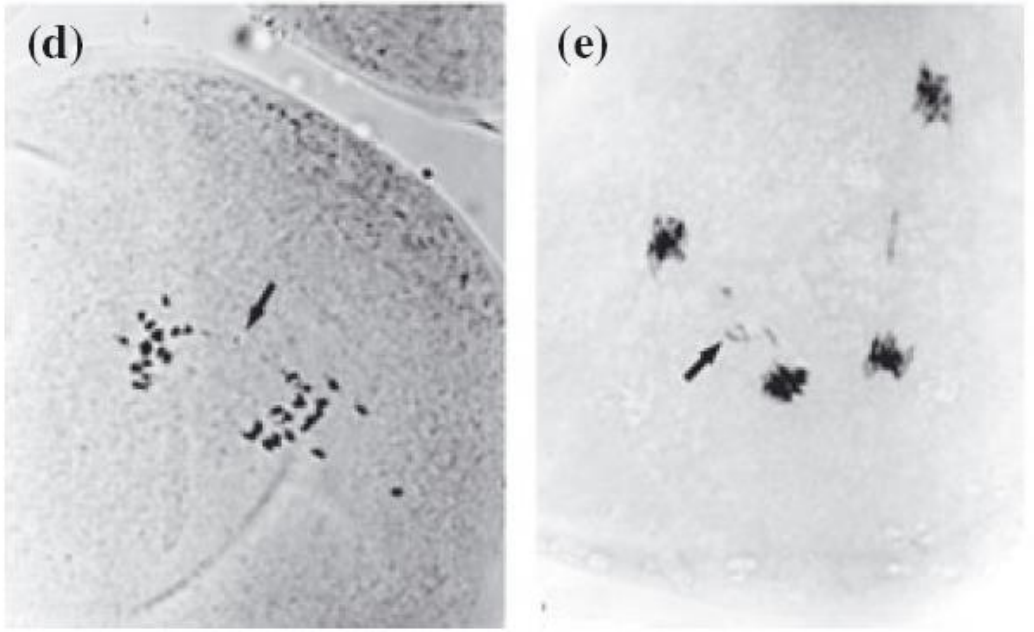
Estabilidade Meiótica do Alopoliplóide

Table 2: Meiotic behavior (in percentages) in *P. edulis* f. *flavicarpa* [E], *P. cincinnata* [C] and their four somatic hybrids [E + C]

	Diakinesis configurations					Laggards			Laggards				
Plant material	9 II	18 II	17 II + 2 I	16 II + 1 IV	No. cells	MI	AI	Bridges	MII	AII	Chromatid bridges	Tetrads with micronuclei	No. tetrads
[E]	100.0	—	—	—	40	1.0	0.0	0.6	0.4	0.0	0.2	—	—
[C]	100.0	—	—	—	40	1.3	0.0	0.2	0.0	0.8	0.6	—	—
[E + C] #07	—	55.0	15.0	30.0	40	19.9	28.8	1.2	15.8	16.0	1.8	23.2	524
[E + C] #14	—	78.5	4.2	17.1	70	7.1	28.2	5.0	13.0	4.0	10.6	6.4	827
[E + C] #25	—	71.6	15.0	13.3	60	12.3	26.9	2.3	15.5	7.6	16.1	8.7	935
[E + C] #26	—	60.0	7.5	32.5	40	15.3	15.5	2.1	13.4	13.4	13.3	17.6	631

MI and MII, first and second metaphase, respectively.
AI and AII, first and second anaphase, respectively.

Comportamento meiótico dos cromossomos univalentes



Resultados:

Híbridos somáticos resistentes

Alta estabilidade meiótica do híbrido – fértil

Retrocruzamentos - inviáveis

[E+A]
[E+C]
2n=4x=36

x

Passiflora edulis
2n=2x=18



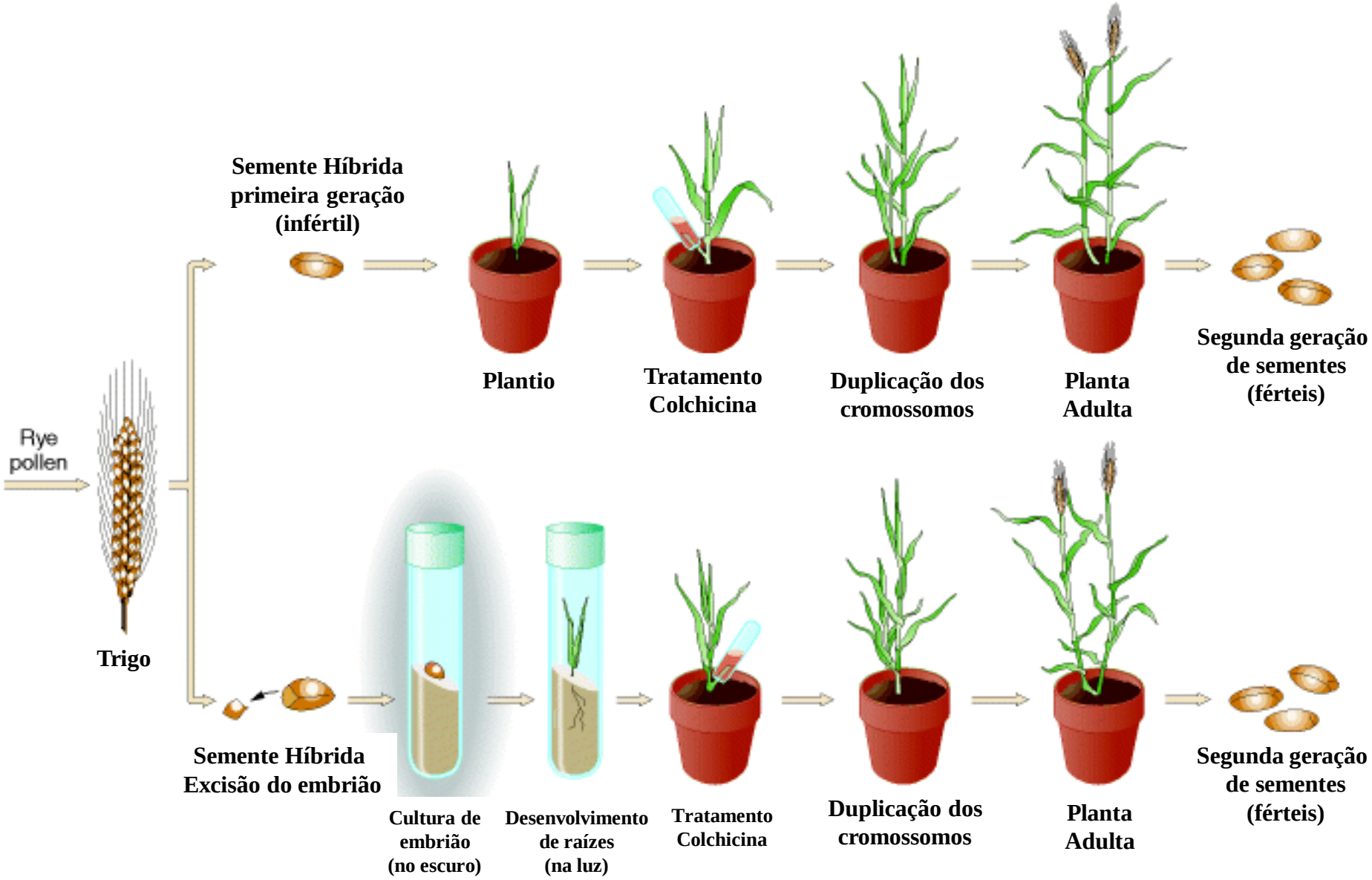
Passiflora edulis x [E+A] ou [E+C]
2n=3x=27 **TRIPLÓIDE**

Se não há modos de se utilizar o triplóide, como utilizar o híbrido somático resistente?

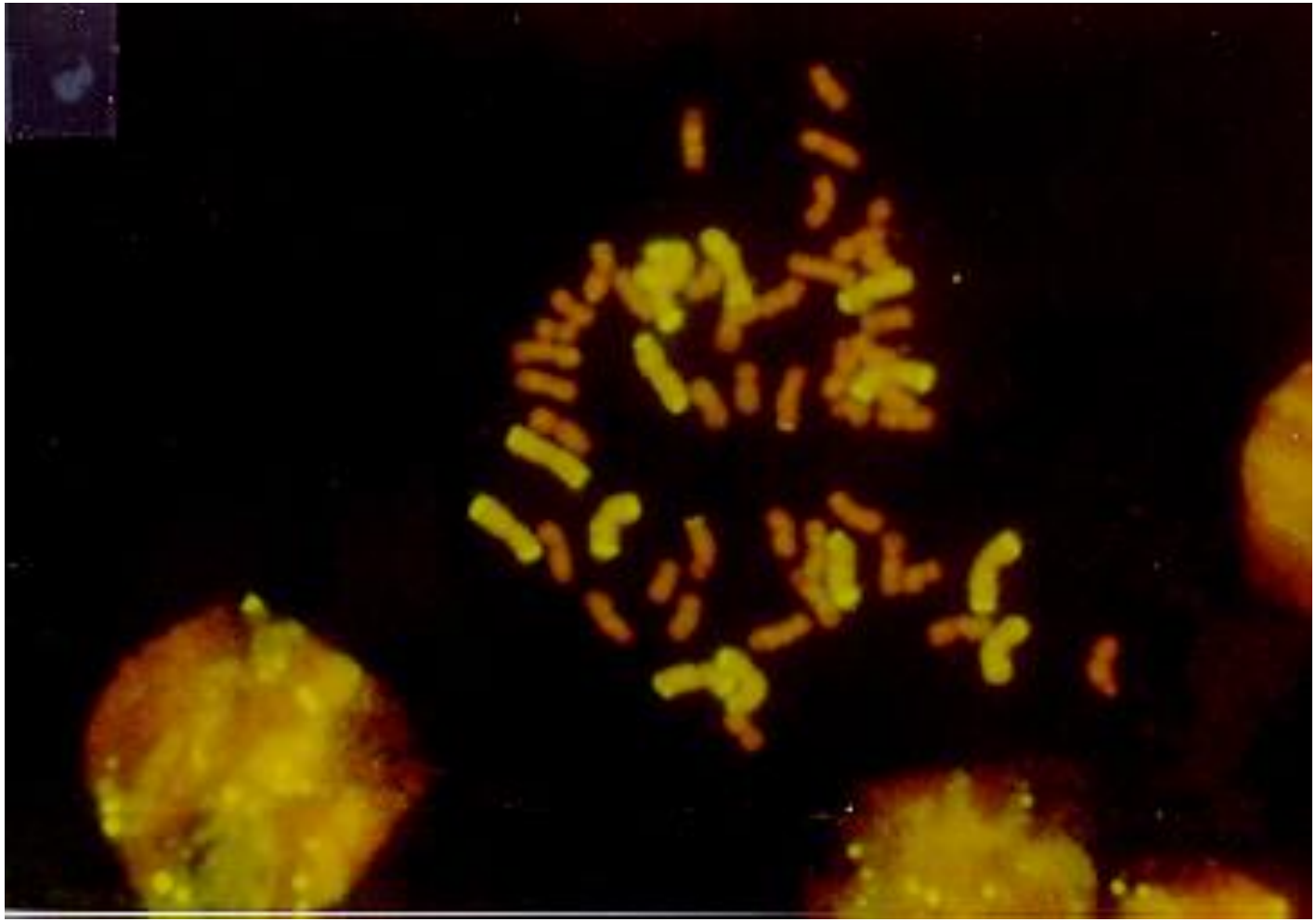


Utilize o híbrido como

PORTA ENXERTO

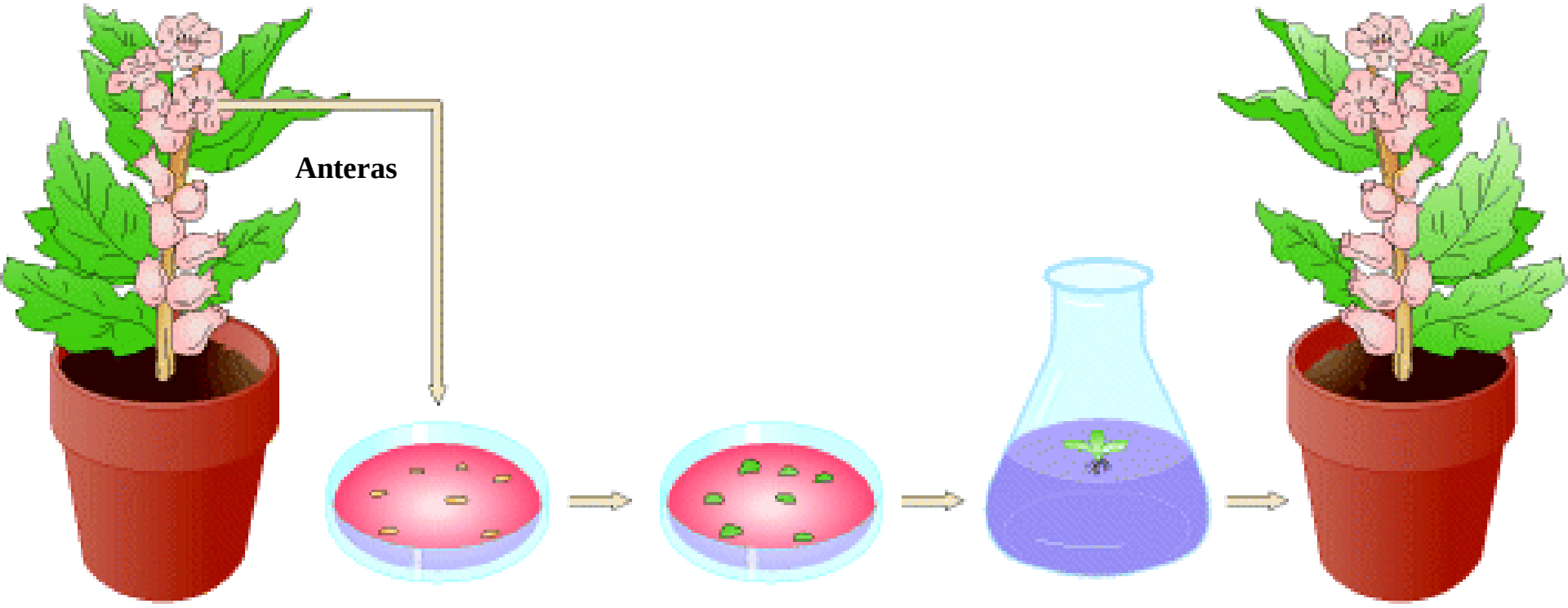

Rye pollen
Trigo
Semente Híbrida primeira geração (infértil)
Plantio
Tratamento Colchicina
Duplicação dos cromossomos
Planta Adulta
Segunda geração de sementes (férteis)
Semente Híbrida Excisão do embrião
Cultura de embrião (no escuro)
Desenvolvimento de raízes (na luz)
Tratamento Colchicina
Duplicação dos cromossomos
Planta Adulta
Segunda geração de sementes (férteis)

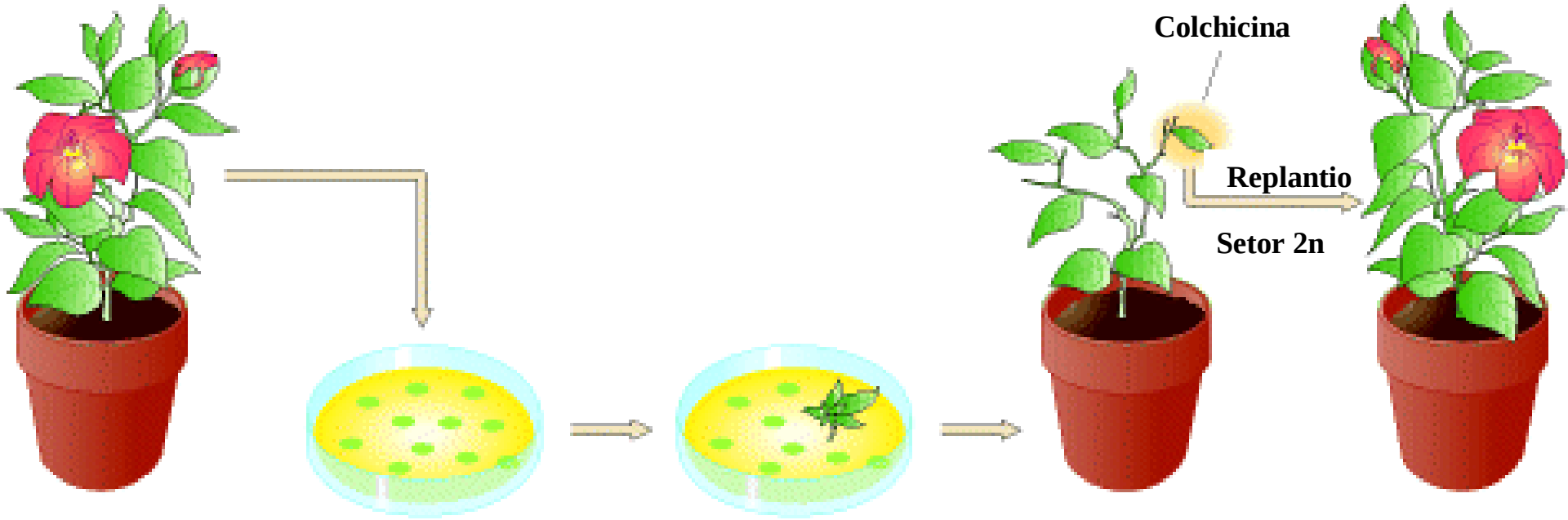
Triticale: *Triticum aestivum* x *Secale cereale*



Triticum aestivum - vermelho
Secale cereale - amarelo

HAPLOIDIA


Anteras
Planta Diplóide
Plaqueamento de células resultantes da meiose
Desenvolvimento de embrióides haplóides
Plântula Haplóide
Planta Haplóide


Colchicina
Replantio
Setor 2n
Planta Haplóide Sensível
Células Somáticas plaqueadas em meio seletivo (por exemplo: inibidor)
Desenvolvimento de uma plântula resistente
Planta Resistente Haplóide (estéril)
Planta Resistente Diplóide (fértil)

POLIPLOIDIA EM ANIMAIS

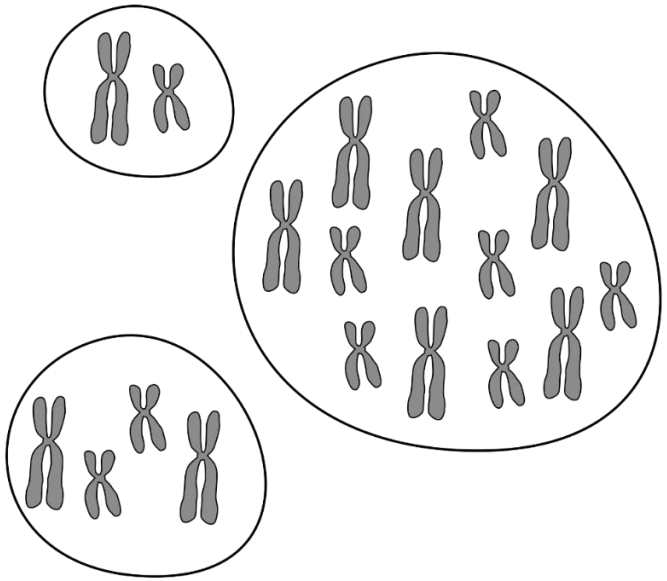
✓A poliploidia é mais rara em animais. É encontrada em alguns peixes, anfíbios e répteis. Durante muito tempo não foram encontrados mamíferos poliplóides, mas em Setembro de 1999, foi publicada na revista Nature a descoberta de um rato tetraplóide (4n), na Argentina.

✓As células poliplóides são maiores do que as células diplóides, visto que a quantidade de DNA no núcleo destas células é maior. As células do fígado do rato encontrado na Argentina são maiores do que as células dos seus parentes diplóides, assim como a cabeça dos esperamotozóides, que relativamente aos ratos diplóides também são maiores.



ESTUDO DIRIGIDO

1. Definição e nomeclatura de poliploides
2. Causas do surgimento de poliploides
3. Tipos e exemplos de poliplóide
2. Efeitos da poliploidia na arquitetura cellular
3. Importância dos poliploides na agricutlura



Leitura

SCHIFINO-WITTMANN, M.T, (2004) **Poliploidia e seu impacto na origem e evolução das plantas silvestres e cultivadas.** R. Bras. Agrociência, v.10, n. 2, p. 151-157