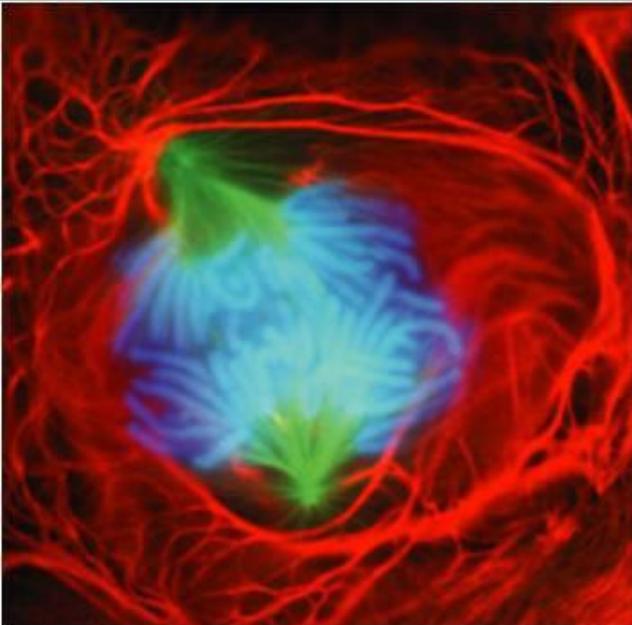


Ciclo Celular



Professor Ricardo Antunes de Azevedo
Turma: Ciência dos Alimentos

Biologia Celular

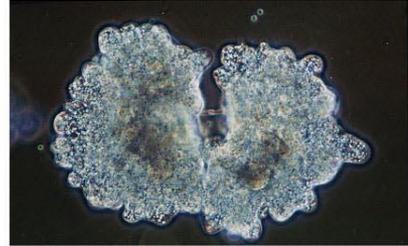
Interfase e Mitose

Tipos de divisão celular:

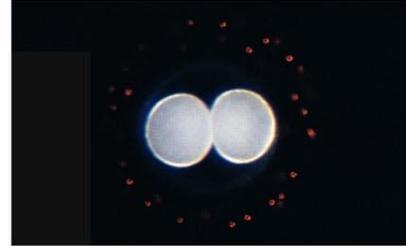
✓ PROCARIOTOS:

- fissão binária.

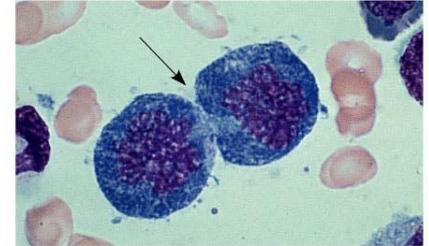
✓ EUCARIOTOS:



(a)



(b)



(c)

Copyright © 2005 Pearson Education, Inc. Publishing as Pearson Benjamin Cummings. All rights reserved.

✓ MITOSE:

- crescimento, desenvolvimento e reparo;
- reprodução assexuada (gera duas células idênticas);
- ocorre nas células somáticas

✓ MEIOSE:

- reprodução sexuada;
- ocorre em células reprodutivas;
- origina gametas.

Ciclo Celular

É dividido em duas fases:

1. Mitose (M) → processo de divisão nuclear – a divisão do citoplasma denomina-se citocinese

- A mitose é o processo pelo qual o material genético duplicado na fase S da intérfase é dividido entre duas novas células que irão se formar.
- É característica de todas as células somáticas.
- É uma divisão equacional.

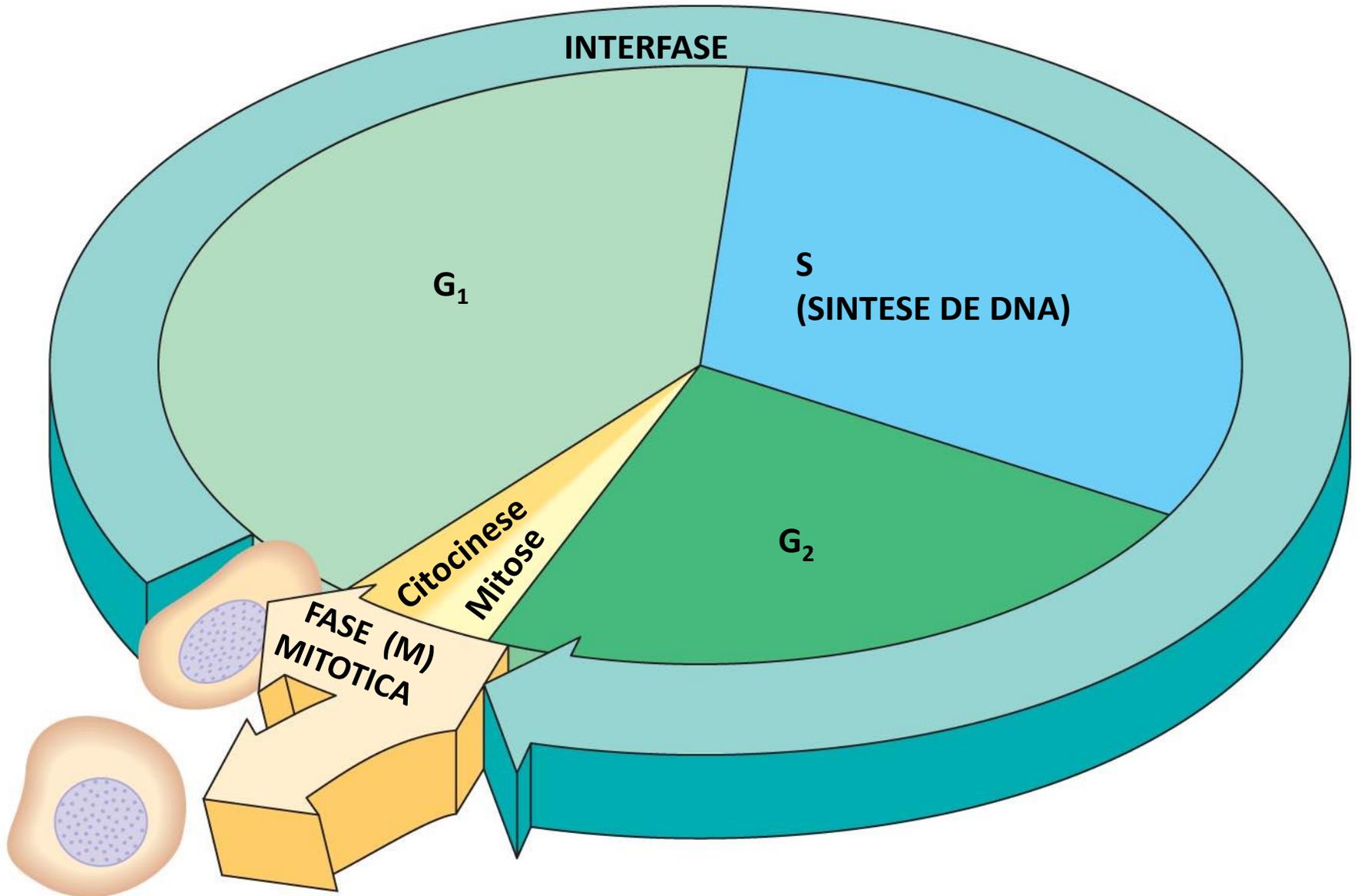
Ciclo celular

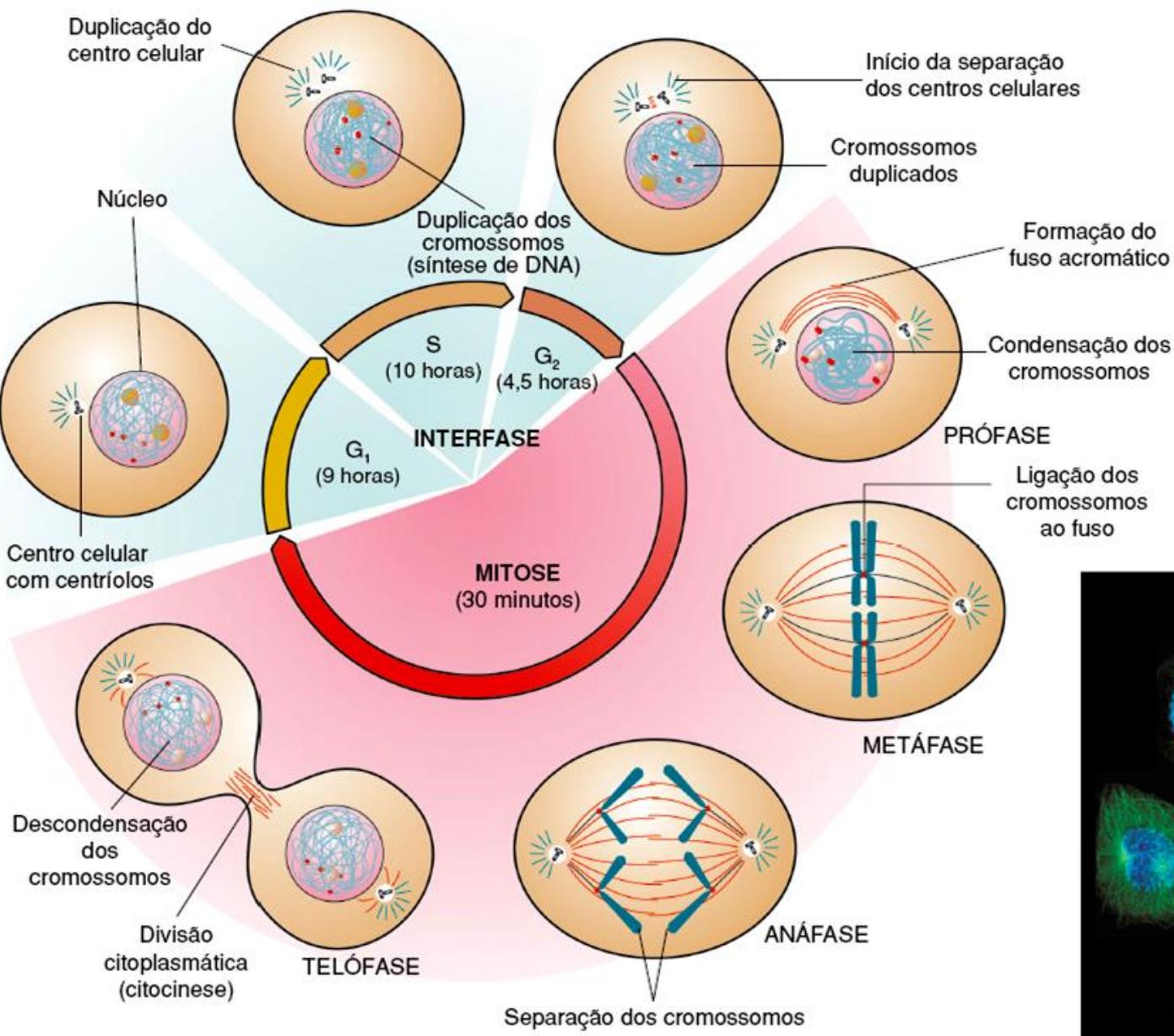
2. Intérfase → é dividida em 3 fases:

- **G1**: crescimento celular e preparação para a duplicação do DNA nuclear.
 - **S**: duplicação do DNA nuclear.
 - **G2**: crescimento da célula e duplicação completa do DNA.
-
- Células que não entram em divisão por períodos determinados podem, durante a fase G1, entrar num estado de pausa denominado G0 (G-zero).
 - G0: célula com ciclo de divisão estacionado em G1, considera-se que está fora do ciclo celular (células que não se dividem: tecido nervoso, músculo esquelético) ou que raramente se dividem (linfócitos circulantes).

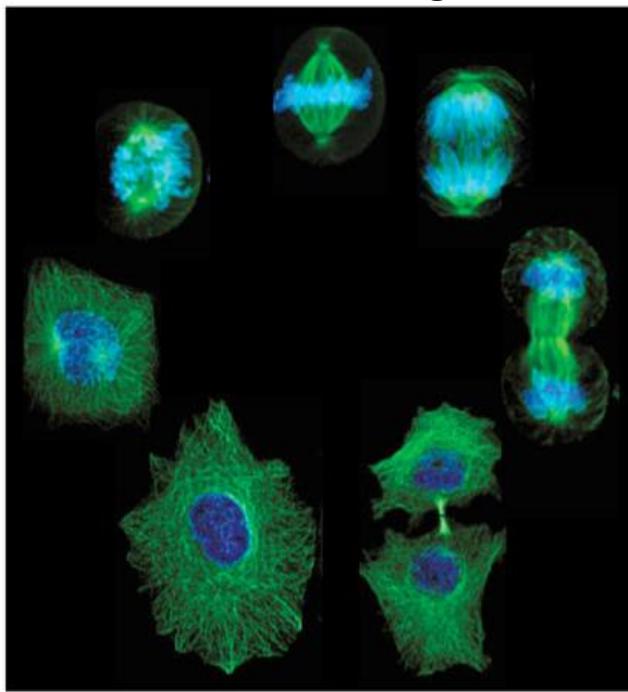
Intérfase

- Maior período de tempo de vida das células
- Interfase precede e sucede a mitose
- Atividade biossintética intensa → produzir um suprimento de organelas e outros componentes citoplasmáticos em quantidade suficiente para as duas células filhas e reunir as estruturas necessárias para desencadear a mitose
- Célula dobra de tamanho e duplica seu complemento cromossômico.
- A duração deste ciclo e de suas fases é muito variável entre os tipos celulares: 8 minutos em embriões de moscas e 1 ano em células do fígado de mamíferos





Yong Wan Lab



Ciclo celular e Divisão celular

Microscopia de luz da ponta da raiz de cebola



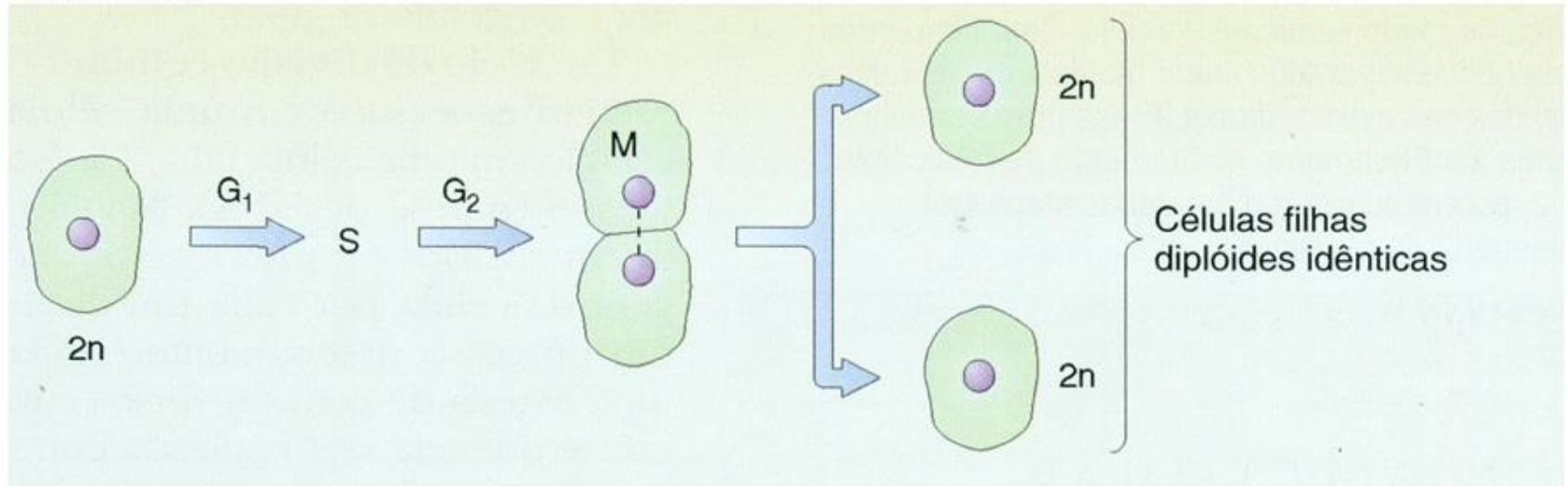
Capacidade de reprodução → capacidade fundamental das células.

Um único ovócito → indivíduo adulto.

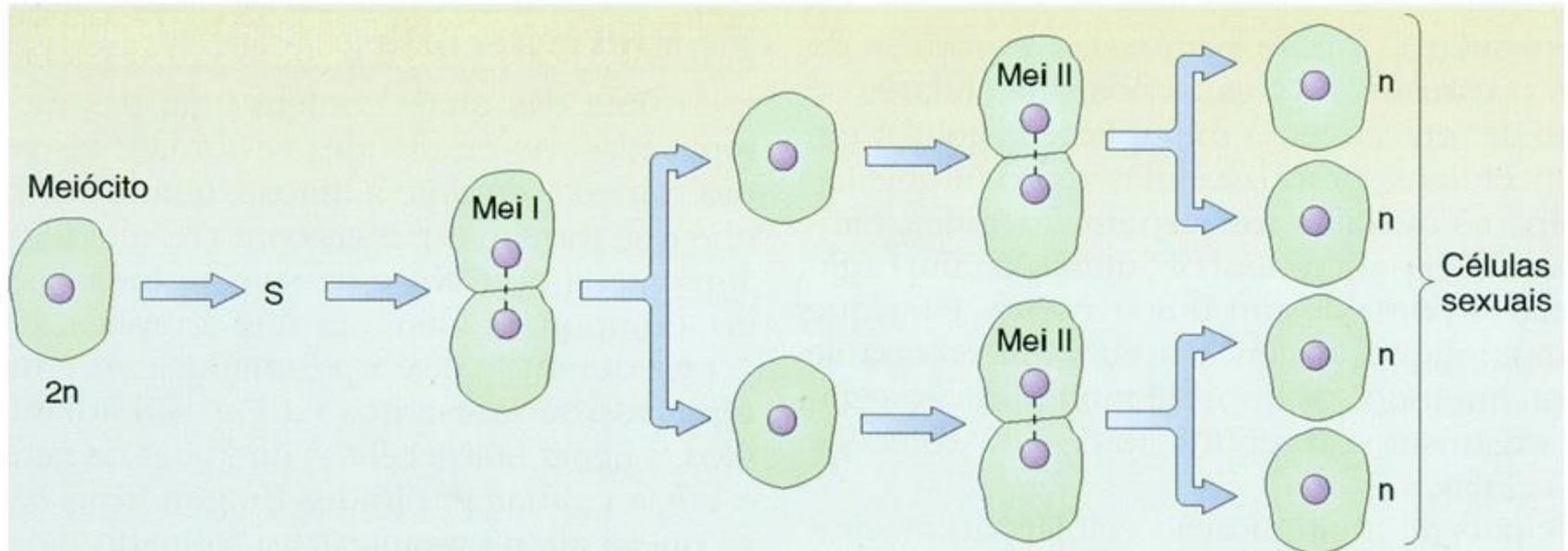
No adulto, a reprodução celular → compensar perda pelos tecidos.

ex: suprimento sangüíneo constante → $\pm 2,5$ milhões de novas células/segundo (o eritrócito tem um ciclo médio de vida de 120 dias, 5×10^6 /mm³ de sangue x 5L).

Mitose



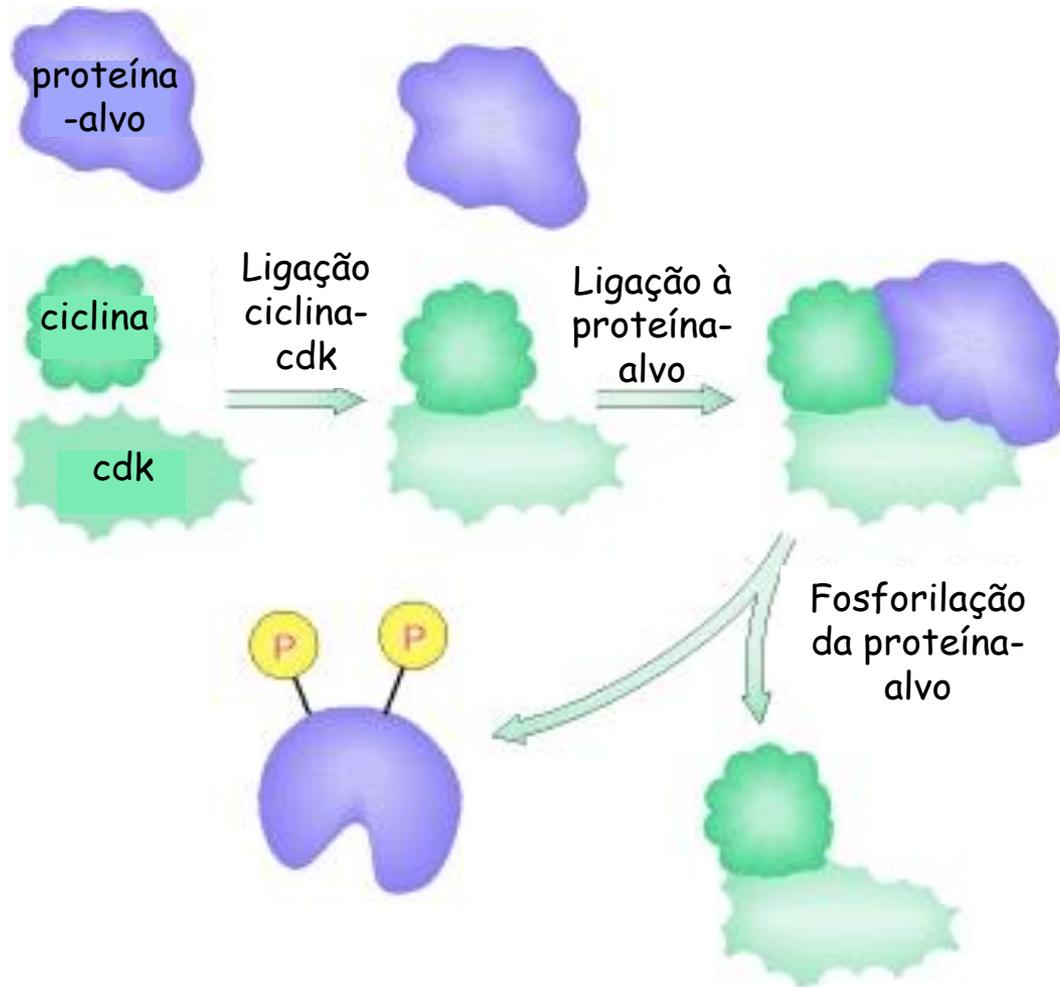
Meiose



Controle do Ciclo Celular

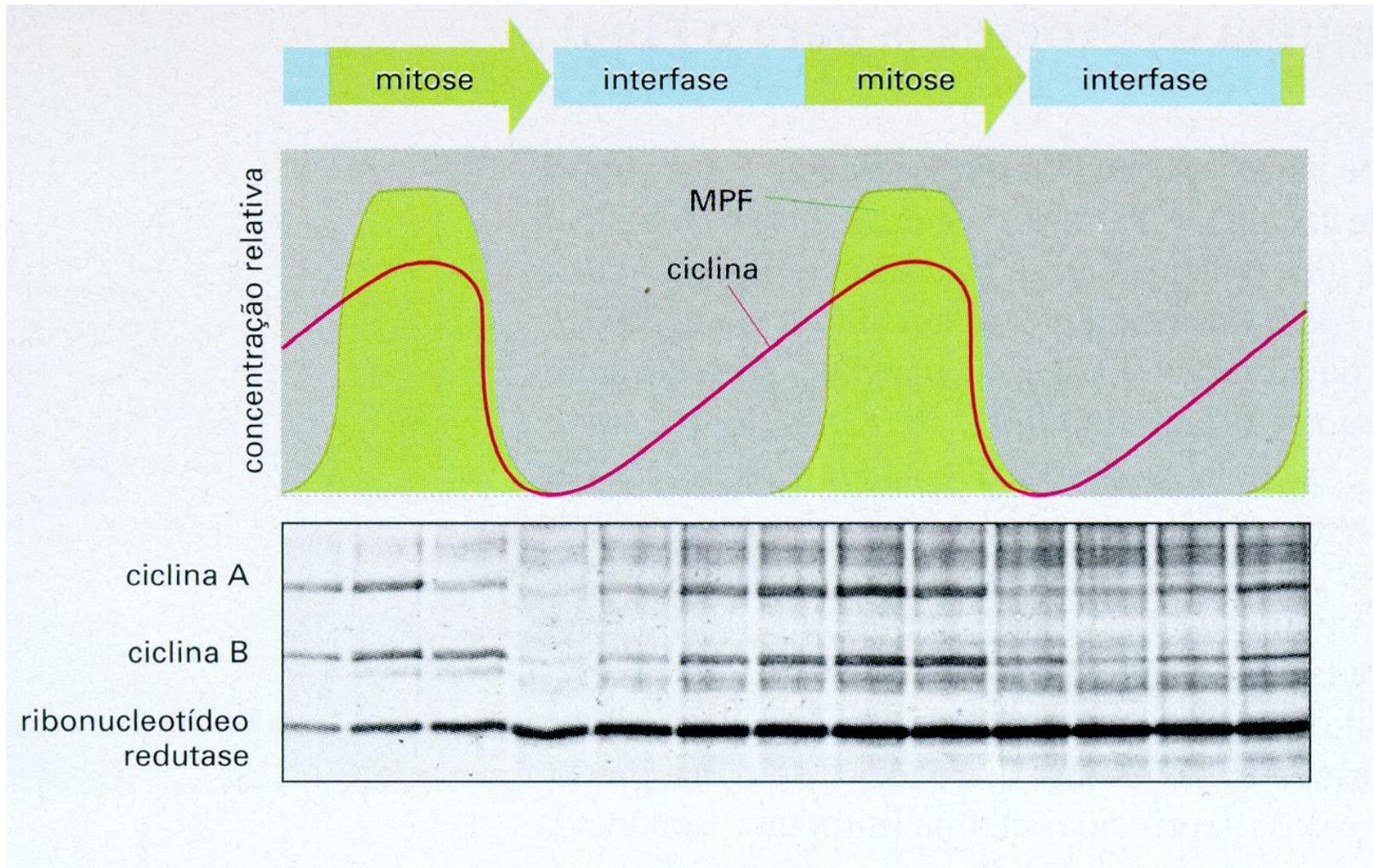
- É feito por 2 grupos de proteínas:
 1. Ciclinas dependentes de proteínas quinases (cdk)
 2. Ciclinas que se ligam às cdk controlando sua capacidade de fosforilação de proteínas.
- Existem 2 tipos de ciclinas:
 1. Ciclina G1: que se liga ao cdk durante a fase G1 para iniciar a fase S.
 2. Ciclina Mitótica: que se liga ao cdk durante a fase G2 para iniciar a mitose. Esta última ligação forma um complexo denominado fator promotor da fase M: MPF.

Complexo ciclina-cdk



(Griffiths *et al.*, 2001)

Níveis de MPF e ciclina



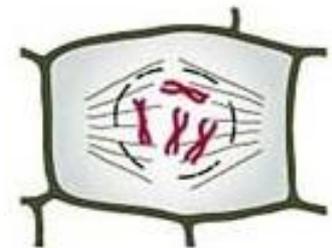
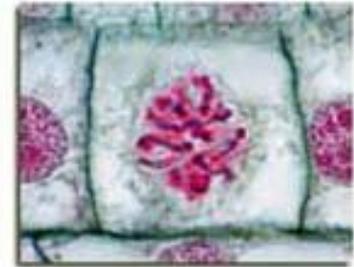
(Alberts et al., 1997)

Fases da Mitose (M)

- Fase M dividi-se em 6 estágios:
 - 5 correspondentes à Mitose e o 6º a citocinese
 - Prófase, Prometáfase, Metáfase, Anáfase e Telófase.
- A citocinese começa durante a anáfase e continua até o final da fase M.

M1: Prófase

- Ao microscópio, não é bem definida a transição da fase G2 para a M.
- A cromatina difusa na intérfase, vagarosamente se condensa em cromossomos bem definidos.
- Cada cromossomo duplicado na fase S da intérfase é constituído por duas cromátides irmãs.
- Cada cromátide irmã apresenta uma seqüência específica de DNA denominada centrômero, o qual é necessário para a segregação dos cromossomos.
- As fibras do fuso se formam a partir de microtúbulos
- Microtúbulos e ásteres localizam-se inicialmente ao redor do núcleo.
- O nucléolo começa a se dispersar.



1 PRÓFASE

citoplasma

membrana plasmática

núcleo disperso

cinetocoros ligados ao centrômero

envolpe nuclear intacto

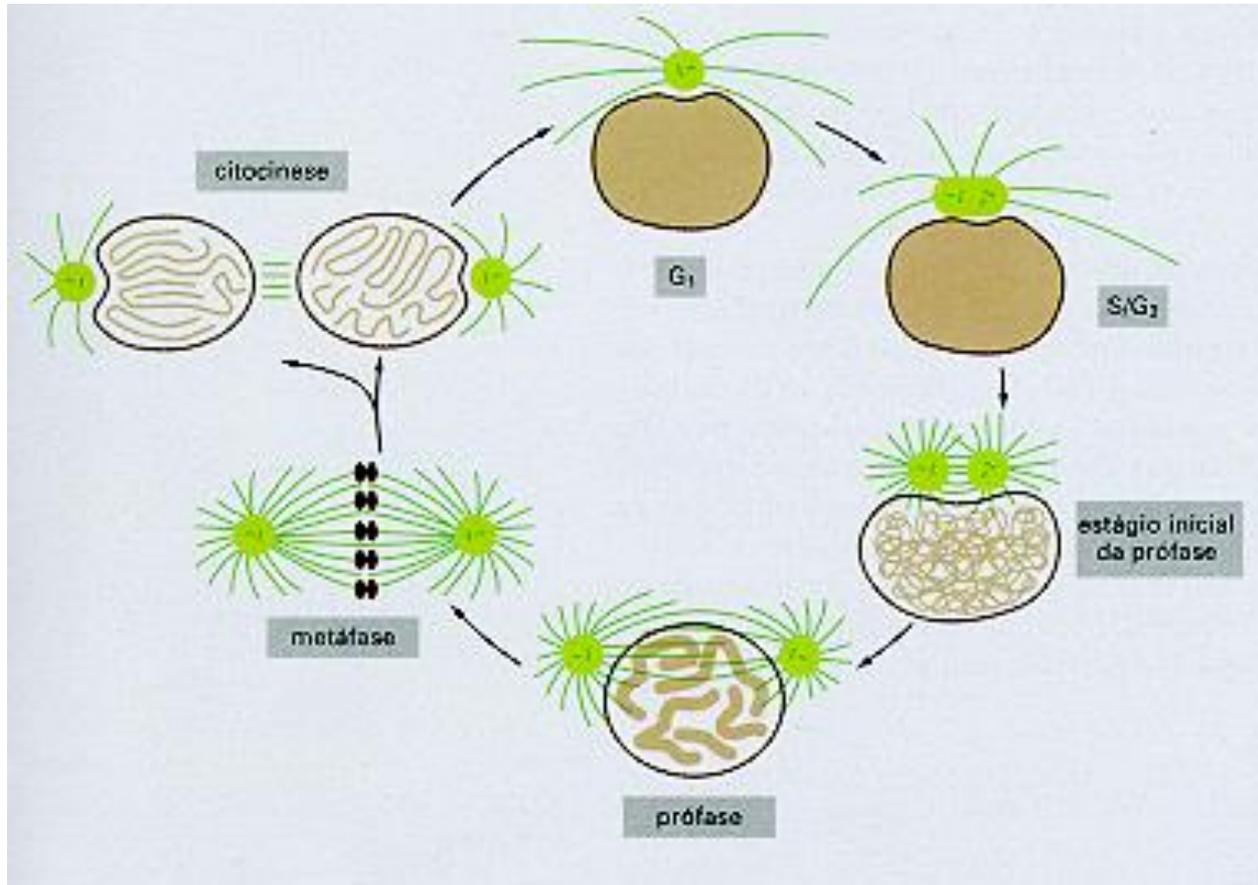
cromossomo condensado com as duas cromátides-irmãs unidas pelo centrômero

centrossomos em separação irão formar os pólos do fuso

ROMPIMENTO DO ENVELOPE CELULAR

(Alberts *et al.*, 1997)

Ciclo do centrossomo – célula animal

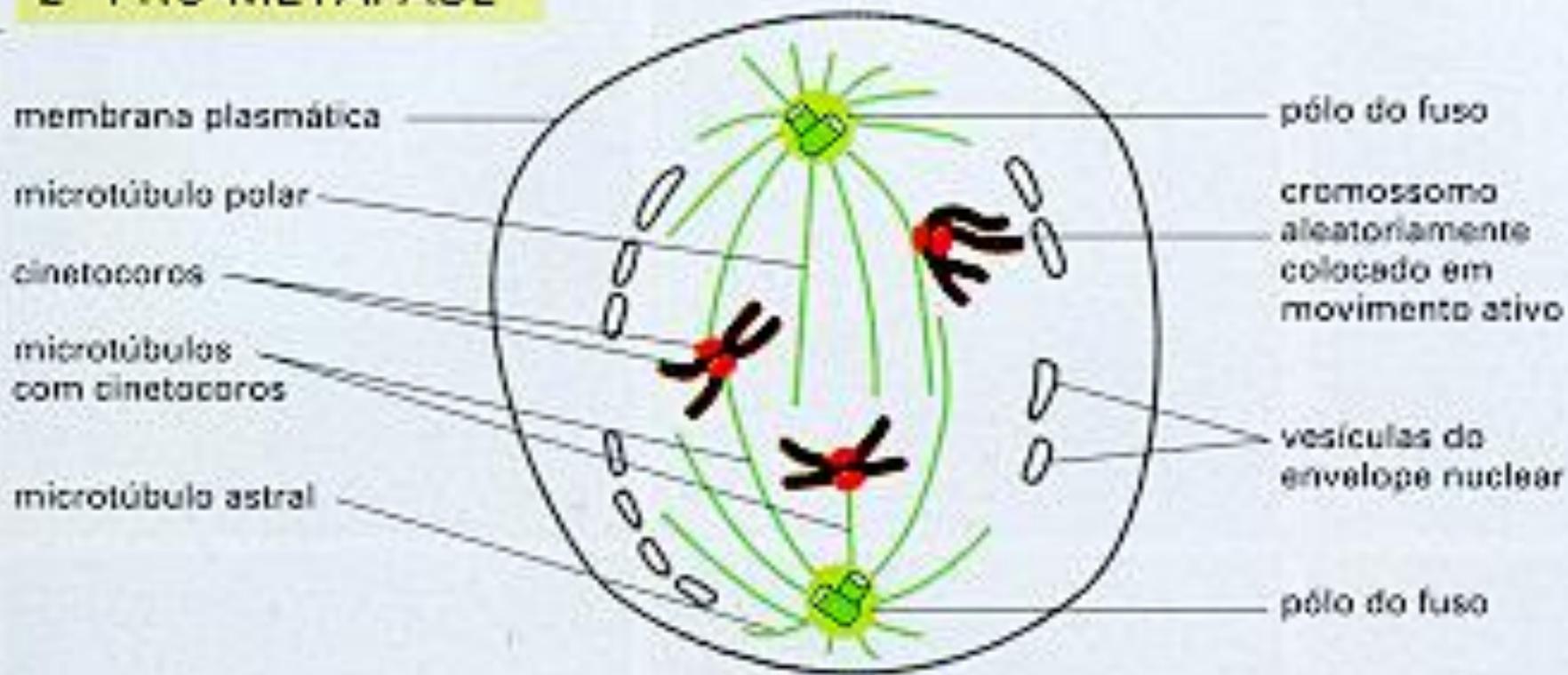


(Alberts *et al.*, 1997)

M2: Prometáfase

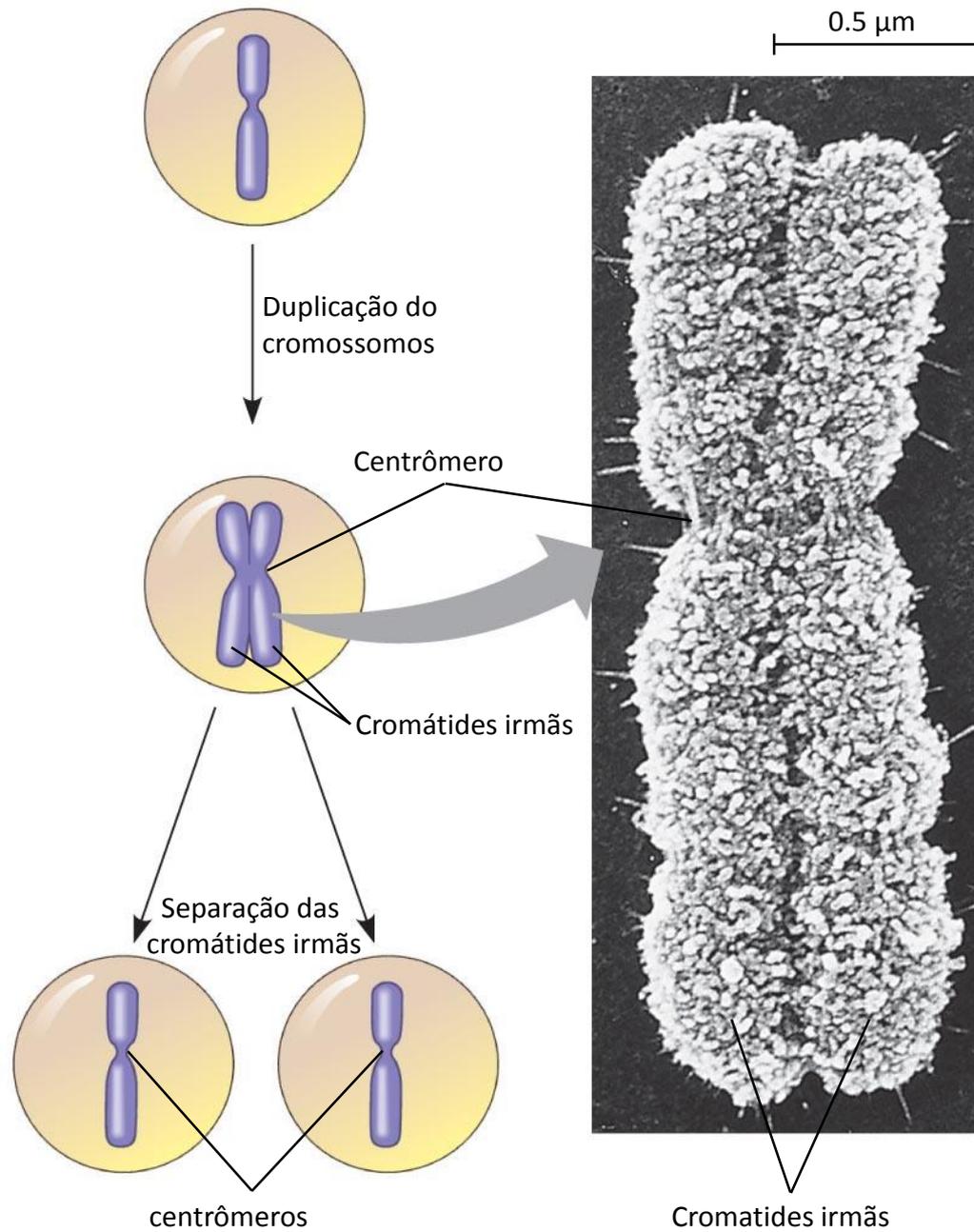
- Começa abruptamente com a desorganização do envoltório nuclear (o envoltório nuclear forma vesículas que permanecem visíveis durante a mitose).
- As fibras do fuso tomam uma posição mais central.
- Complexos protéicos denominados cinetócoros ficam ligados ao centrômero.
- Há um cinetócoro para cada cromátide.
- As fibras do fuso ligadas ao cinetócoro mantêm uma certa pressão.
- Os cromossomos estão aleatoriamente distribuídos e em movimento.

2 PRÓ-METÁFASE



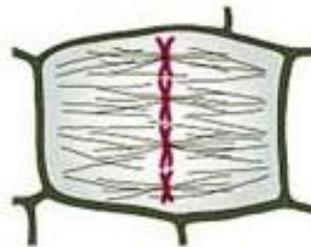
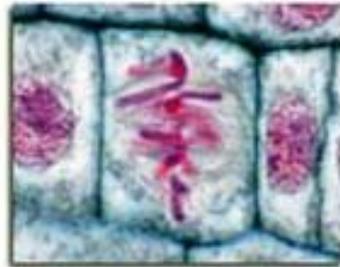
CROMOSSOMOS MOVEM-SE PARA PLACA DA METÁFASE

(Alberts *et al.*, 1997)

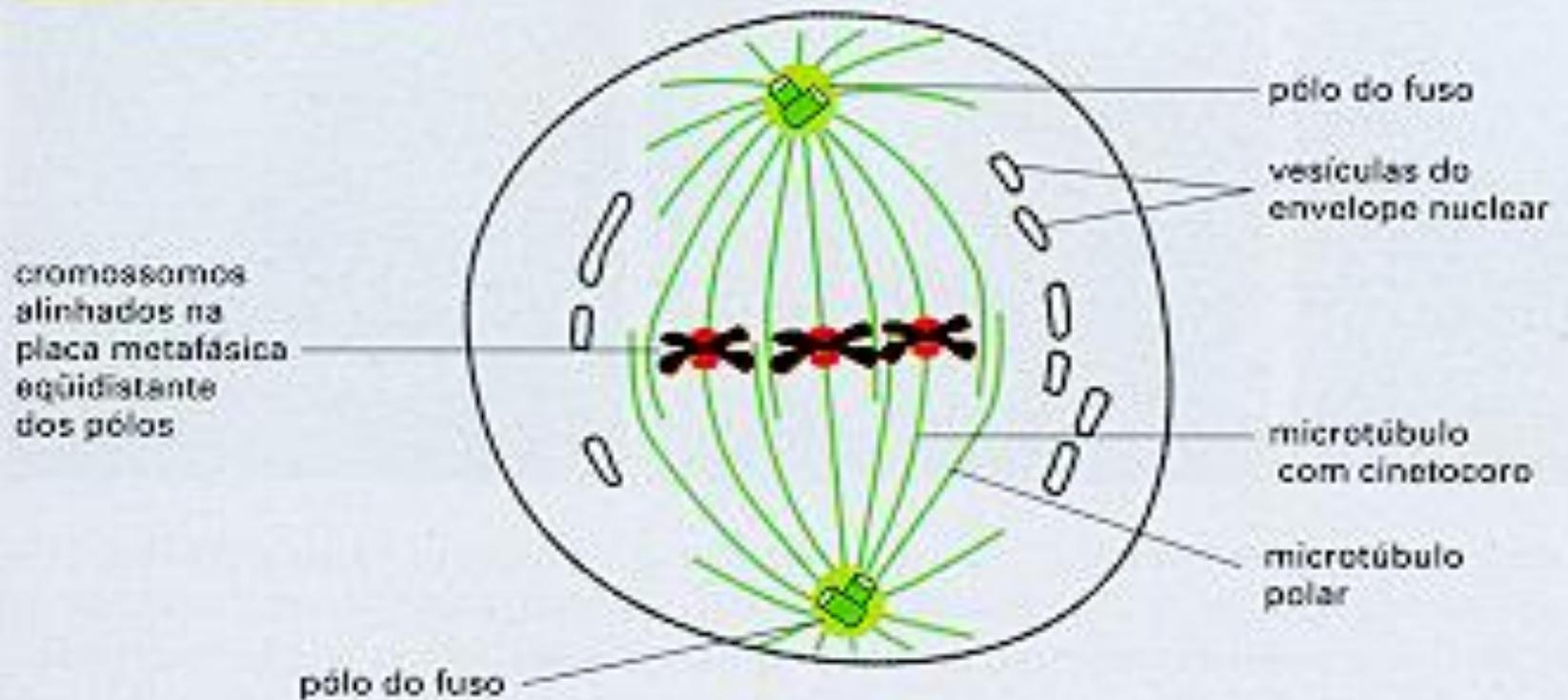


M3: Metáfase

- As fibras do fuso ligadas ao cinetócoro alinham os cromossomos na área central da célula, adotando uma posição radial no plano equatorial (placa equatorial).
- Os cromossomos permanecem na placa, tensionados pelas fibras que estão ligadas aos cinetócoros e aos pólos.



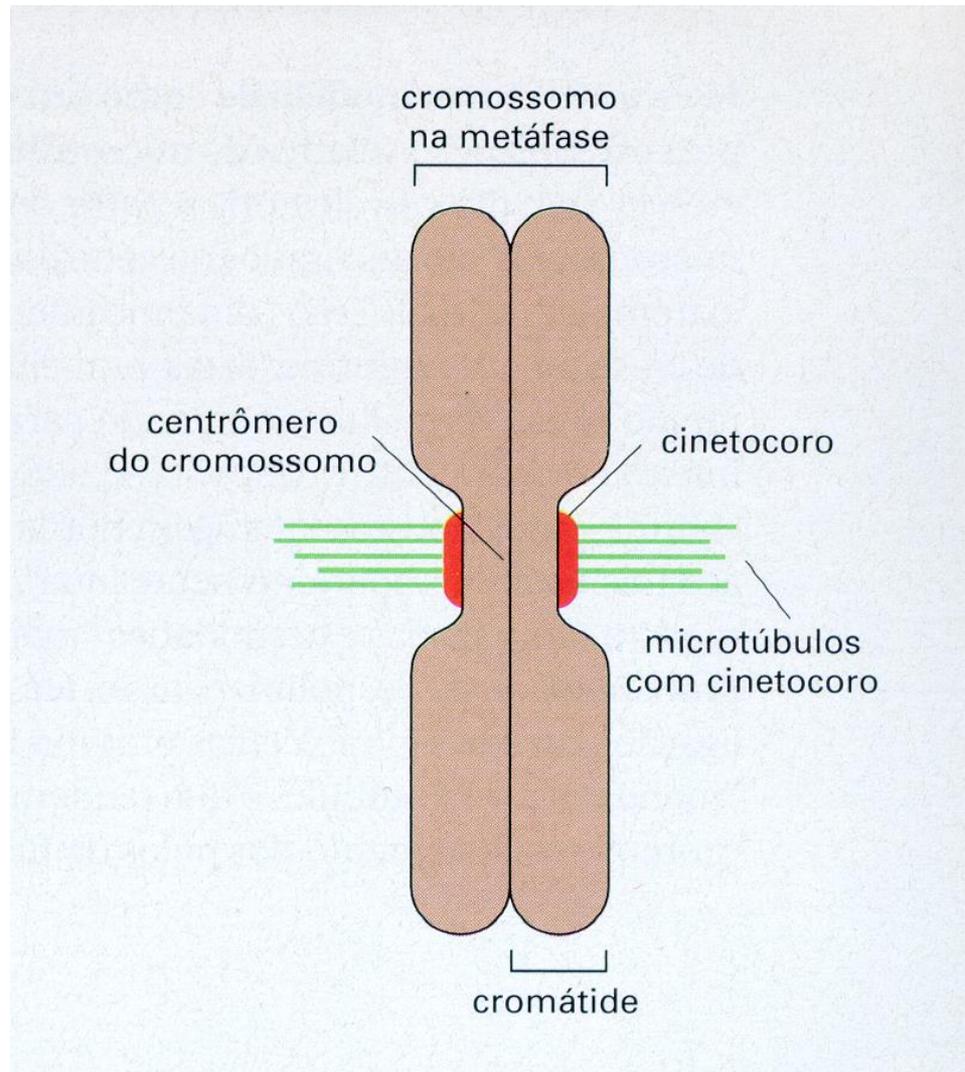
3 METÁFASE



SEPARAÇÃO REPENTINA DOS CINETOCOROS-IRMÃOS INICIA A ANÁFASE

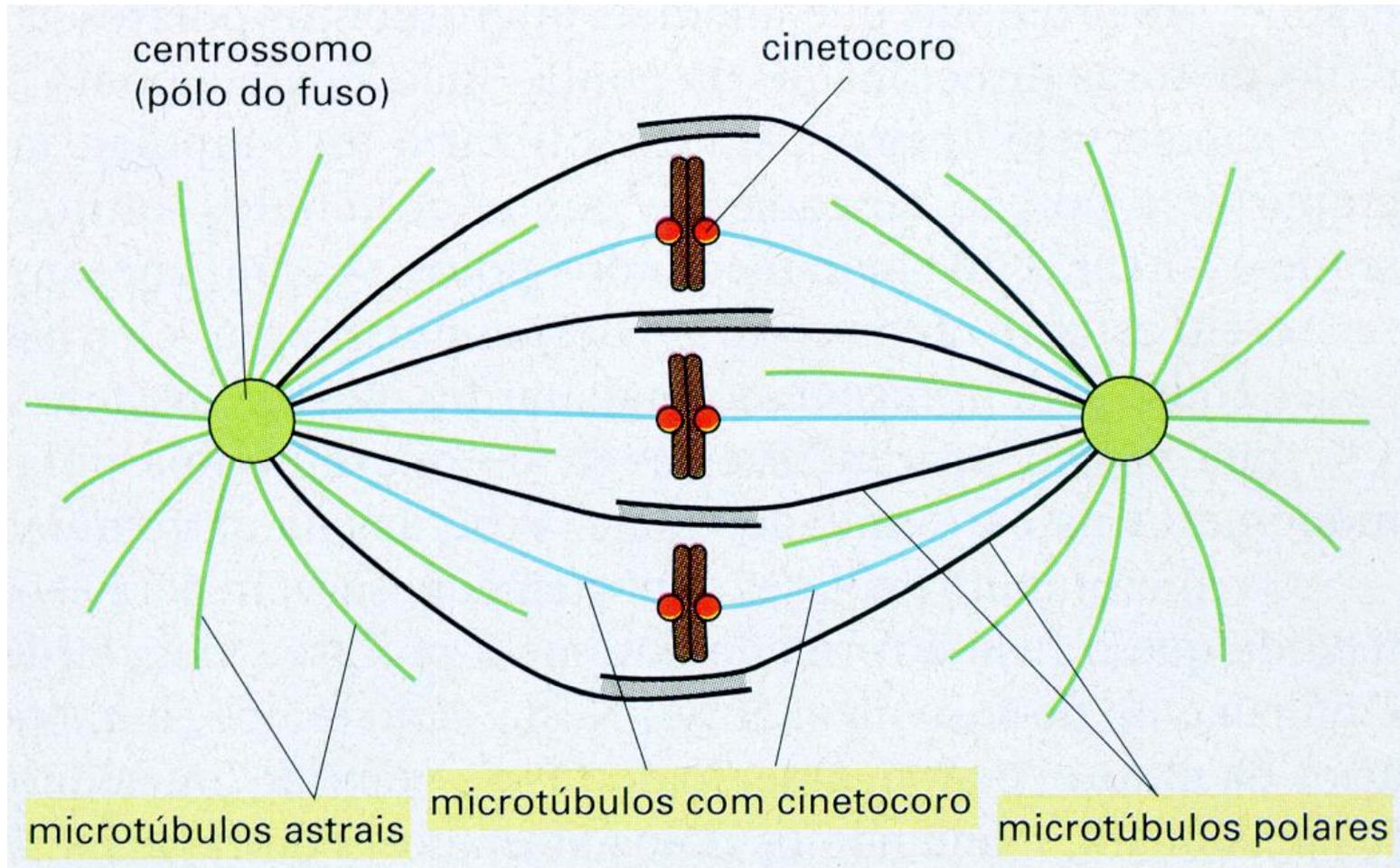
(Alberts *et al.*, 1997)

Microtúbulos com cinetócoros



(Alberts *et al.*, 1997)

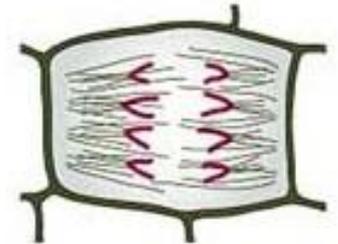
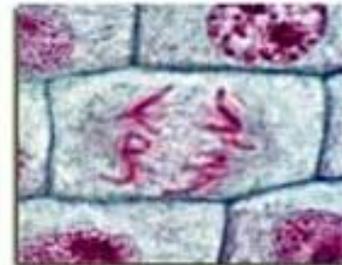
Microtúbulos do fuso mitótico



(Alberts *et al.*, 1997)

M4: Anáfase

- Inicia-se com a degradação da ciclina, o que inativa o MPF e leva a uma separação abrupta dos cinetócoros.
- Permite então que cada cromátide (agora chamada de cromossomo) possa ser puxada devagar para os pólos (segregação cromatídica).
- Neste movimento os cromossomos assumem um formato característico:
 - em V, se metacêntricos;
 - em L, e submetacêntricos.
- A anáfase dura apenas poucos minutos



4 ANÁFASE

cinetacoro com microtúbulos encurtam à medida que a cromátide (cromossomo) é trazida em direção ao pólo

alongamento polar do microtúbulo

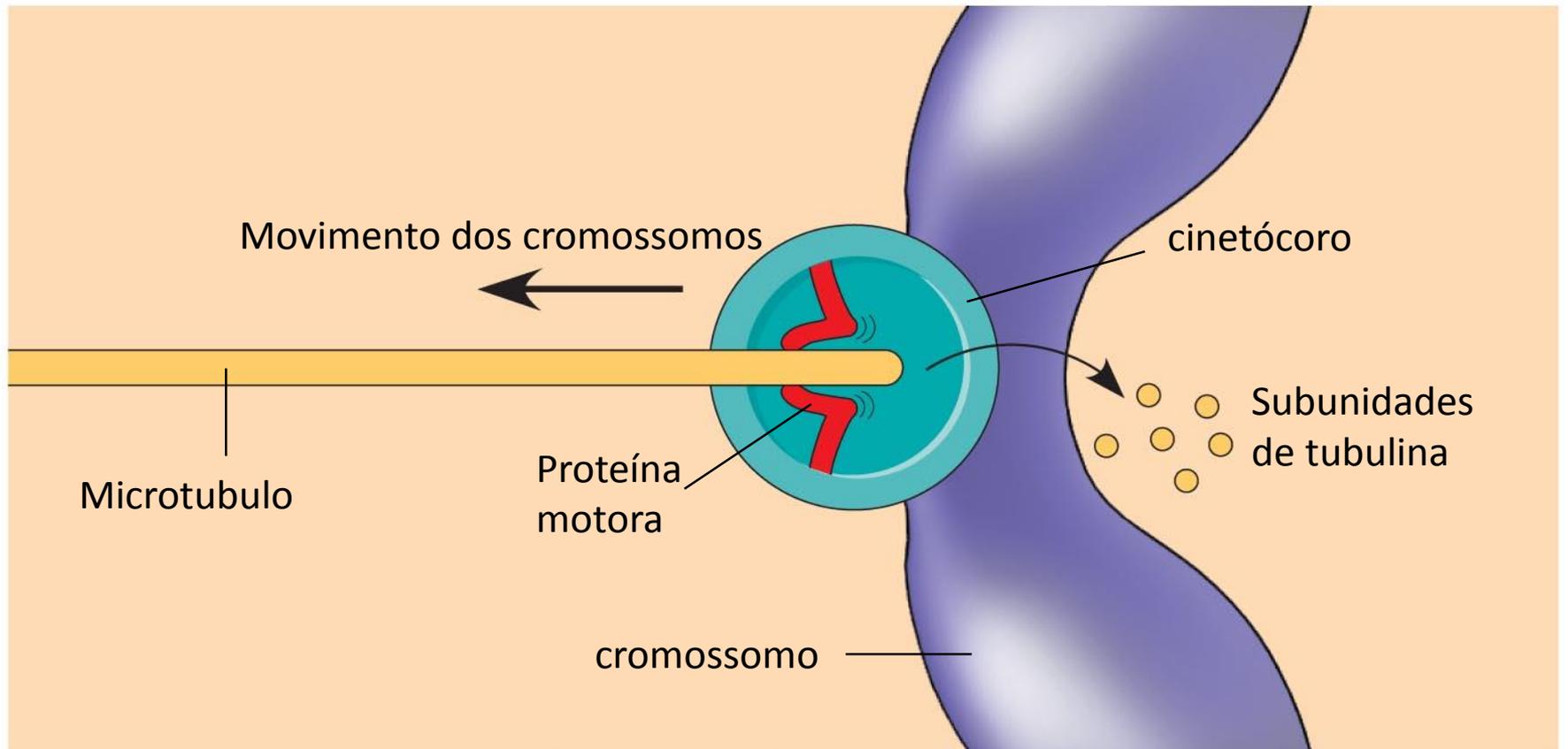
encurtamento do cinetacoro com microtúbulo

microtúbulo astral

aumento progressivo da distância entre os pólos do fuso

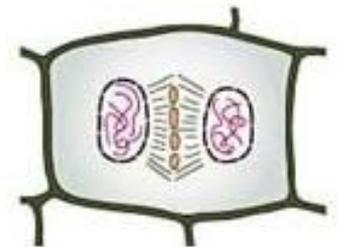
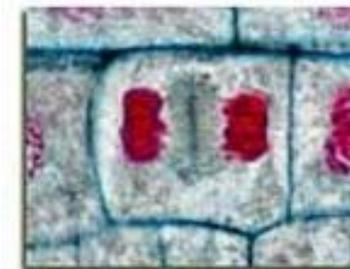
REGENERAÇÃO DO ENVELOPE NUCLEAR

(Alberts *et al.*, 1997)



M5: Telófase

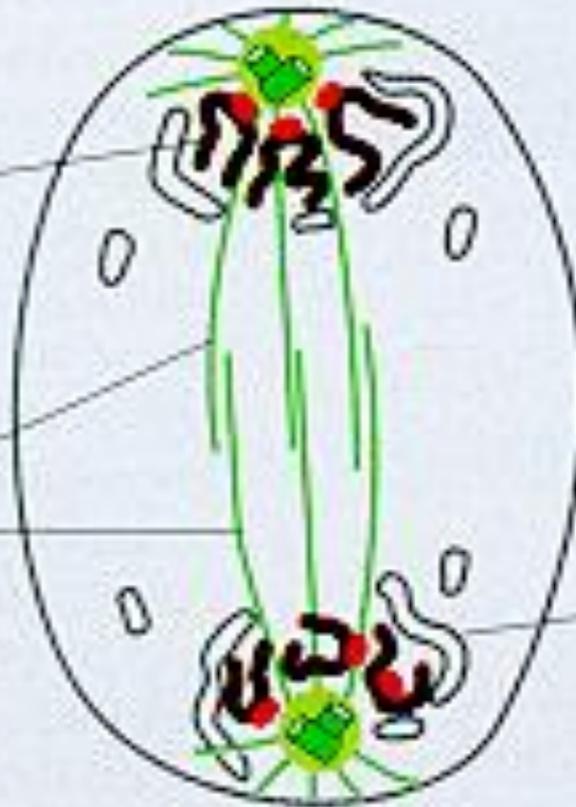
- Os cromossomos chegam aos polos e as fibras ligadas aos cinetócoros desaparecem.
- Os cromossomos descondensam-se e agrupam-se em massas de cromatina que são circundadas por cisternas do RE que se fundem, formando novos envoltórios nucleares.
- O nucléolo que tinha desaparecido na prófase se forma pela intervenção dos RON presentes em cromossomos determinados.
- Quando a telófase está completa, os núcleos filhos entram em interfase.



5 TELÓFASE

expansão das cromossomas
sem microtúbulos
com cinetocoros

microtúbulos polares



regeneração do envelope
nuclear ao redor dos
cromossomos individuais

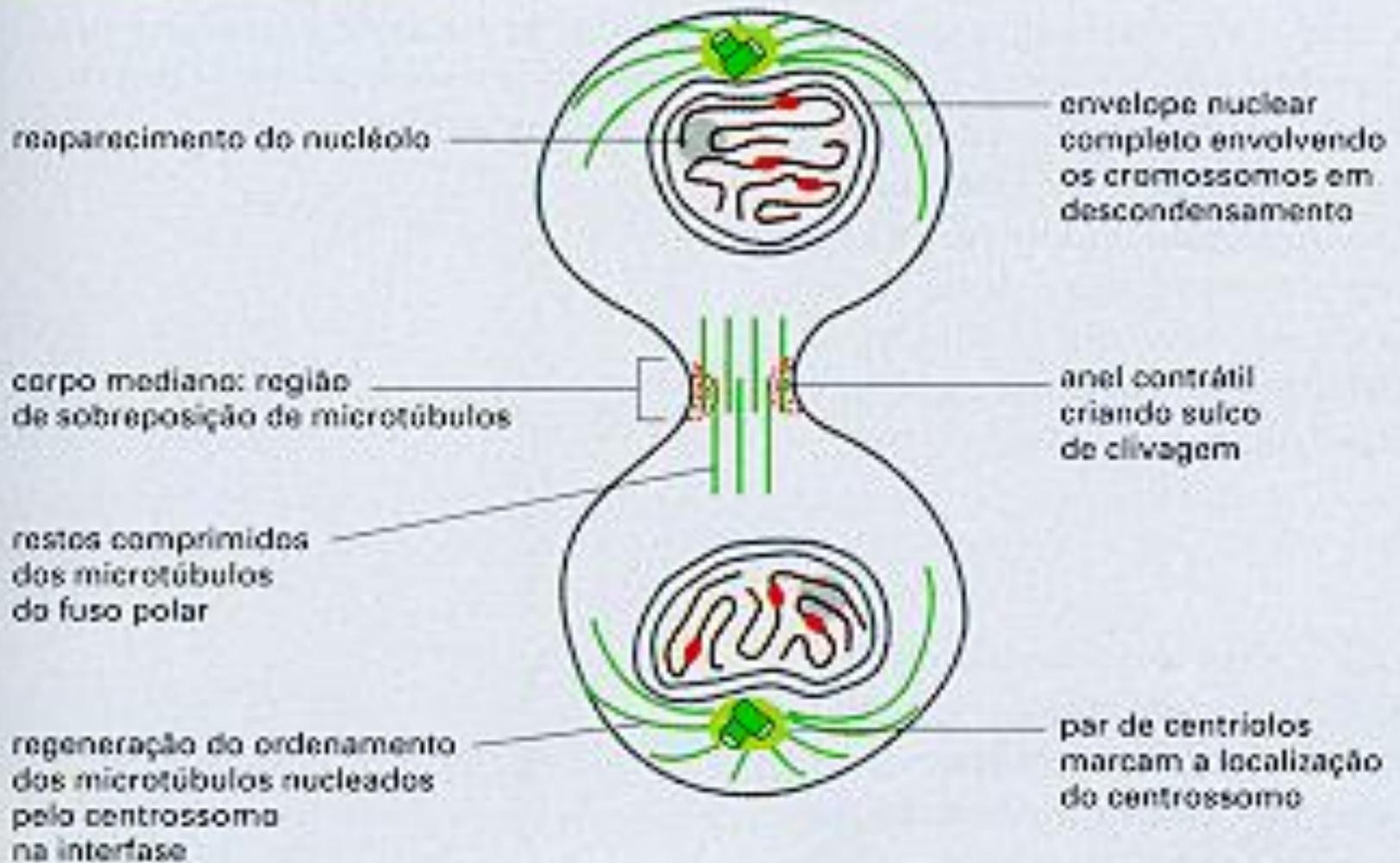
SULCO DE DIVISÃO
DIVIDE A CÉLULA EM DUAS

(Alberts *et al.*, 1997)

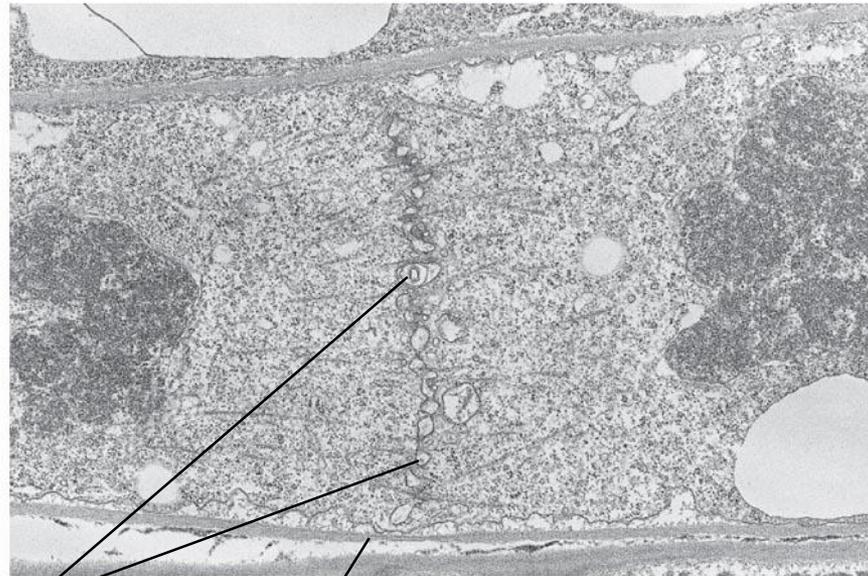
Citocinese

- Ocorre o processo de clivagem e separação do citoplasma, de seus componentes e organelas entre as duas células filhas formadas.
- Em células animais é controlada por anéis contráteis formados de filamentos de actina e miosina entre os poros.
- Em plantas superiores ocorre a construção de uma nova parede celular (ou placa celular).
- Na mitose de células vegetais não existem ásteres nem centríolos (anastral).

6 CITOCINESE



(Alberts *et al.*, 1997)



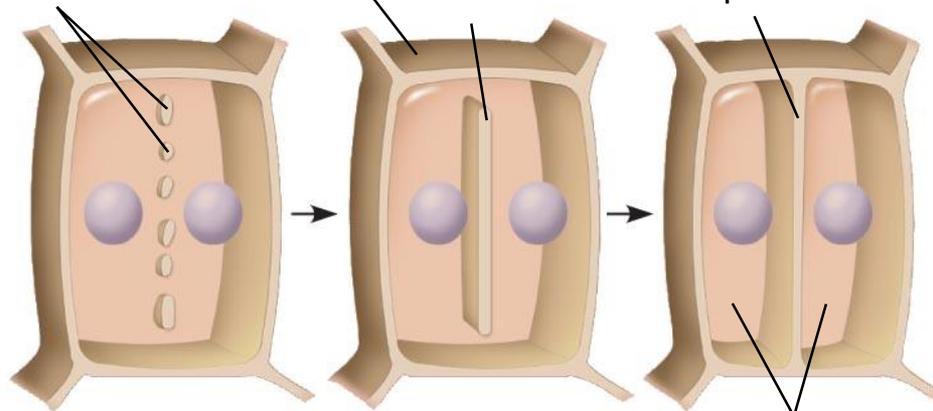
1 μ m

Vesículas formando a placa celular

Parede celular da célula mãe

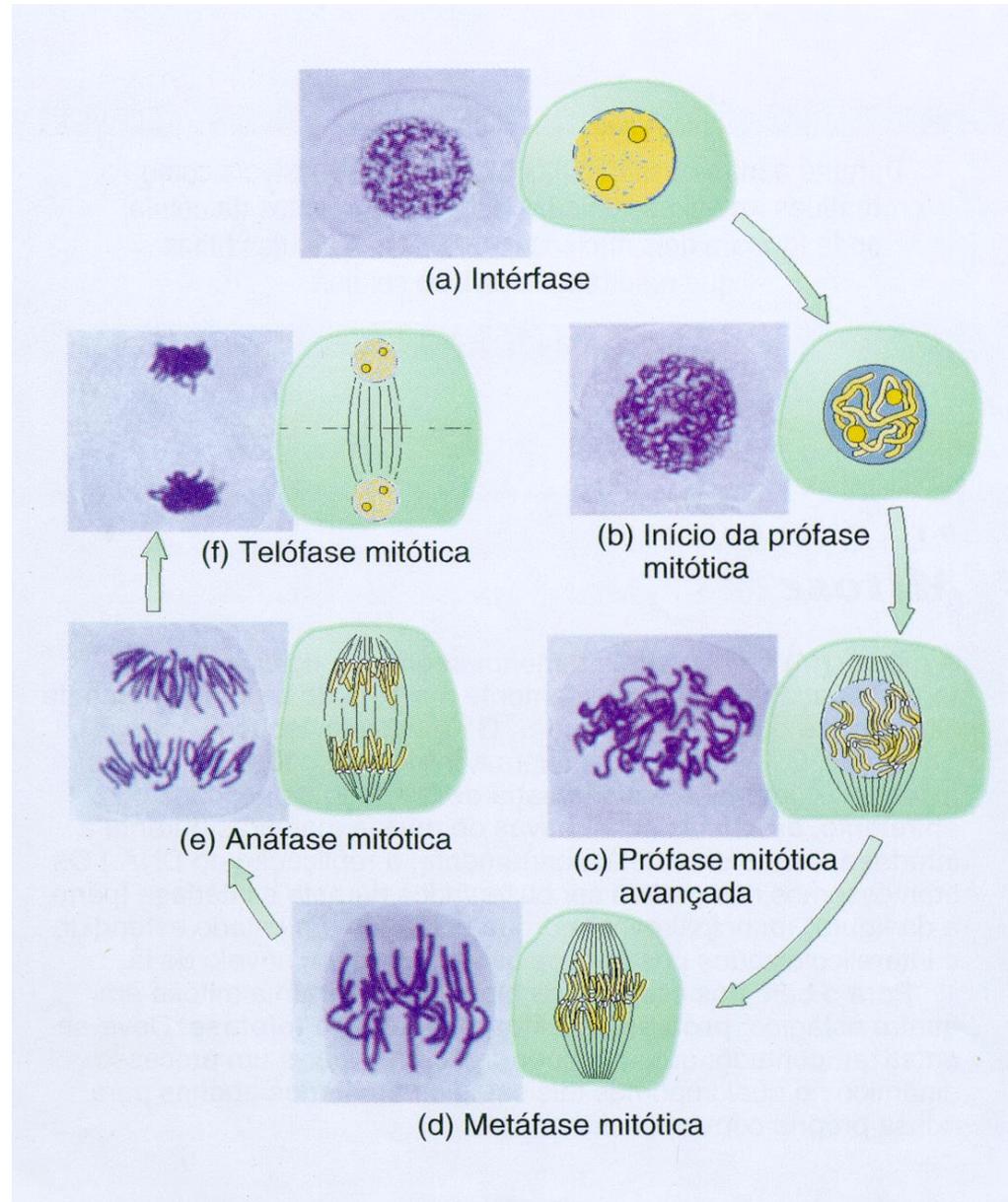
Placa celular

Nova parede celular

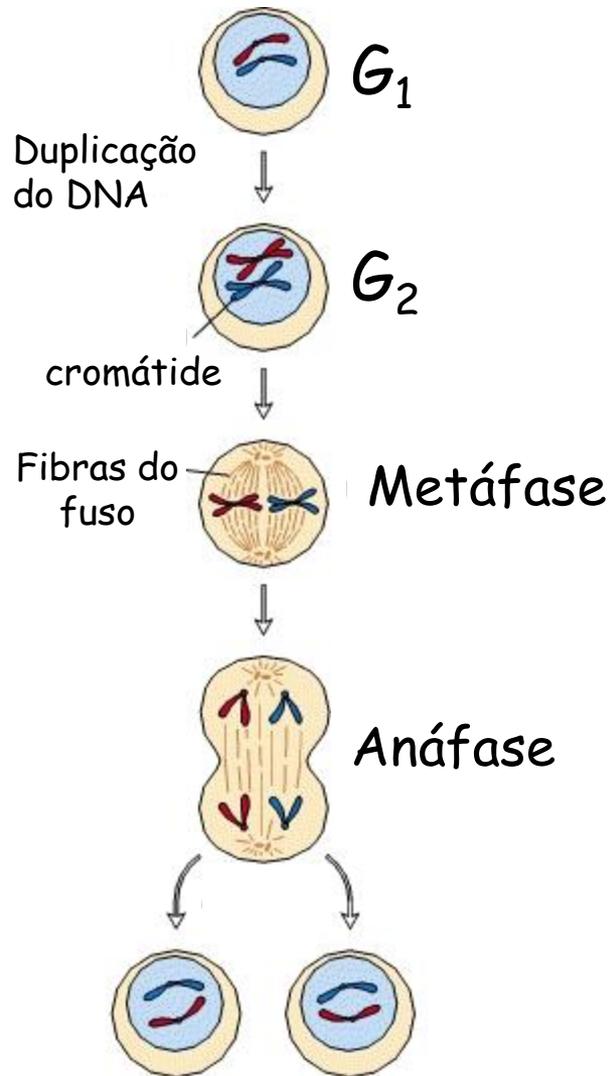


Células filhas

Fases da mitose



(Griffiths *et al.*, 2001)



(Lodish et al., 1999)

Meiose

(Benefício do SEXO!)



Meiose

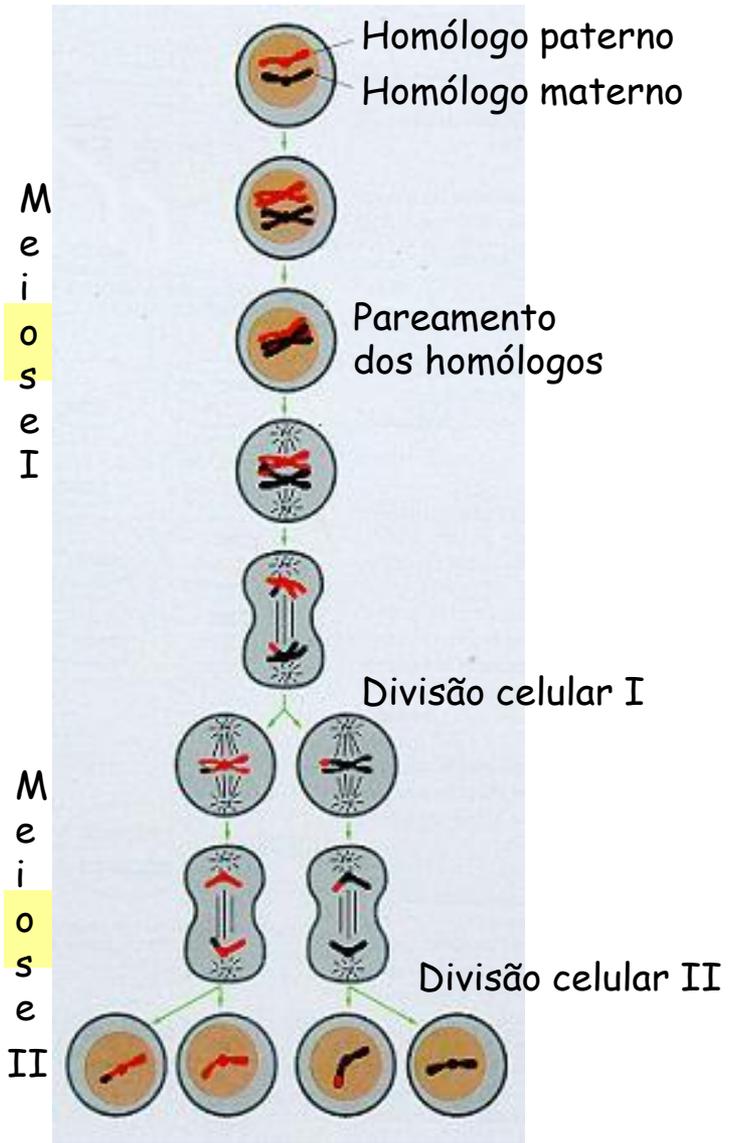
- A Reprodução Sexual envolve uma alteração cíclica de estágios diplóides e haplóides.
- As células diplóides dividem-se por Meiose para formar células haplóides (gametas).
- Não aumenta o número de cromossomos porque a produção dos gametas através da meiose envolve uma diminuição do número de cromossomos;
- Pares de gametas de dois indivíduos fundem-se (fecundação) formando células

Meiose → “A vantagem do SEXO!”

- Nesse processo os genomas são misturados e recombinados produzindo indivíduos com misturas de genes paternos e maternos (da geração anterior).
- Esta capacidade de **Recombinação Genética** pode levar à existência de indivíduos com maior **Variabilidade** e assim a reprodução sexuada vem sendo favorecida pela evolução.
- O núcleo diplóide contém duas versões similares de cada cromossomo autossômico, um do pai e um da mãe. Este par é chamado de **Homólogo**.
- Cada cromossomo é duplicado (pela duplicação do DNA), o que gera duas cópias de cada cromossomo, associadas entre si e denominadas **Cromátides Irmãs**.

- Na divisão celular as cromátides irmãs se alinham na placa equatorial e se separam durante a anáfase para se tornar cromossomos individuais.
- Desta forma, pela mitose, cada célula filha é formada com uma cópia de cada cromossomo do pai e da mãe.
- Na **Formação de Gametas**, pela meiose de células diplóides, cada gameta contém apenas metade do número original de cromossomos.
- Para que isso ocorra, os cromossomos homólogos devem se reconhecer e se parear, contudo, ainda não se sabe claramente como tal reconhecimento ocorre.
- Após a duplicação do DNA, cada cromossomo (duplicado) pareia-se com seu correspondente homólogo, formando um **Bivalente** que contém 4 cromátides.
- Este **Pareamento** permite a **Recombinação Genética** ou seja, a troca de fragmentos entre as cromátides paternas e maternas.

Meiose



M
e
i
o
s
e
I

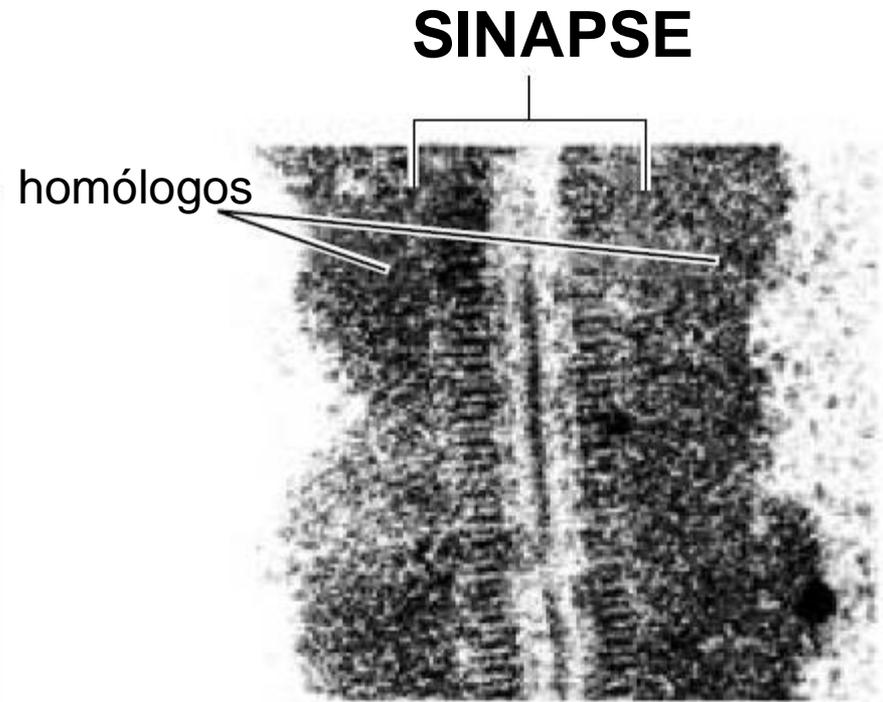
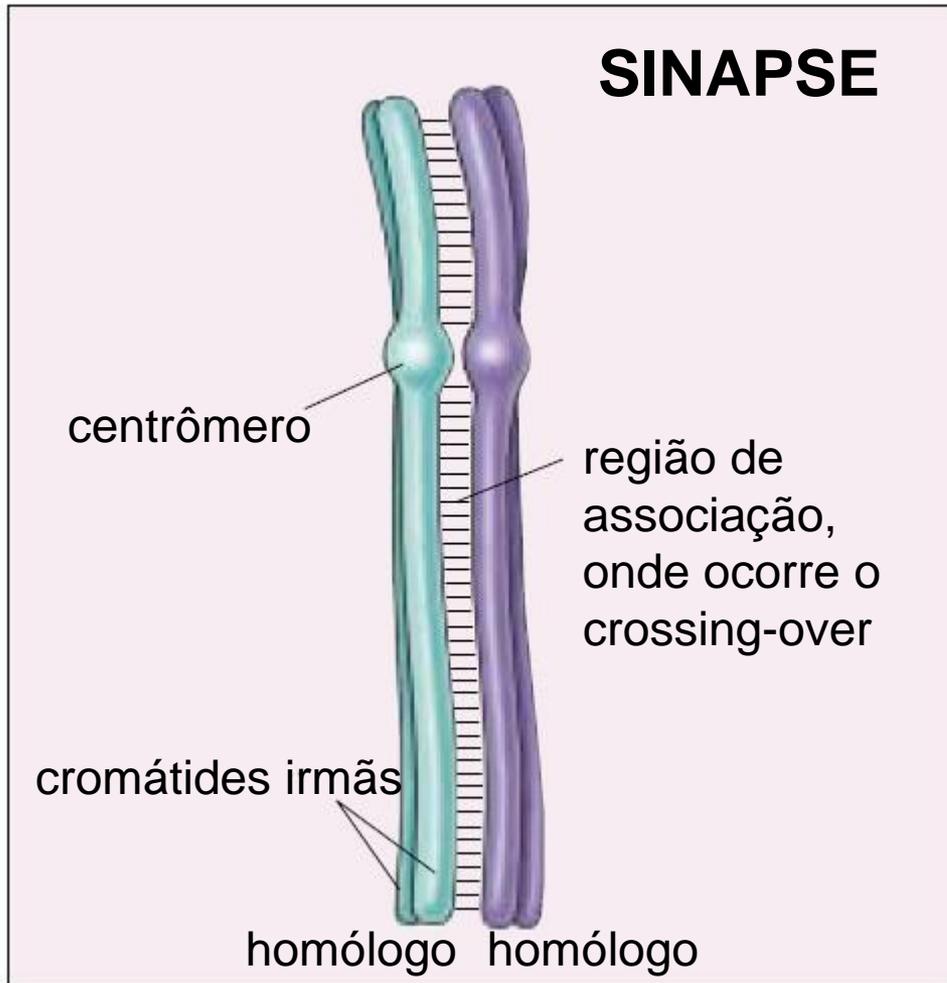
M
e
i
o
s
e
II

Mitose



Cromossomos duplicados alinham-se individualmente no fuso

Complexo sinaptonêmico

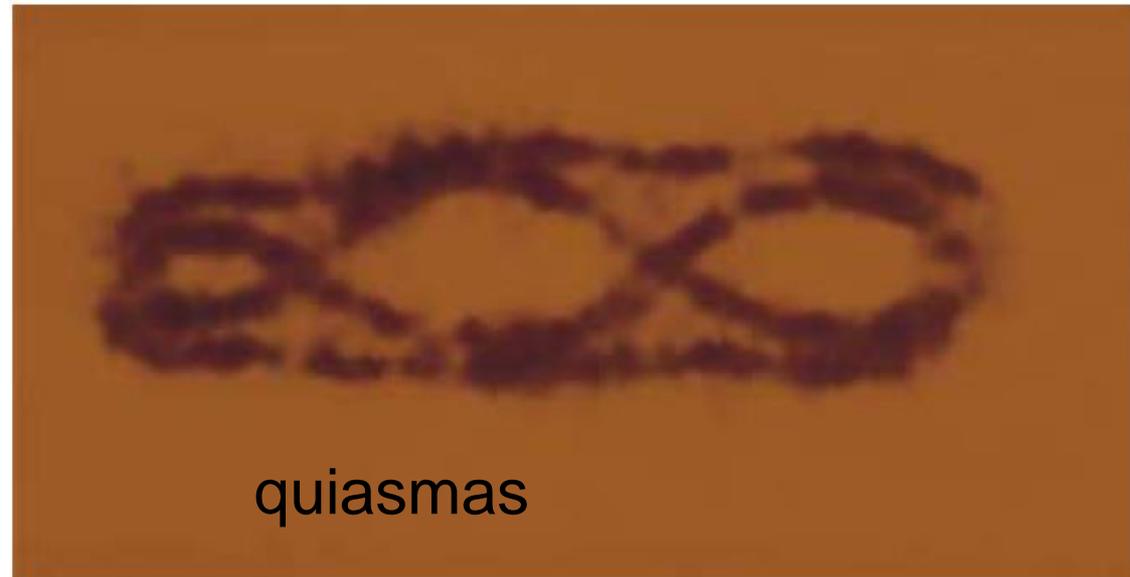
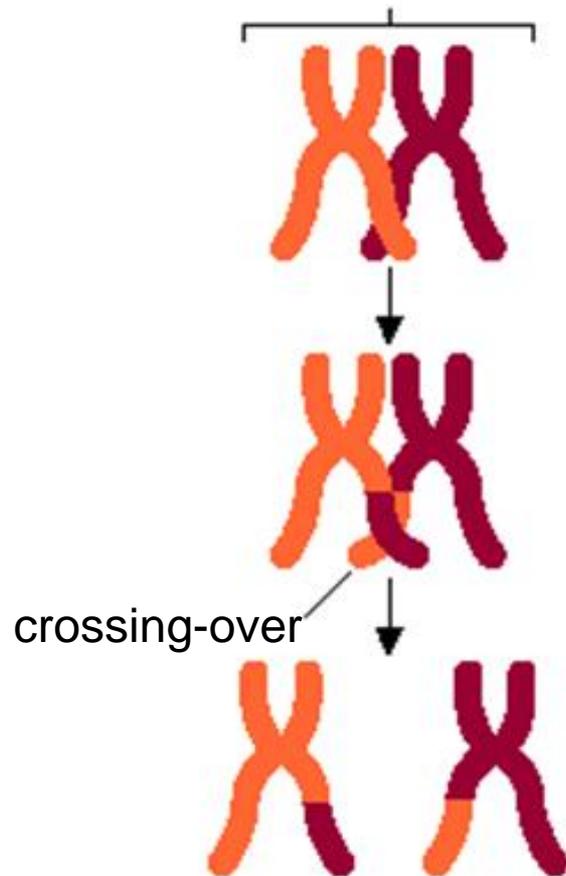


Acontece no início da primeira divisão nuclear, após a replicação os homólogos se pareiam ao longo de toda a sua estrutura;

Troca de material genético entre os homólogos → crossing-over (ocorre na primeira divisão nuclear.

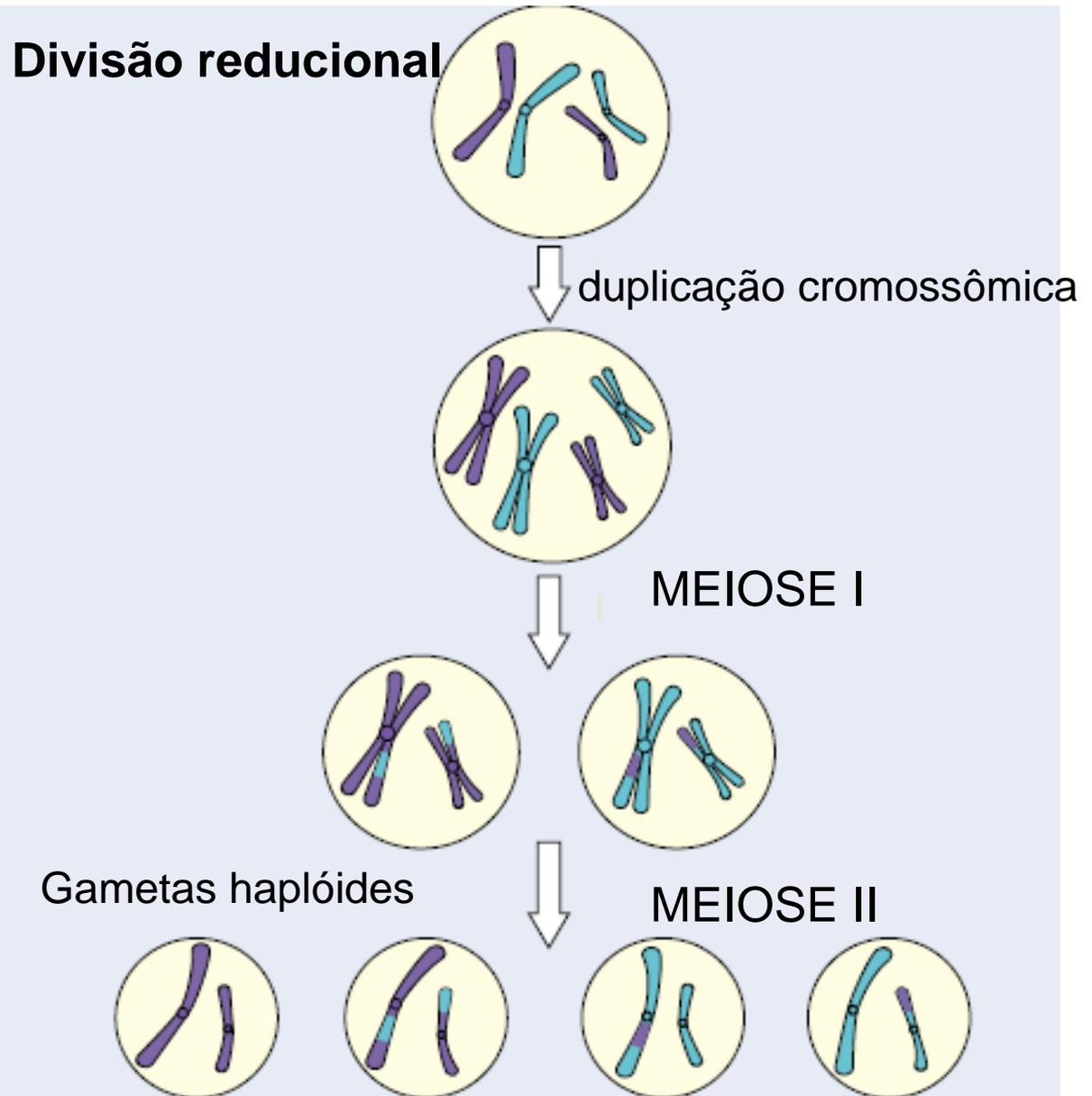
Recombinação homóloga

Pareamento dos cromossomos homólogos



Cromossomos não se replicam antes da segunda divisão meiótica.

Segunda meiose é similar a uma mitose normal, entretanto devido ao crossing over da meiose I as cromátides irmãs na meiose II não são idênticas.



- Os bivalentes alinham-se e na anáfase se separam, deslocando-se duas cromátides para cada pólo.
- As duas cromátides em um pólo são idênticas com exceção das regiões que sofreram recombinação.
- Portanto, o conteúdo de DNA nas células resultantes desta primeira divisão (*meiose I*) é semelhante ao de uma célula diploide, diferindo do normal em uma divisão celular mitótica em dois aspectos:
 1. Ambas as cópias de DNA de cada cromossomo derivam de apenas um dos homólogos (exceção para a região recombinada).
 2. As duas cópias são herdadas na forma de cromátides irmãs, como se fossem um cromossomo simples.

- A segunda divisão (***meiose II***) se segue sem nova duplicação do DNA e nela ocorre, como na mitose, separação das cromátides formando 4 células haplóides.
- O fenômeno de ***Não Disjunção*** leva à formação de células com cópias de cromossomos a mais ou a menos. Ex: Síndrome de Down (3x o cromossomo 21).

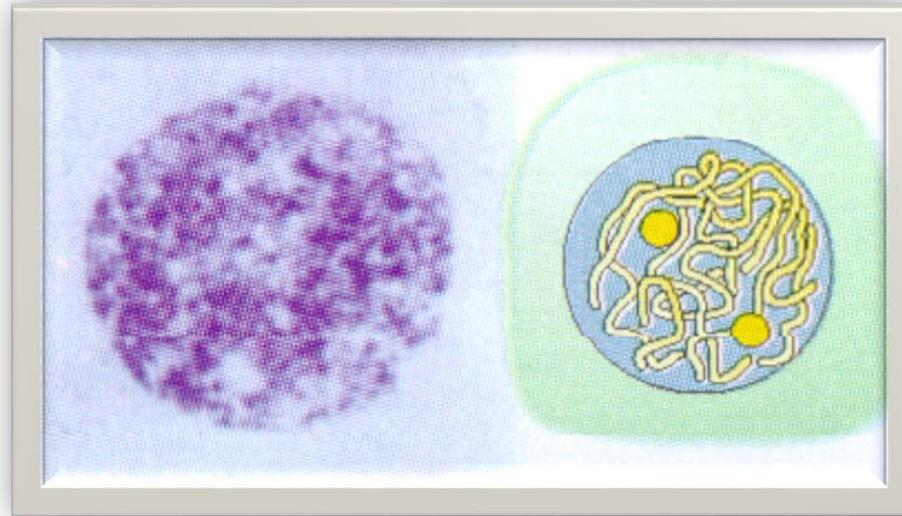
Fases da Meiose

Meiose I

- **Prófase I:**

- **Leptóteno:**

- Cromossomos começam a se condensar.
 - São muito finos com cromômeros (regiões mais condensadas formadas por alças de cromatina que ficam pregueadas).
 - O nucléolo está presente.
 - As cromátides não são visíveis ao microscópio óptico, aparentando haver um filamento único, não duplicado.



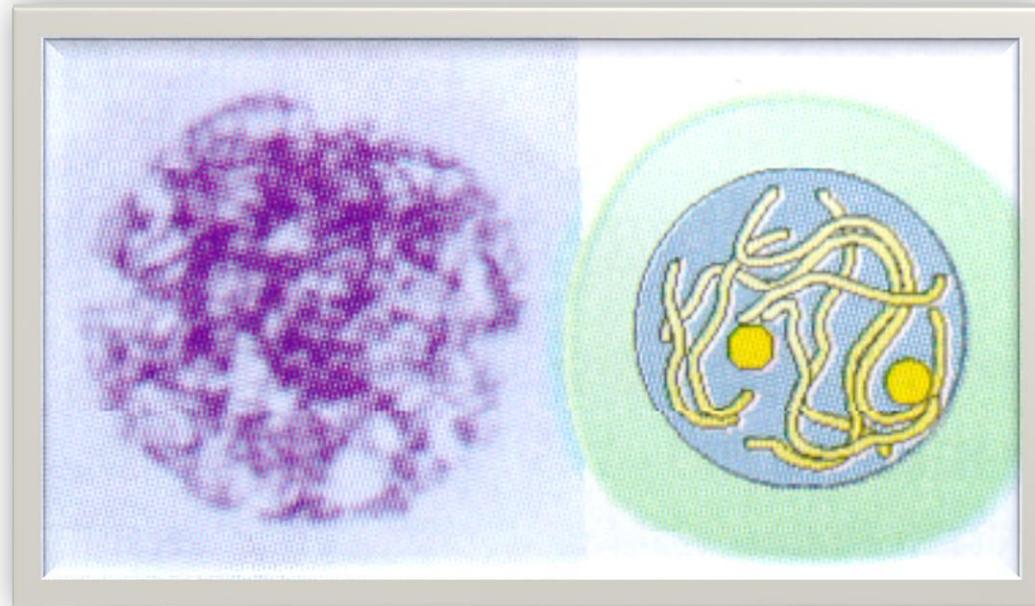
(Griffiths *et al.*, 2001)

Meiose I

- **Prófase I:**

- **Zigóteno:**

- Cromossomos homólogos (mais condensados e mais curtos) começam a se parear.
 - O nucléolo está presente.



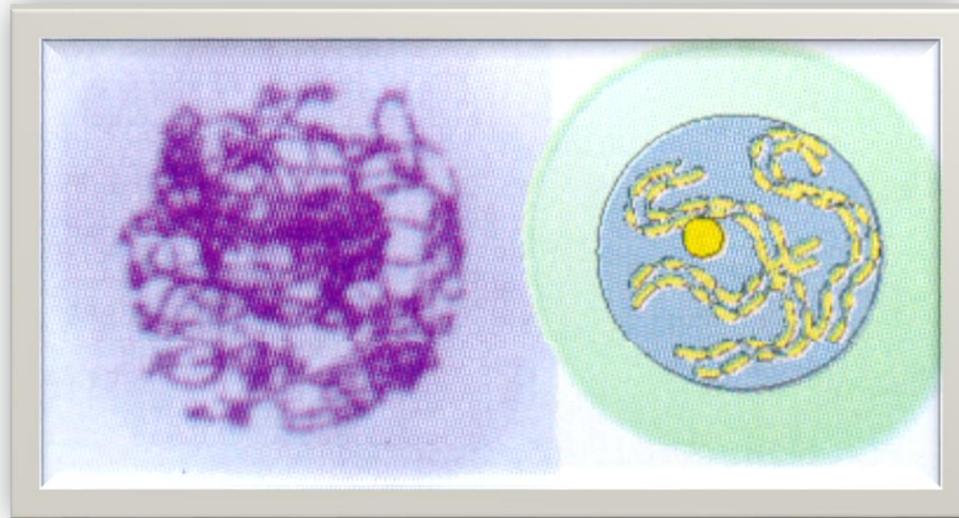
(Griffiths *et al.*, 2001)

Meiose I

- **Prófase I:**

- **Paquíteno:**

- Os cromossomos homólogos estão pareados (formando bivalentes; ex: milho tem 10 bivalentes).
 - Os cromossomos se apresentam mais curtos e grossos, com cromômeros maiores.
 - O nucléolo está presente.
 - Ocorre crossing over (permuta).

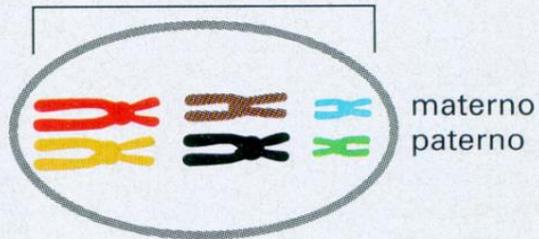


(Griffiths *et al.*, 2001)

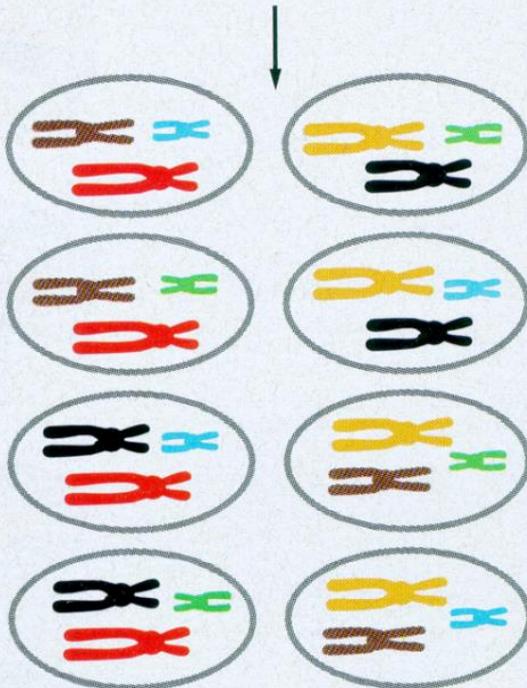
– Crossing-over!

- OBS: entre os cromossomos homólogos forma-se uma estrutura de proteínas chamada de complexo sinaptonêmico (CS) que mantém as cromátides alinhadas permitindo a permuta de partes entre as cromátides de cromossomos homólogos, ou seja, o crossing over.
- No crossing over ou permuta, ocorrem quebras em regiões correspondentes em cromossomos homólogos, viabilizadas por enzimas.
- A ligação física no crossing over é constituída pelos quiasmas (expressão citológica do crossing over) os quais podem ser observados até a anáfase I.

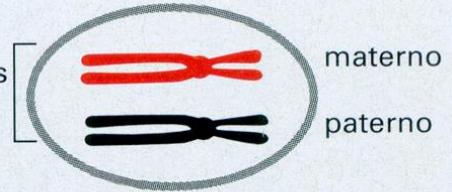
três pares de cromossomos homólogos



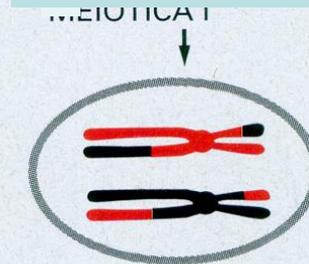
REAGRUPAMENTO INDEPENDENTE DOS HOMÓLOGOS MATERNO E PATERNO DURANTE A DIVISÃO



cromossomos homólogos



permuta



(Alberts *et al.*, 1997)

Meiose I

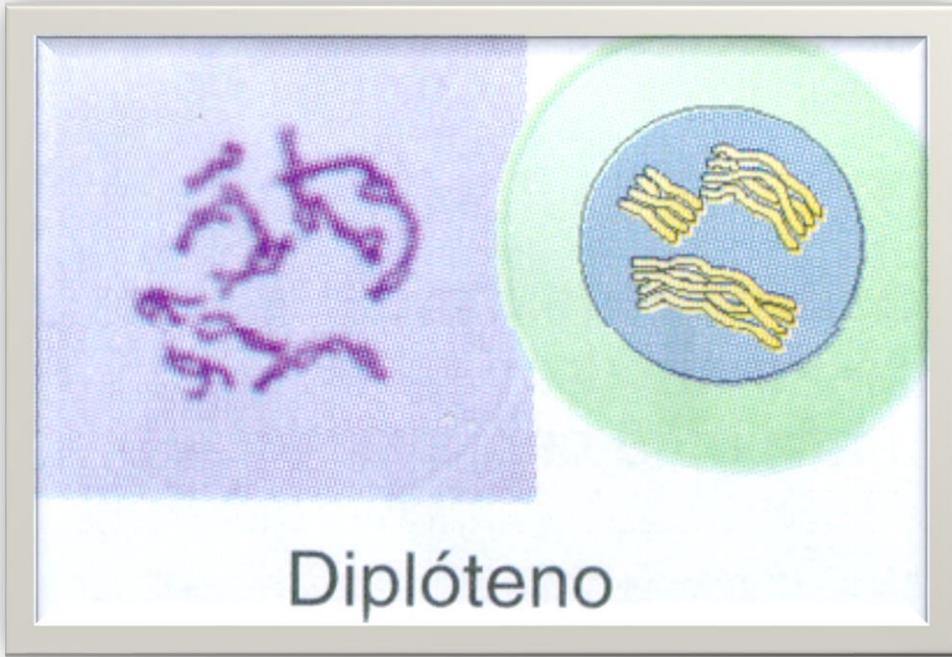
- **Prófase I:**

- **Diplóteno:**

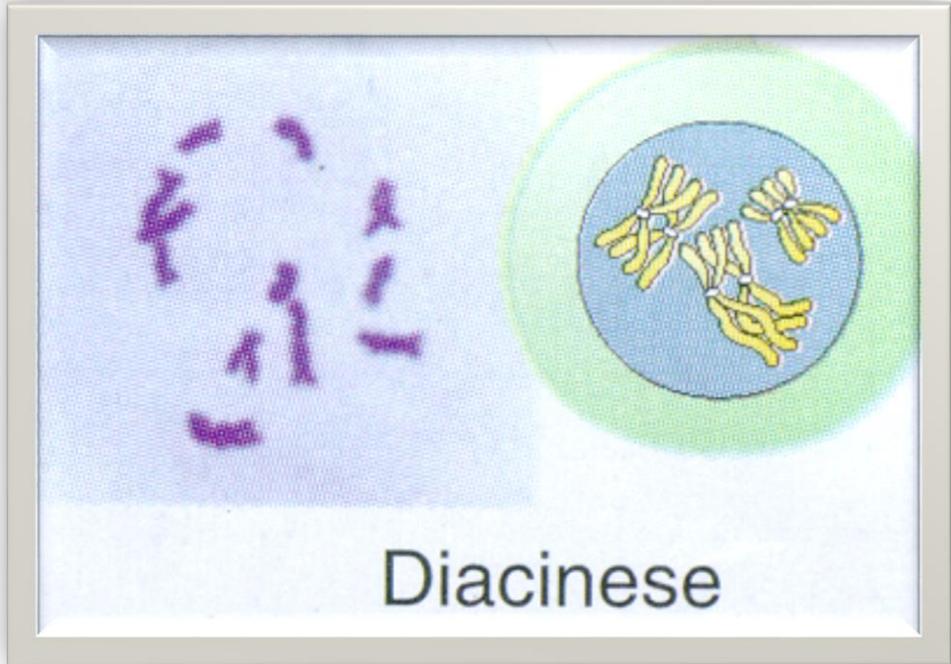
- Os cromossomos apresentam-se mais condensados e os cromômeros não são visíveis.
 - Cromossomos homólogos afastam-se, mas ainda permanecem presos por meio dos quiasmas.
 - O nucléolo está presente.

- **Diacinese:**

- Os quiasmas "deslizam" para as extremidades dos bivalentes (terminalização dos quiasmas).
 - Os cromossomos condensam-se mais e ficam mais curtos.
 - O nucléolo desaparece no fim desta fase.



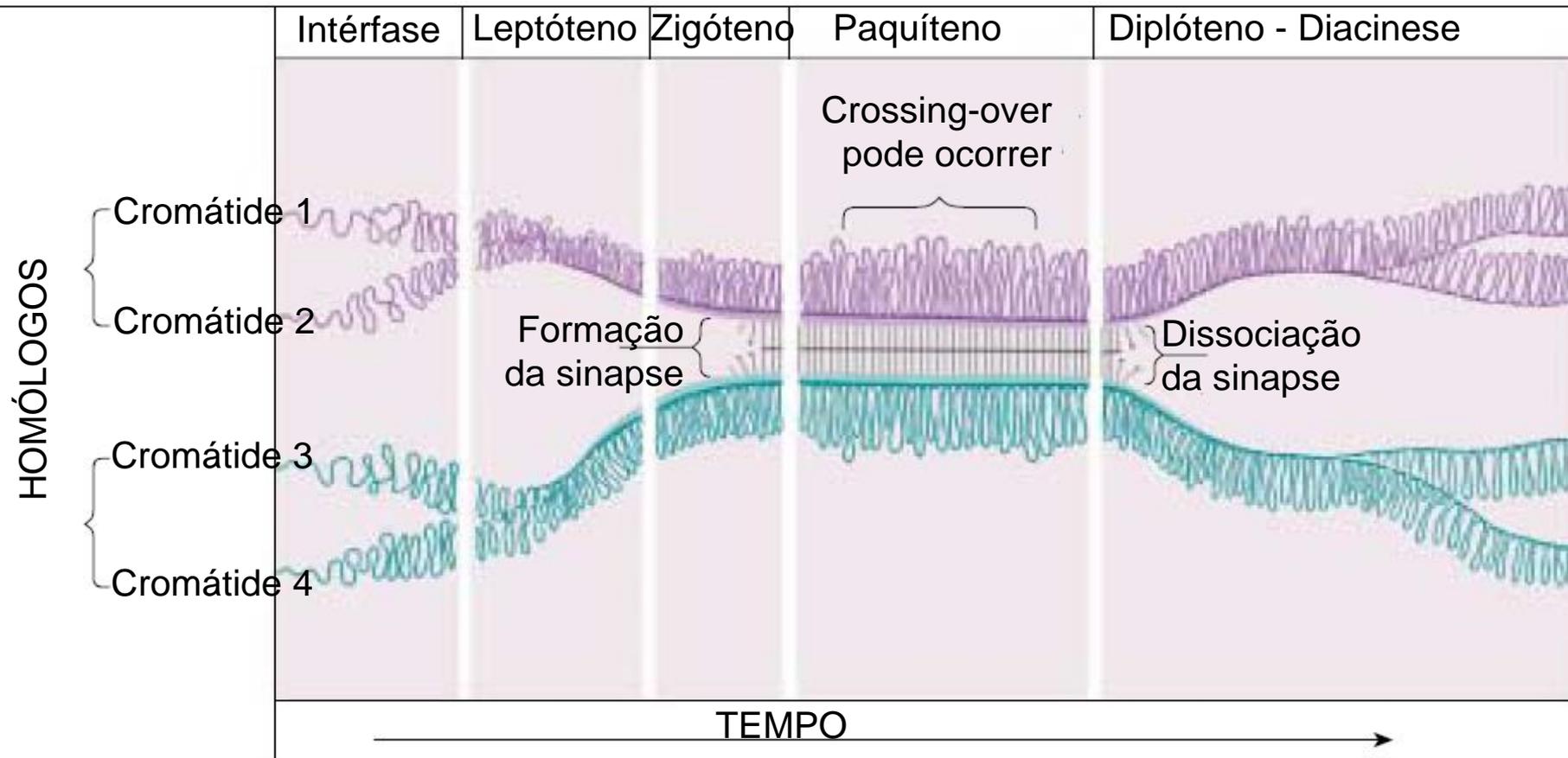
Diplóteno



Diacinese

Meiose I

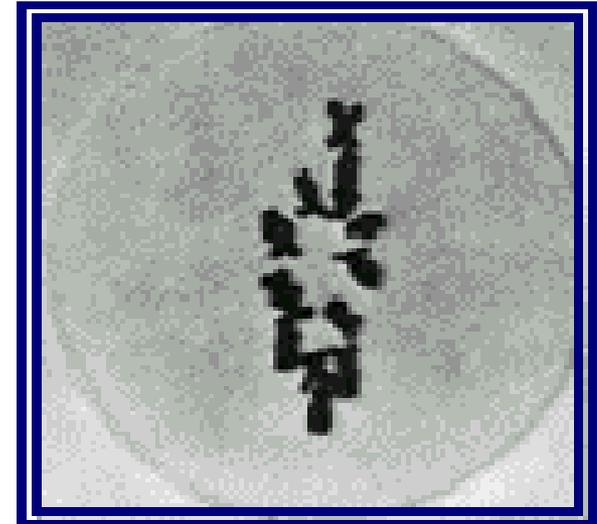
•Prófase I



(Alberts et al., 1997)

Meiose I

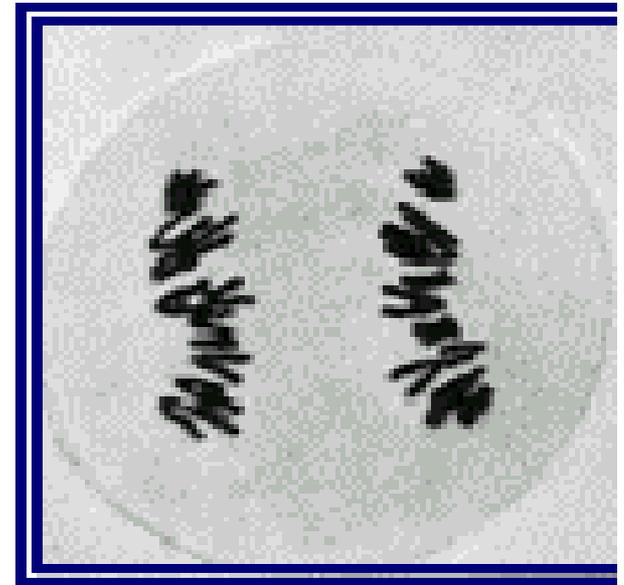
- **Prometáfase I:**
 - O envoltório nuclear se desorganiza.
 - O fuso ocupa posição central na célula.
- **Metáfase I:**
 - As 2 cromátides irmãs comportam-se como uma unidade (ligadas pelos quiasmas).
 - Alinhamento dos cromossomos no equador da célula na placa equatorial.



Meiose I

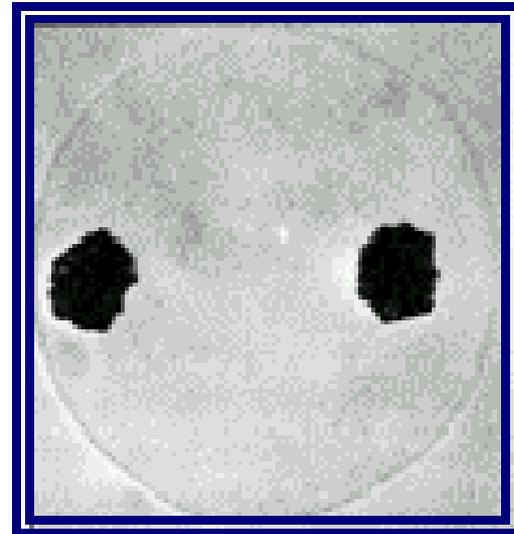
- **Anáfase I**

- Migração de cada cromossomo homólogo, com as suas duas cromátides unidas pelo centrômero, para um polo da célula.
- Não há divisão dos centrômeros.
- Em cada polo são observados n cromossomos duplicados.
- Ocasionalmente podem ocorrer fenômenos de não disjunção cromossômica (Ex. Síndrome de Down nos humanos (Trissomia 21)).



Meiose I

- **Telófase I:**
 - Forma-se o envoltório e os cromossomos se descondensam um pouco.
 - Em animais há separação das células.
- **Citocinese:**
 - Divisão do citoplasma.

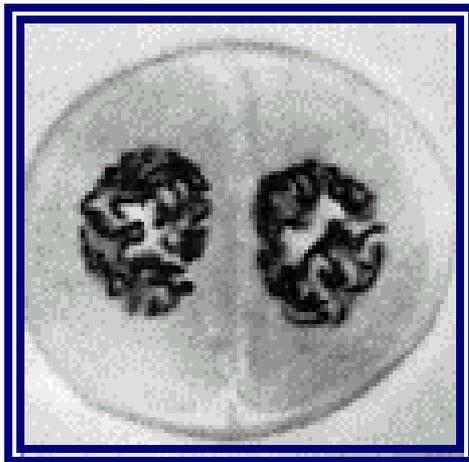


Meiose II

Esta segunda divisão é praticamente um Mitose

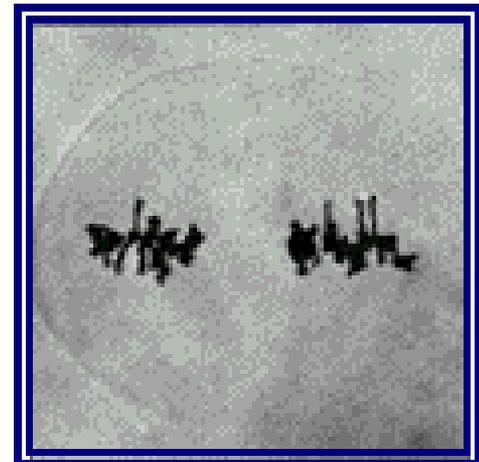
- **Prófase II:**

- Fase muito curta.
- Os cromossomos se condensam e observa-se apenas n cromossomos com cromátides irmãs.



- **Metáfase II**

- Alinhamento dos cromossomos no equador da célula/ placa equatorial.



Meiose II

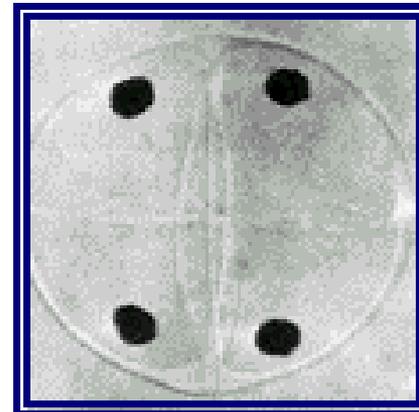
- **Anáfase II:**

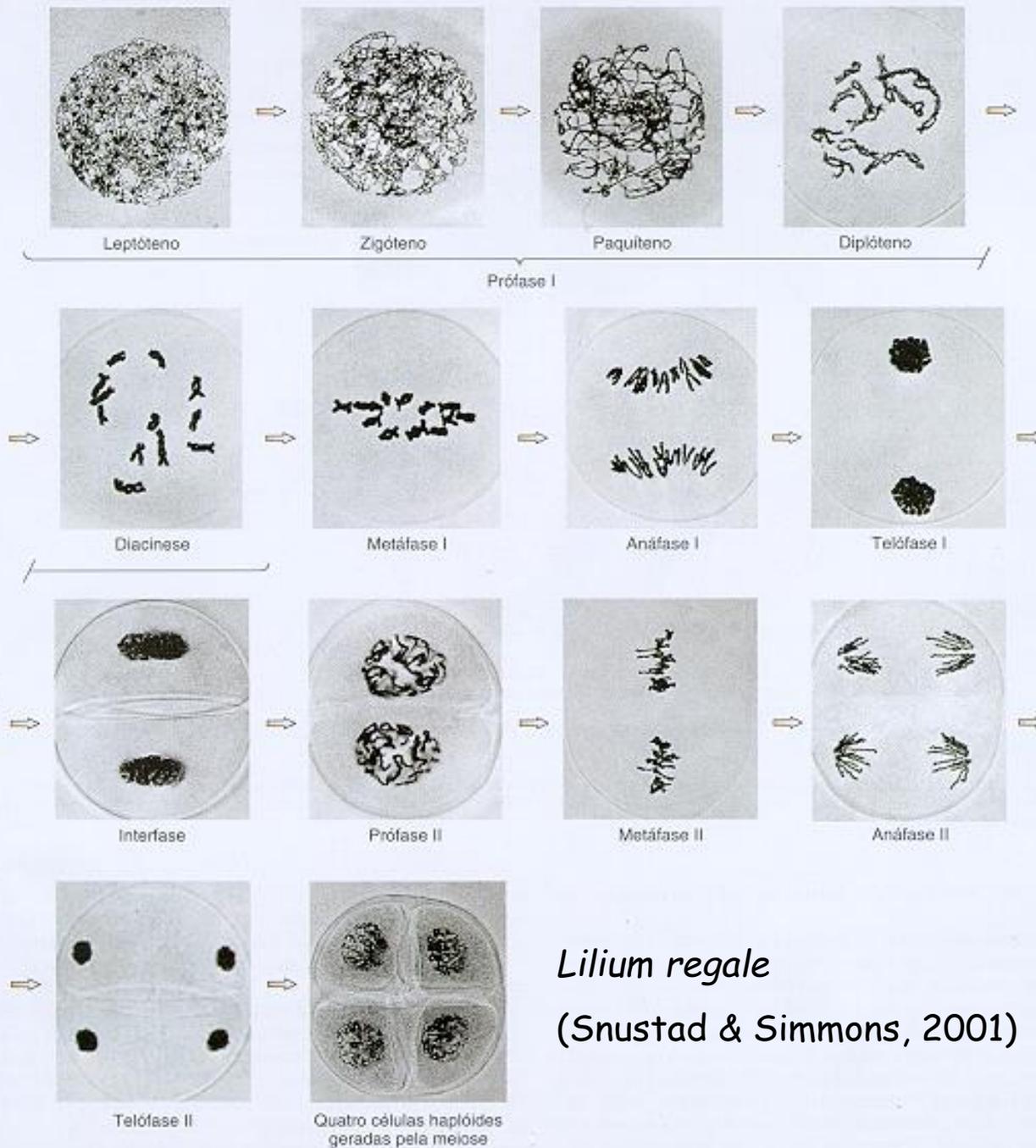
- Divisão do centrômero.
- As cromátides irmãs migram e se separam.



- **Telófase II**

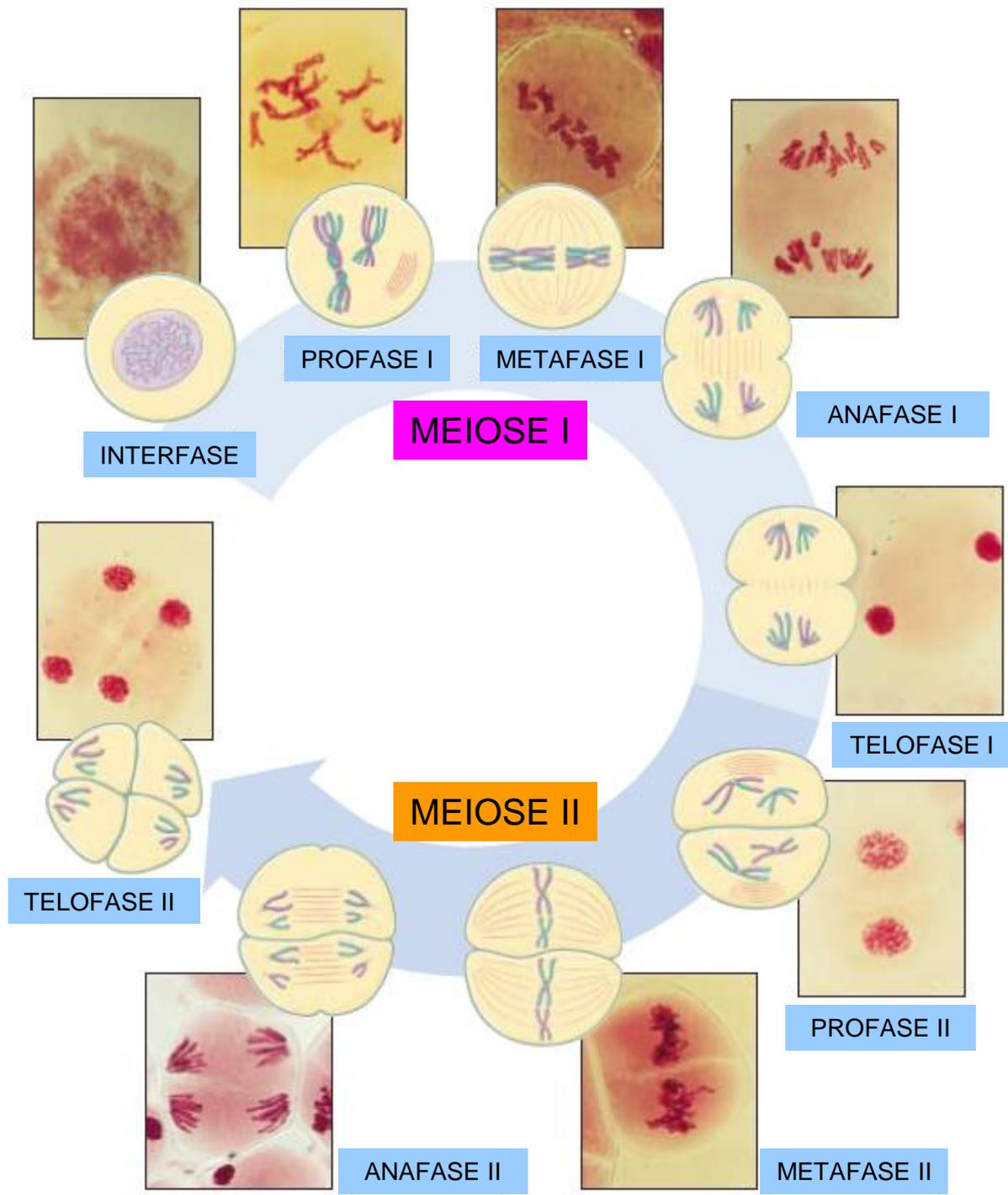
- Ao chegar aos pólos da célula, cada grupo de cromossomos é envolvido pela membrana nuclear.
- A cromatina descondensa e o fuso desaparece.
- Ao final da Meiose II temos 4 células haplóides (gametas após o processo da gametogênese).





Lilium regale

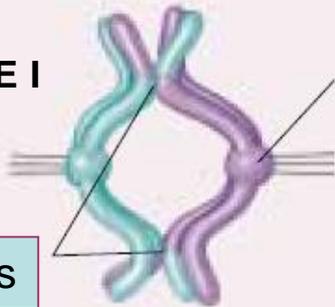
(Snustad & Simmons, 2001)



MEIOSE I

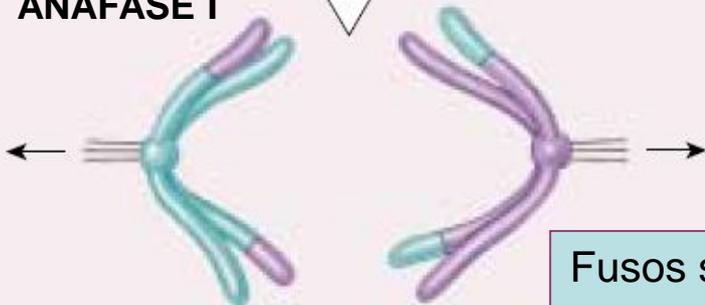
METAFASE I

quiasmas



Cinetócoros das cromátides irmãs se fundem e funcionam como uma unidade

ANÁFASE I

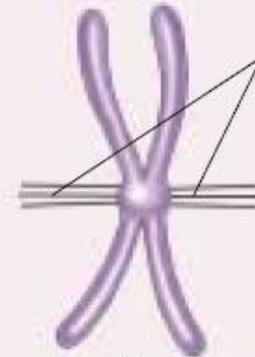


Fusos separam cromossomos homólogos

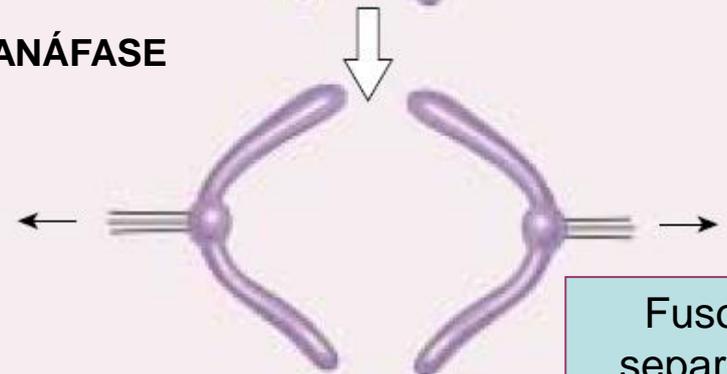
MITOSE/MEIOSE II

METAFASE

Cinetócoros das cromátides irmãs permanecem separados



ANÁFASE



Fusos separam cromátides irmãs

Estudo dirigido

- Defina ciclo-celular e caracterize-o.
- O que é interfase? Quais são suas fases?
- Qual a finalidade de ocorrência da meiose e da mitose para os organismos?
- Descreva e esquematize cada fase da mitose.
- Crossing Over:
 - qual a importância desse evento para a variabilidade genética?
 - em que fase da divisão celular ocorre?