

**Universidade Estadual do Rio Grande do Sul**  
**Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental**  
**Biologia Aplicada**  
**Aula 6**

Professor Antônio Ruas

- 1. Créditos: 60**
- 2. Carga horária semanal: 4**
- 3. Semestre: 1º**
- 4. Assuntos:**
  - Assunto: Divisão celular. Mitose e meiose II.**
  - Exercício: Gametogênese nos seres humanos.**

- **1. Introdução: DIFERENÇAS FUNDAMENTAIS ENTRE MITOSE E MEIOSE:**
- **Na mitose, a divisão é equacional, por que mantém o número de cromossomos da célula e a célula filha é igual a célula mãe.**
- **Neste caso, uma célula  $2n$  dá origem à duas células  $2n$ . Ocorre em todas as células somáticas do corpo (células somáticas são as que não formam gametas).**
- **Uma diferença importante é que na mitose, não há permutação de genes entre cromossomos homólogos ou pares, chamada de crossing-over.**

- **1. Introdução: DIFERENÇAS FUNDAMENTAIS ENTRE MITOSE E MEIOSE:**
- **A meiose, é uma divisão reducional, por que há uma redução no número de cromossomos das células filhas ao final do processo. A célula filha é diferente da célula mãe.**
- **Neste caso, de uma célula  $2n$  formam-se 4 células  $n$ . Ocorrem também fenômenos de permutação entre os cromossomos homólogos e posterior separação. A meiose ocorre apenas nas células germinativas, originárias dos gametas, como espermatídes e ovogônias que dão origem a espermatozóides e óvulos.**

## •2. Meiose e Reprodução Sexual

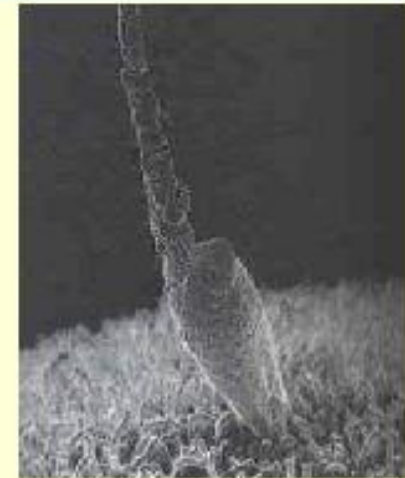
- A reprodução sexual envolve alternância cíclica de estados diplóides e haplóides. As células diplóides dividem-se por meiose para formar células haplóides, e as células haplóides de dois indivíduos fundem-se em pares na fertilização para formar novas células diplóides.
- No processo, os genomas resultantes são diversos, porque foram misturados na formação dos gametas e recombinados com relação à geração parental na fecundação, produzindo indivíduos com uma nova coleção de genes.
- As células somáticas dos animais e plantas superiores são diplóides ( $2n$ ), sendo os gametas haplóides ( $n$ ). Nos protistas ocorrem espécies diplóides ou pode haver fases haplóide e diplóide distintas ligadas à reprodução sexual. Nos vegetais inferiores e fungos há fases haplóide e diplóide em alternância de gerações.

# Porque as células se dividem? Pense na célula ovo.

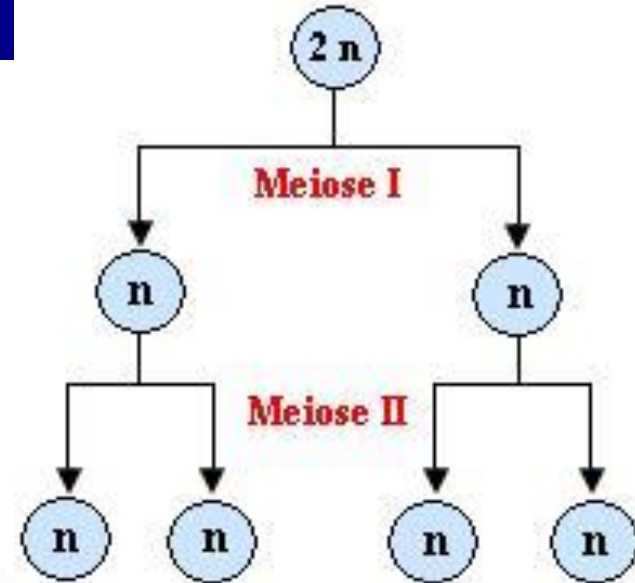
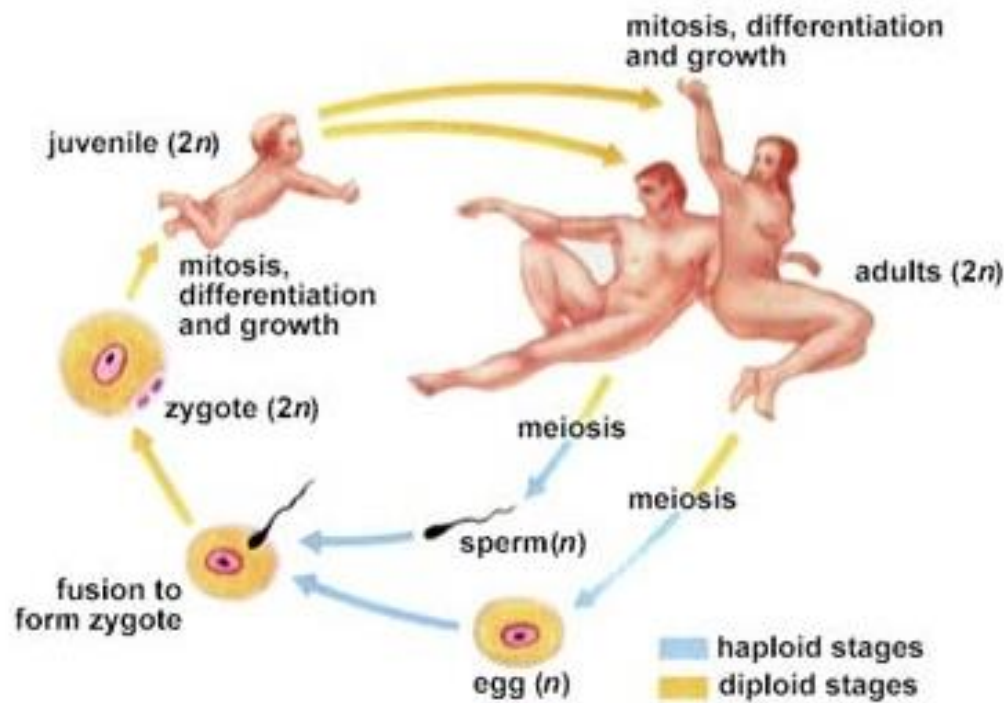
*Tudo começou com...*



espermatozóides tentando fecundar um óvulo.



detalhe da figura ao lado.

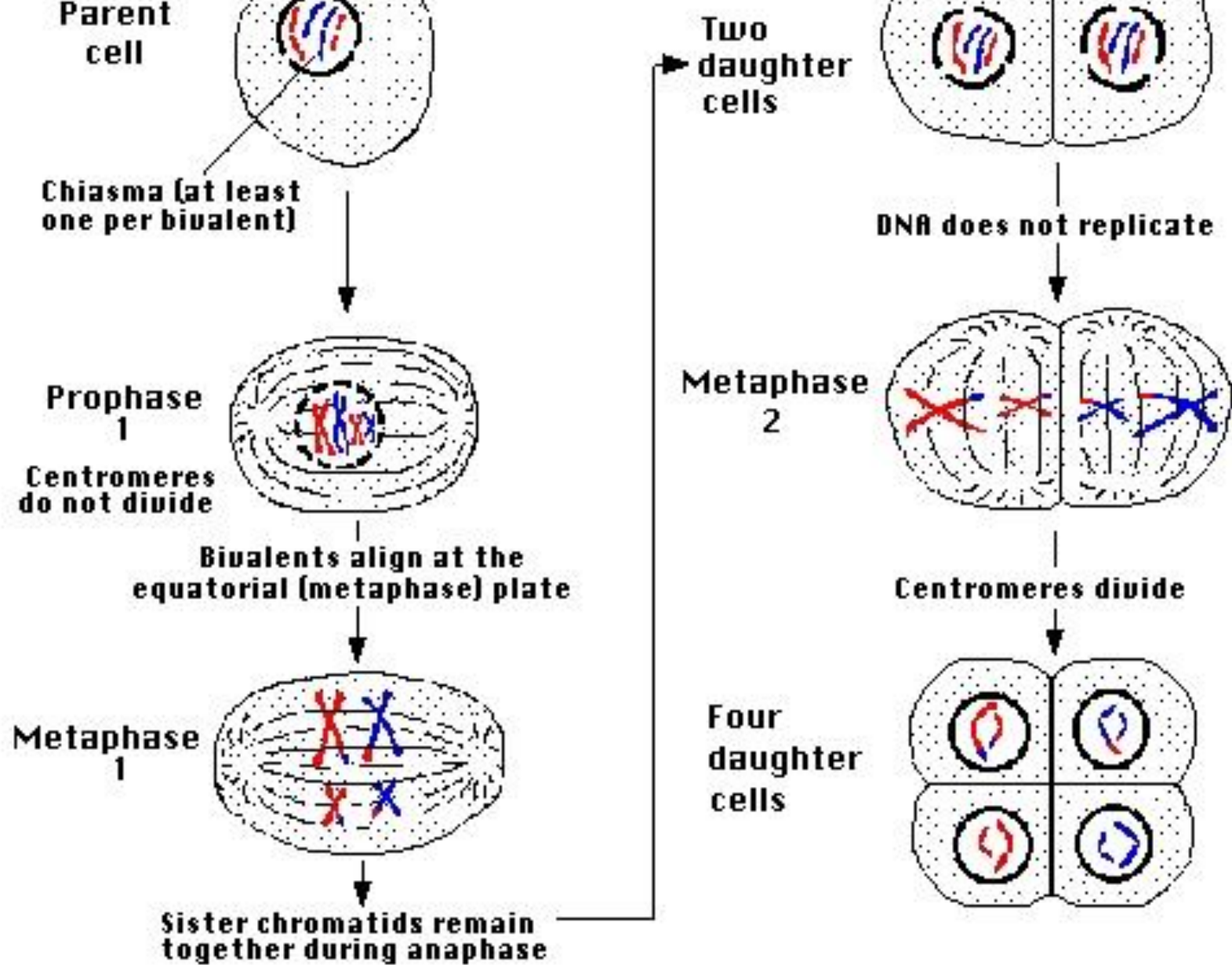


- **3. Origem da reprodução sexual.**
- **A reprodução sexual foi provavelmente favorecida na evolução devido à recombinação aleatória da informação genética. Isto aumenta a probabilidade da descendência sobreviver num ambiente variável e imprevisível.**
- **A compreensão de que as células germinativas são haplóides implica na existência de um tipo especial de divisão nuclear, na qual o número de cromossomos é exatamente dividido em dois.**

- **3. Origem da reprodução sexual.**
- **Esse tipo de divisão é denominado meiose do grego meios, diminuição. Mitose vem do grego mitos, filamentos, referindo-se a aparência de fios dos cromossomos quando da sua condensação da divisão celular, processo que também vai ocorrer na meiose.**
- **Para entender a meiose, precisa-se partir da organização do genoma nuclear diplóide. Este contém duas versões semelhantes de cada um dos cromossomos (chamados de autossomos), um dos quais proveniente do pai e outro da mãe. O par sexual geralmente é diferente nos machos, em várias possibilidades. Na espécie humana consiste nos denominados X e Y.**



- **3. Origem da reprodução sexual.**
- **As duas versões são chamadas de homólogos e na maior parte das células elas mantêm uma existência completamente separada com cromossomos independentes.**
- **Quando cada cromossomo é duplicado, por replicação de DNA, as cópias gêmeas dos cromossomos replicados ficam associadas e são chamadas cromátides-irmãs.**



- **4. Introdução descritiva da meiose**
- **A meiose envolve duas divisões celulares com somente uma duplicação dos cromossomos, geralmente chamadas de meiose I e meiose II.**
- **Alguns textos apresentam divisão 1 e divisão 2.**
- **Na primeira divisão existe uma prófase longa, onde os estágios clássicos da mitose não são suficientes para descrever sua complexidade. Os estágios sucessivos da meiose podem ser esquematizados da forma a seguir:**

# Meiose

Divisão I

Divisão II

Prófase I

Prometáfase I

Metáfase I

Anáfase I

Telófase I

Interfase I

Prófase II

Metáfase II

Anáfase II

Telófase II

Pré-leptóteno

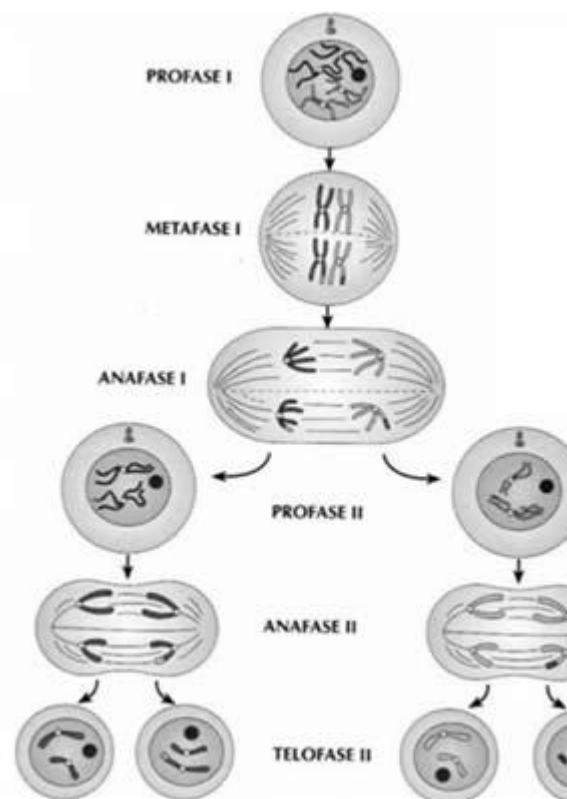
Leptóteno

Zigóteno

Paquíteno

Diplóteno

Diacinese



- **5. Etapas da meiose: Divisão I, Prófase I.**
- **Durante o pré-leptóteno os cromossomos encontram-se extremamente finos, sempre difícil observá-los, somente os cromossomos sexuais podem aparecer como corpúsculos heterocromáticos.**
- **Durante o leptóteno (do grego leptos, delgado e nema, filamento), os cromossomos tornam-se mais visíveis. apesar de já estarem duplicados e conterem duas cromátides, os cromossomos parecem únicos. Os cromossomos do leptóteno podem mostrar uma polarização definida, formando alças onde os telômeros estão ligados ao envoltório nuclear na região próxima aos centrossomos. Este arranjo é frequentemente denominado "buquê".**

## • 5. Descrição geral da meiose

- Durante o zigóteno ( do grego zygon, adjacente), ocorre o primeiro fenômeno essencial da meiose. É um processo frequentemente denominado sinapse, que envolve o alinhamento e pareamento dos cromossomos pares homólogos.
- O pareamento é altamente específico envolvendo a formação de uma estrutura protéica essencial denominada complexo sinaptonêmico (CS). Este complexo é formado por dois braços laterais (correspondentes aos cromossomos homólogos) e um elemento medial ou central. O CS está interposto entre os homólogos pareados podendo ser considerado a base estrutural do pareamento, é admiravelmente exato e específico. Ele faz ponto a ponto e cromômero a cromômero em cada um dos cromossomos homólogos.

## • 5. Descrição geral da meiose

- Durante o paquíteno ( do grego *pachus*, espesso), o processo de pareamento se completa e os cromossomos se apresentam mais curtos e espessos. Cada um agora é um bivalente ou tétrade composto por dois homólogos ( isto é, quatro cromátides). As duas cromátides de cada homólogo são chamadas de cromátides-irmãs.
- Durante o paquíteno, a troca de segmentos é um fenômeno característico, ela é a recombinação dos segmentos cromossômicos entre duas cromátides pertencentes a diferentes homólogos, ocorre quebras transversais nas duas cromátides homólogas seguidas da fusão dos segmentos.

- **5. Descrição geral da meiose**

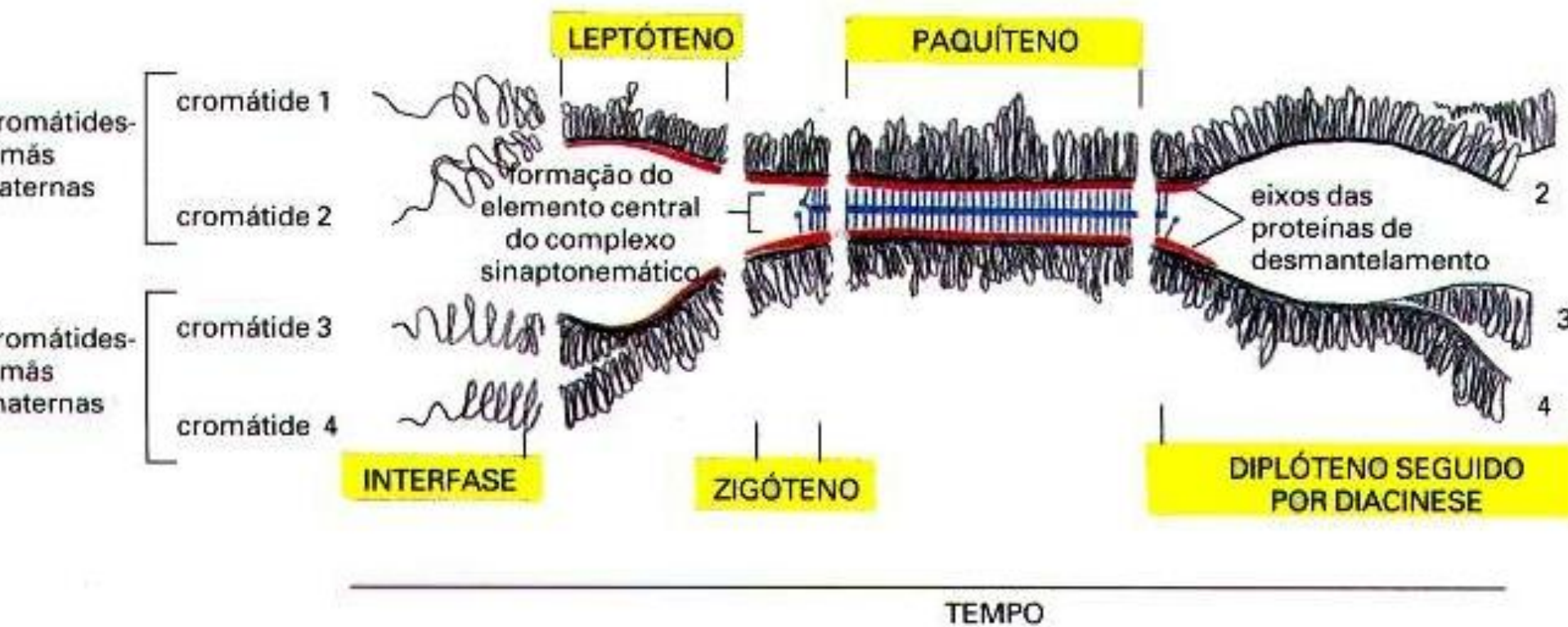
- **No diplóteno, os cromossomos pareados começam a separar-se, mas permanecem unidos nos pontos de intercâmbio ou quiasmas ( do grego chiasma, cruz) O número de quiasmas por cromossomo varia, podendo existir um, dois ou muitos. Dependendo do comprimento do cromossomo. Neste momento, as quatro cromátides da tétrade tornam-se visíveis e o complexo sinaptonêmico desaparece.**

- **O diplóteno é uma fase de longa duração e os cromossomos estão condensados e muito ativos em transcrição. No quinto mês de vida intra-uterina, por exemplo, os ovócitos humanos alcançam o estágio de diplóteno e nele permanecem por muitos anos, até ocorrer a ovulação.**



- **5. Descrição geral da meiose**

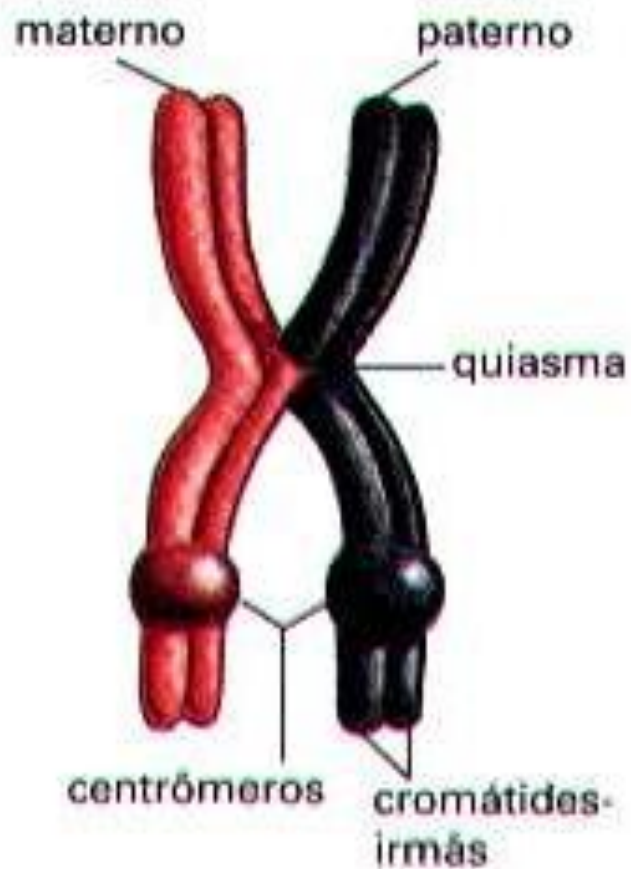
- Na diacinese (do grego dia, através de) a contração dos cromossomos é acentuada e a transcrição cessa, o número de quiasmas torna-se reduzido por um processo denominado terminalização. No final da diacinese os cromossomos homólogos são unidos somente pelos quiasmas.
- As fases da primeira divisão que se seguem à diacinese são de certa forma semelhantes às da mitose.



**Diagrama temporal da sinapse e desinapse durante a Prófase I. Apenas um bivalente é mostrado. O estágio de paquíteno é definido como o período durante o qual um CS completo está formado.**

## •6. Etapas da meiose: Divisão I. Pró-metáfase I.

- Na pró-metáfase I a condensação dos cromossomos atinge seu máximo. O envoltório nuclear fragmenta-se e os microtúbulos do fuso ligam-se ao cinetócoro dos centrômeros homólogos.
- Conseqüentemente, as duas cromátides comportam-se como unidade funcional e movem-se juntas em direção a um pólo.



**ossomos homólogos emparelhados durante a transição para a fase da divisão meiótica I.**

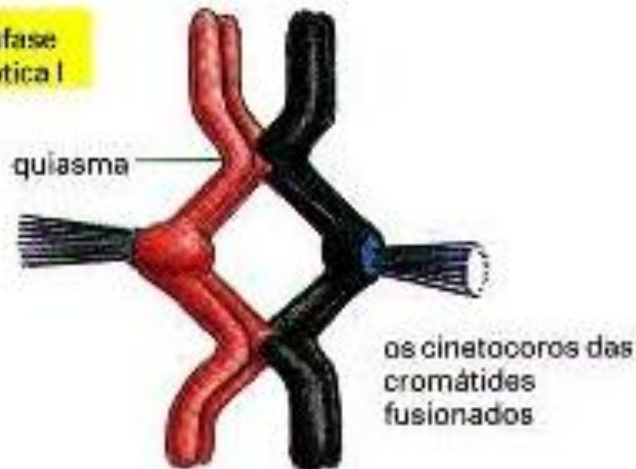
- **6. Etapas da meiose: Divisão I. Pró-metáfase I.**
- **Uma única ocorrência de entrecruzamento aconteceu na prófase anterior criando um quiasma.**
- **Observe que as quatro cromátides estão dispostas como dois pares distintos de cromátides-irmãs e que as duas cromátides de cada par estão firmemente alinhadas por todo o comprimento, bem como pelos seus centrômeros.**
- **Esta unidade inteira, composta pelas quatro cromátides, é denominada bivalente.**

- **6. Etapas da meiose: Divisão I. Metáfase I.**
- **Durante a metáfase I os homólogos ainda estão unidos no local dos quiasmas, enquanto os centrômeros são levados em direção a pólos opostos (anáfase I).**
- **Segue-se a telófase I.**
- **Após existe uma interfase de curta duração onde não ocorre replicação do DNA. Nesta fase, o número de cromossomos é haplóide, porém cada cromossomo possui duas cromátides.**

## • 6. Etapas da meiose: Divisão II.

- Na segunda divisão ocorre a separação das cromátides-irmãs e dos centrômeros correspondentes.
- Um ponto bastante importante é que na divisão I ocorre a separação dos centrômeros homólogos, enquanto na divisão II são os centrômeros irmãos que se separam. Em cada caso os cromossomos e as cromátides possuem segmentos misturados resultantes da recombinação.
- Nas figuras que seguem, comparação dos mecanismos de alinhamento cromossômico (na metáfase) e separação (na anáfase) na divisão meiótica I e II. Os mecanismos empregados na divisão meiótica II são os mesmos empregados na mitose normal (discutida na aula anterior). Depois seguem animações sobre a meiose.

metáfase  
meiótica I



OS BRAÇOS DAS  
CROMÁTIDES-IRMÃS  
SOLTAM-SE

anáfase  
meiótica I



INTERFASE CURTA  
SEGUIDA PELA SEPARAÇÃO  
DOS CINETOCOROS DE  
CADA CROMÁTIDE IRMÃ



metáfase  
meiótica II



as fibras dos  
cinetocoros  
das cromátides-irmãs  
apontam para  
direções opostas

SEPARAÇÃO  
REPENTINA DOS  
CINETOCOROS  
IRMÃOS

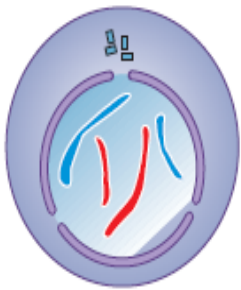
anáfase  
meiótica II



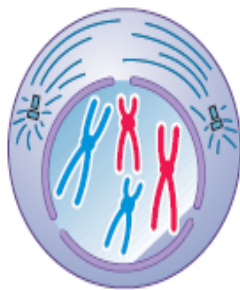
9.17 Mitosis and Meiosis: A Comparison Meiosis differs from mitosis by synapsis and by the failure of the centromeres to separate at the end of metaphase I.

## MITOSIS

Parent cell ( $2n$ )

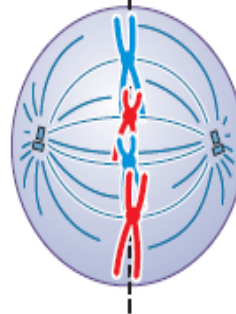


Prophase



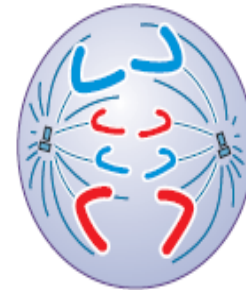
No synapsis of homologous chromosomes

Metaphase



Individual chromosomes align at the equatorial plate.

Anaphase



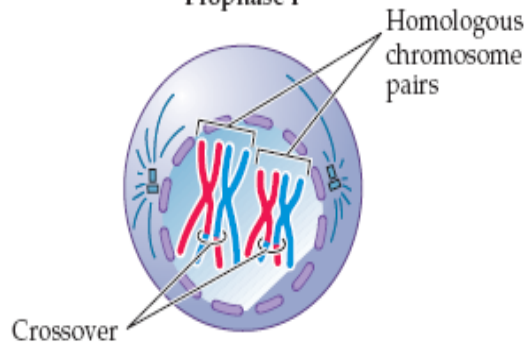
Centromeres separate. Sister chromatids separate during anaphase, becoming daughter chromosomes.

## MEIOSIS

Parent cell ( $2n$ )

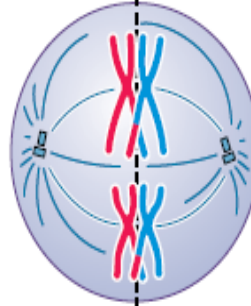


Prophase I



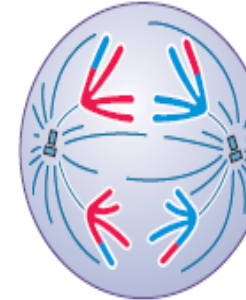
Synapsis and crossing over of homologs

Metaphase I



Homologous pairs align at the equatorial plate.

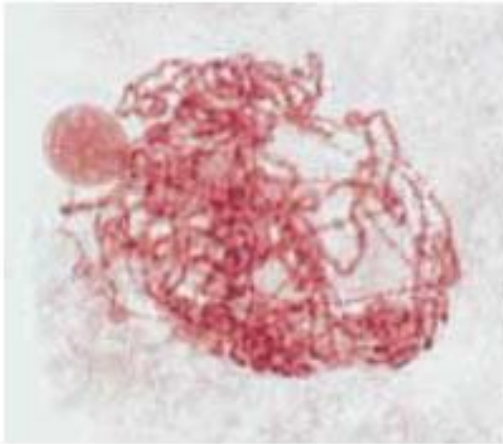
Anaphase I



Centromeres do not separate; sister chromatids remain together during anaphase; homologs separate; DNA does not replicate before subsequent prophase.

# MEIOSIS I

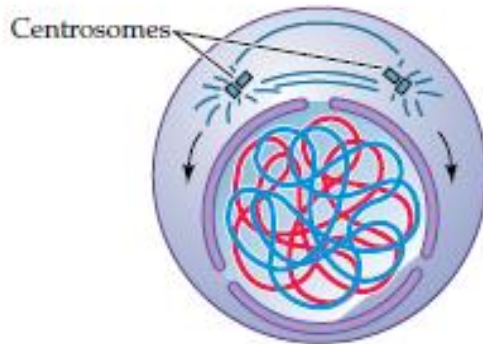
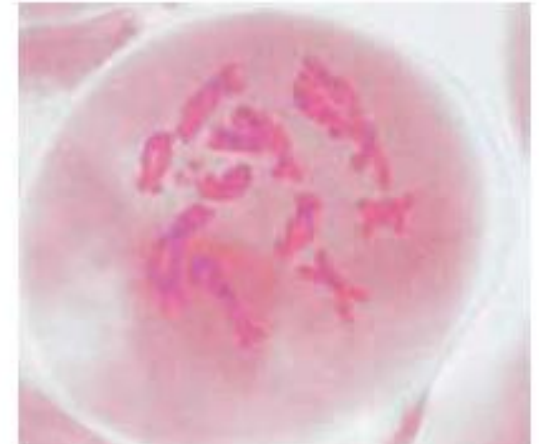
## Early Prophase I



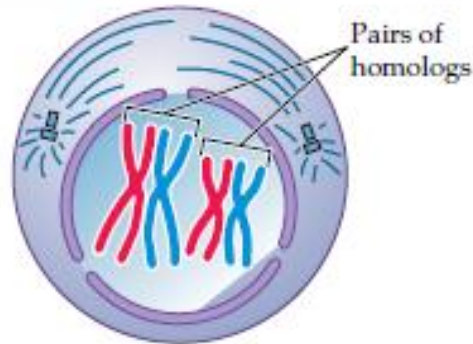
## Mid-Prophase I



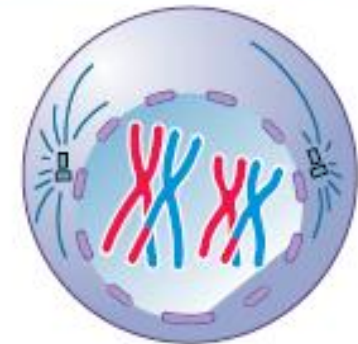
## Late Prophase I–Prometaphase



**1** The chromatin begins to condense following interphase.

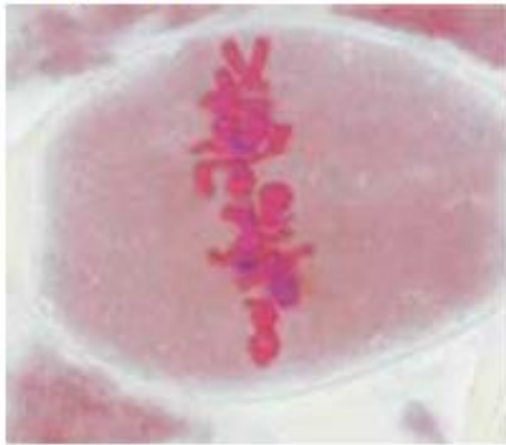


**2** Synapsis aligns homologs, and chromosomes condense. Homologs are shown in different colors indicating those coming from each parent. In reality, their differences are very small, usually comprising different alleles of some genes.



**3** The chromosomes continue to coil and shorten. Crossing over results in an exchange of genetic material. In prometaphase the nuclear envelope breaks down.

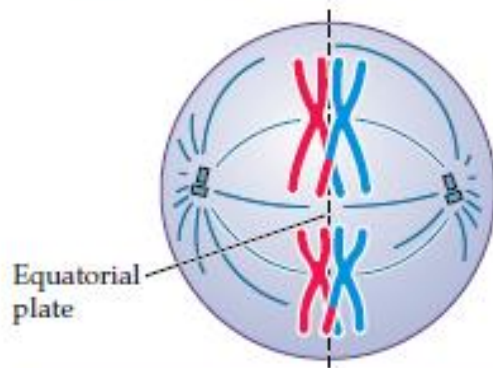
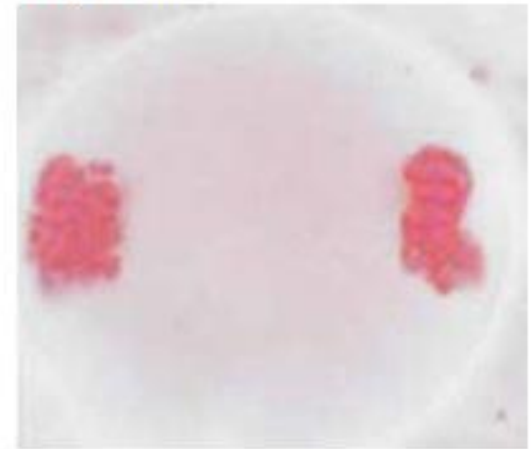
Metaphase I



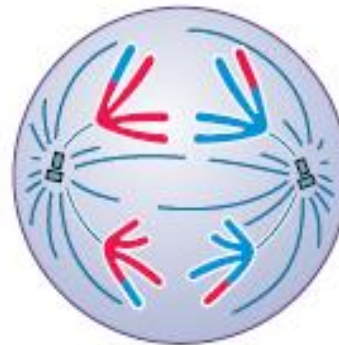
Anaphase I



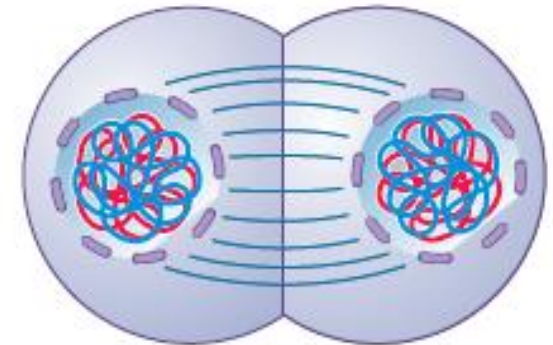
Telophase I



**4** The homologous chromosomes line up on the equatorial (metaphase) plate.



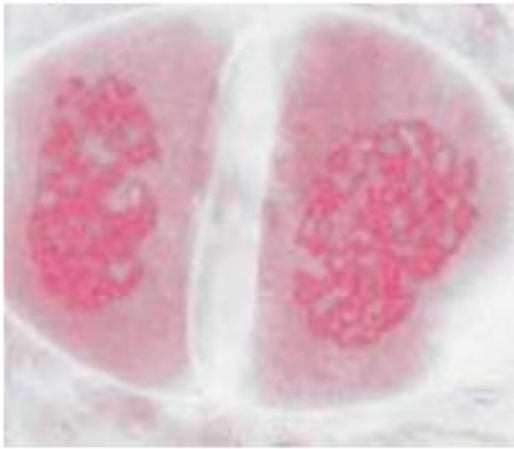
**5** The homologous chromosomes (each with two chromatids) move to opposite poles of the cell.



**6** The chromosomes gather into nuclei, and the original cell divides.

# MEIOSIS II

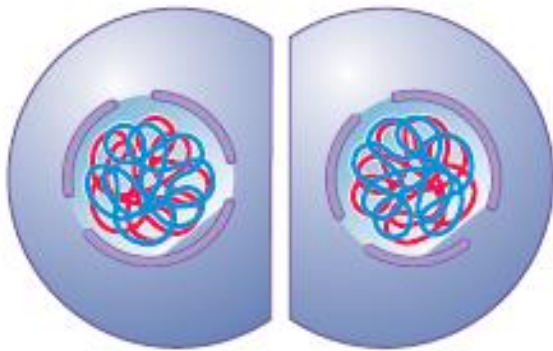
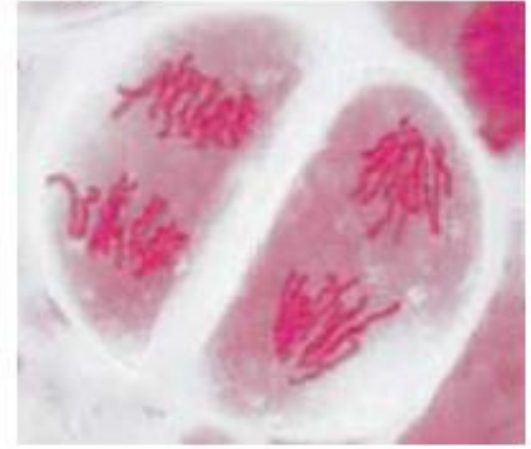
## Prophase II



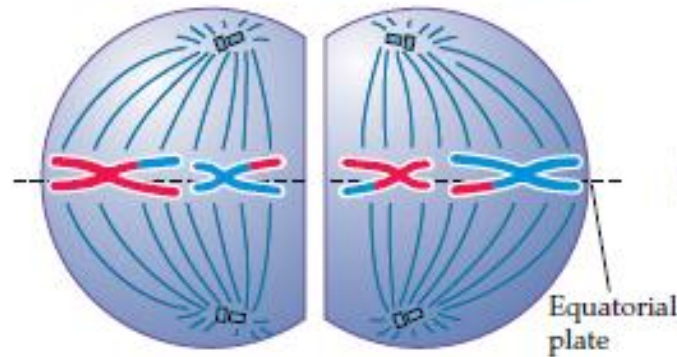
## Metaphase II



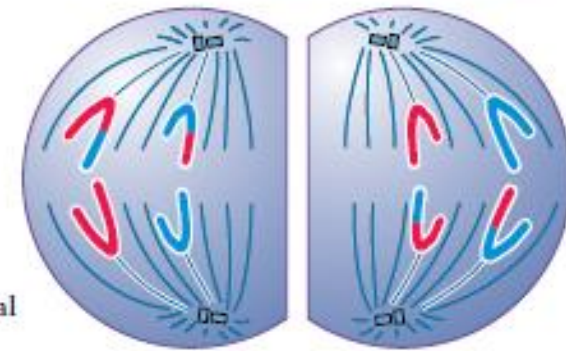
## Anaphase II



- 7** The chromosomes condense again, following a brief interphase (Interkinesis) in which DNA does not replicate.



- 8** Kinetochores of the paired chromatids line up across the equatorial plates of each cell.

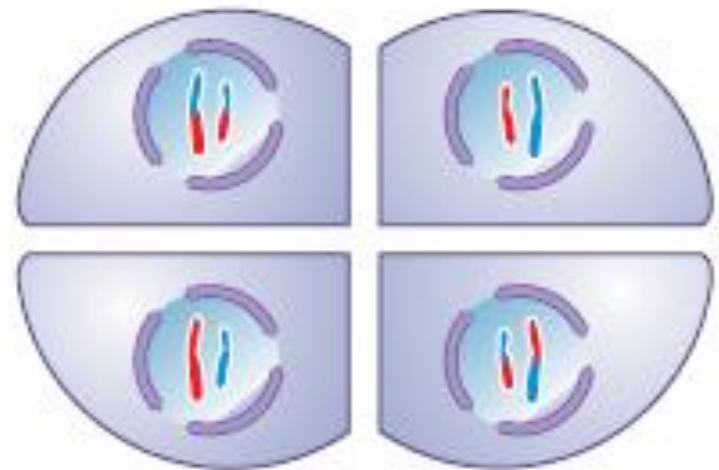
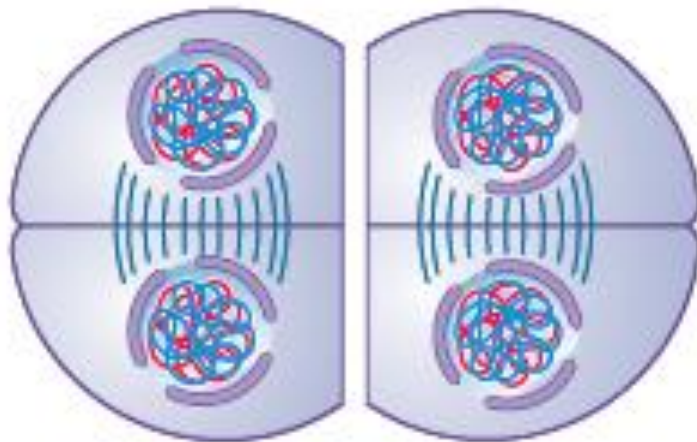


- 9** The chromatids finally separate, becoming chromosomes in their own right, and are pulled to opposite poles. Because of crossing over in prophase I, each new cell will have a different genetic makeup.

## Telophase II

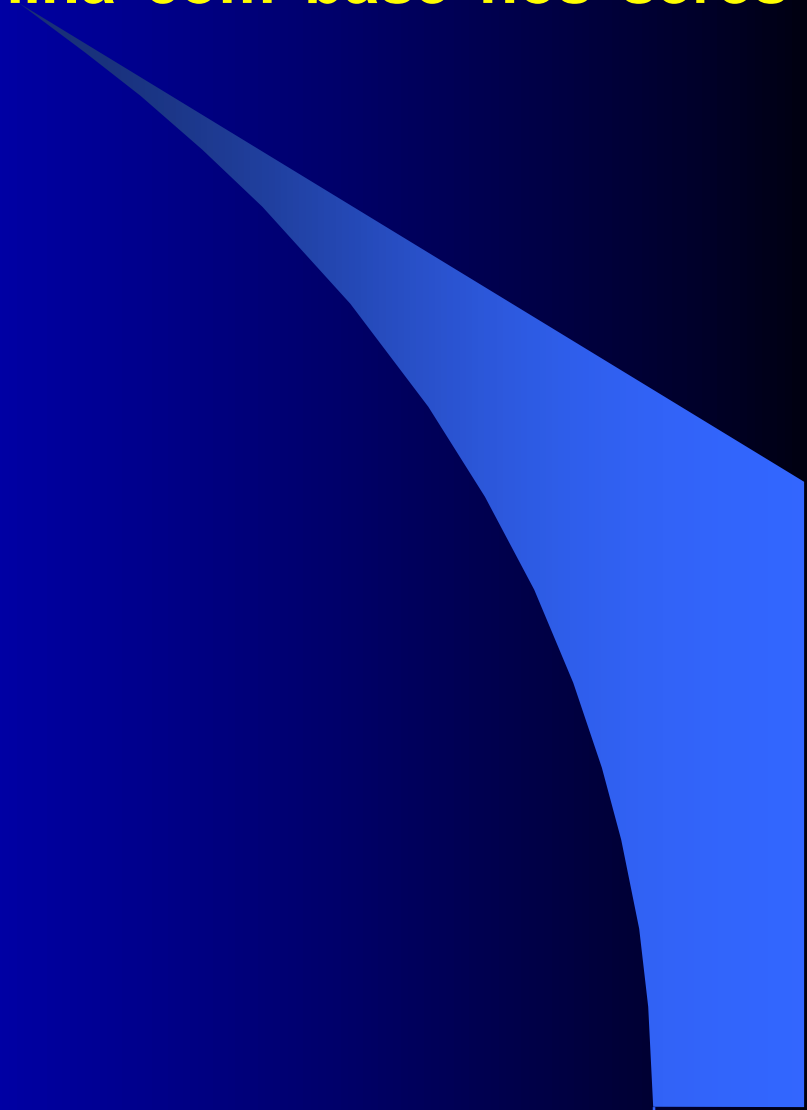


## Products



**10** The chromosomes gather into nuclei, and the cells divide.

**11** Each of the four cells has a nucleus with a haploid number of chromosomes.

- **Exercício: Gametogênese nos seres humanos.**
  - **Descreva os processos e compare os dois casos: a gametogênese masculina e a feminina com base nos seres humanos.**
- 

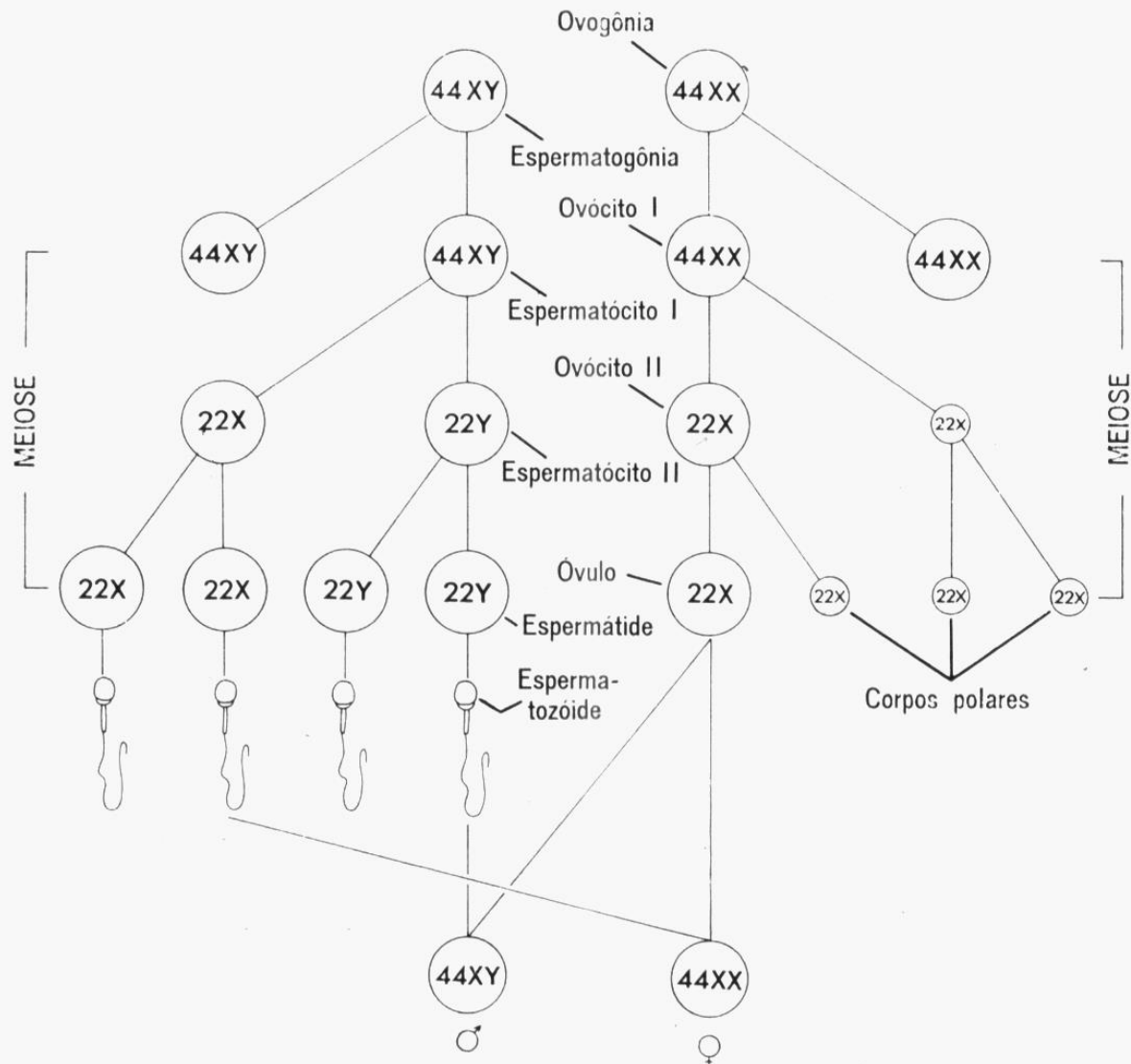


FIG. 2.2. Esquema da espermatogênese e da ovogênese. A partir de um ovócito de primeira ordem (ovócito I) resulta um único óvulo, enquanto um espermatócito de primeira ordem (espermatócito I) fornece quatro espermátides, que se transformam em espermatozóides. Metade destes contém um cromossomo X, a outra metade um cromossomo Y. Na fecundação reconstitui-se o número de cromossomos e se estabelece o sexo genético do zigoto.



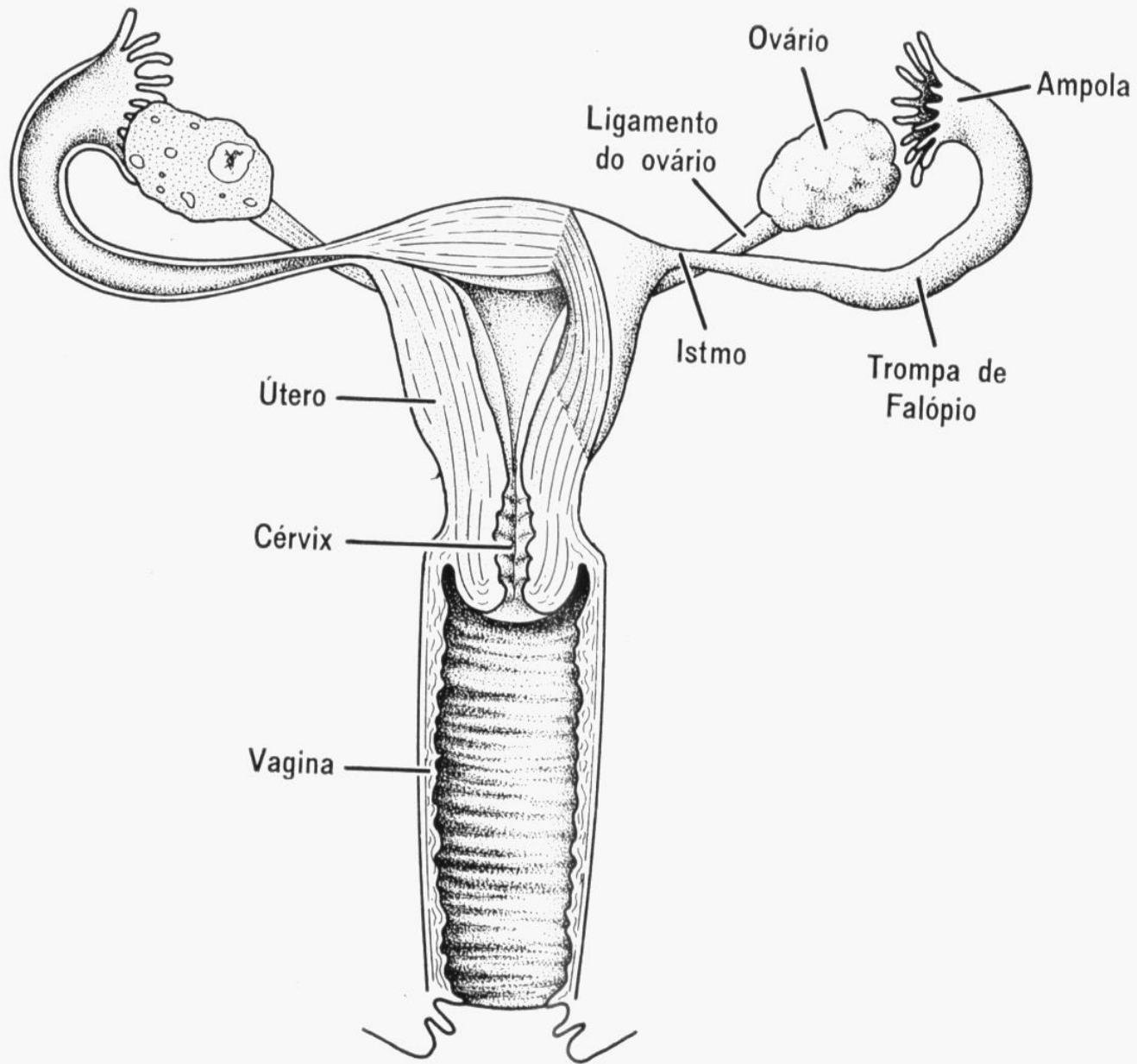


FIG. 2.3. Esquema do aparelho genital feminino em vista ventral.

# 7. Tema de discussão: gametogênes e nos seres humanos.

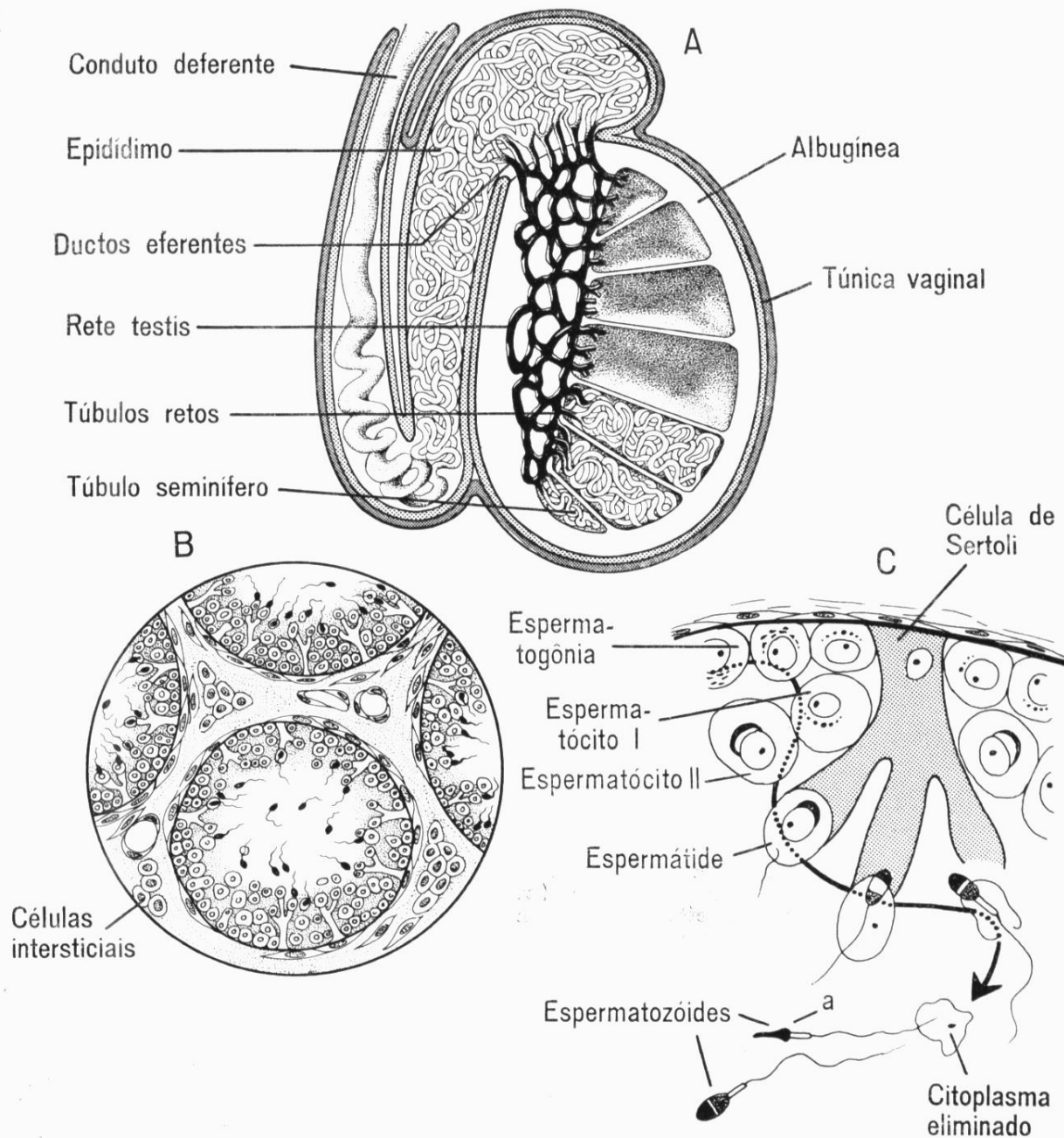


FIG. 2.1. Esquemas mostrando a estrutura do testículo (A), dos túbulos seminíferos (B), e a formação dos espermatozóides (C). Em a, espermatozóide visto de perfil.

1- Tubúlos seminíferos

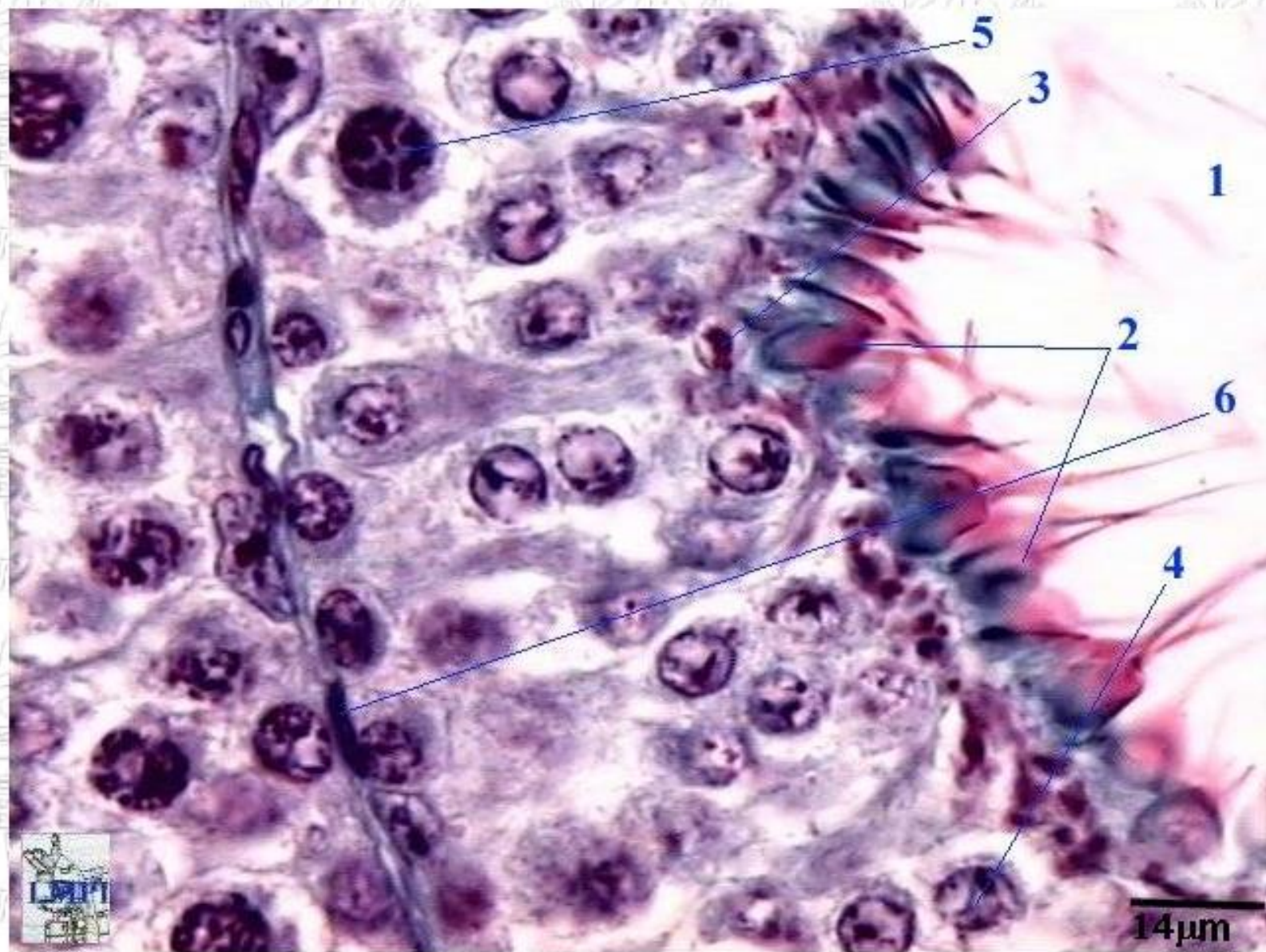
2- Espermatozóides

3- Espermátide

4- Espermátogônias2

5- Espermátogônias1

6- células mióides



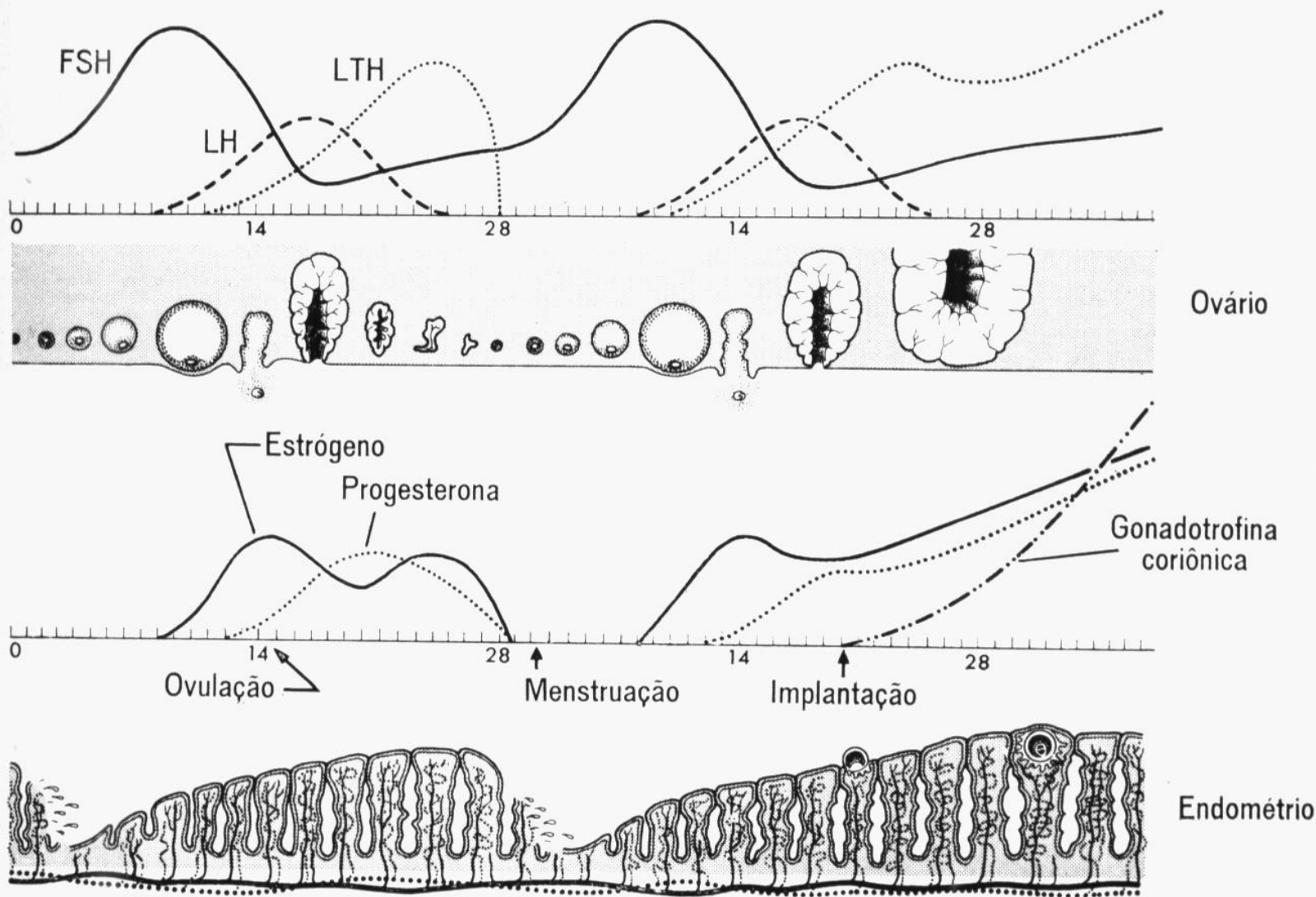


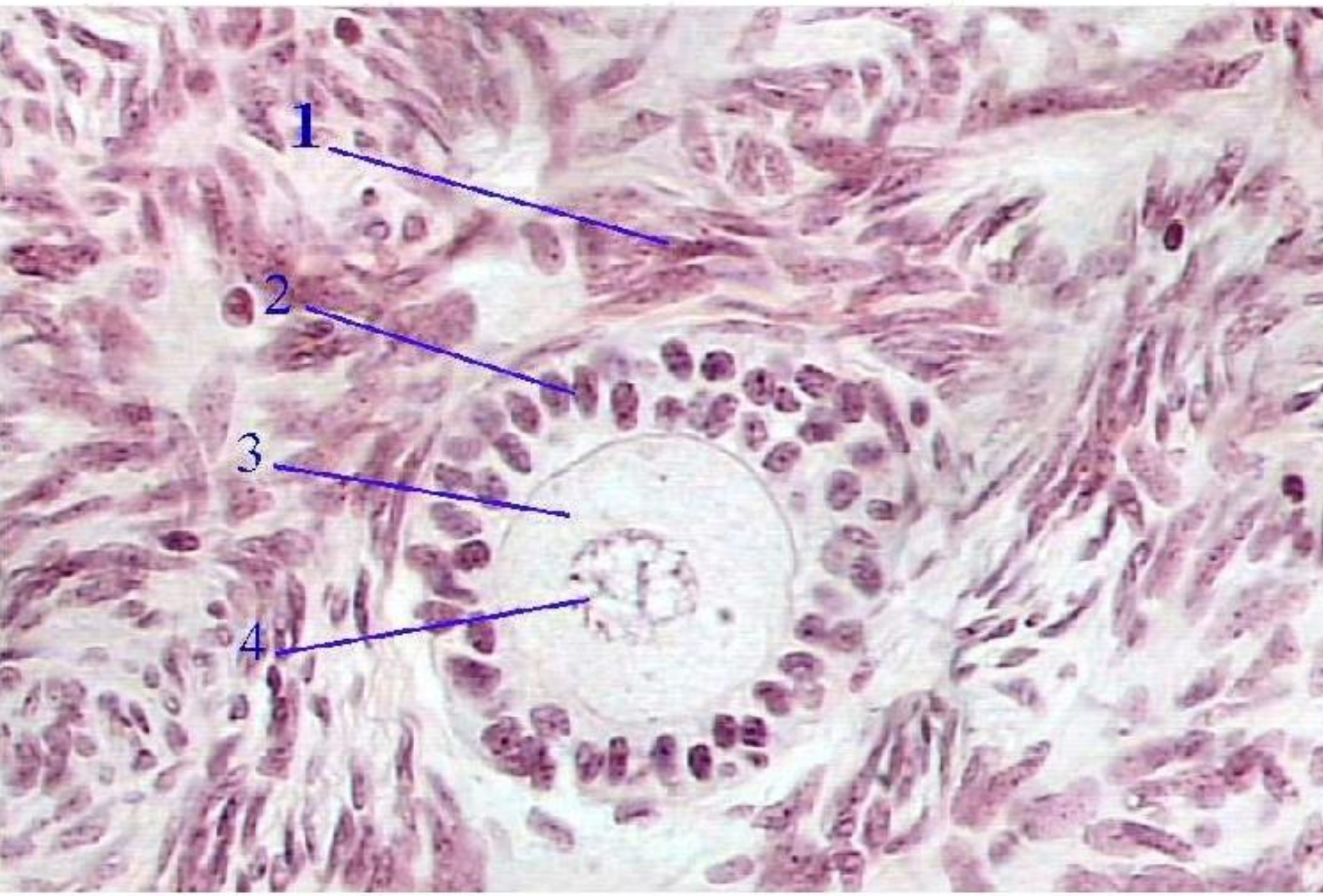
FIG. 2.6. Esquema da regulação hormonal do ciclo sexual. Os hormônios gonadotróficos hipofisários (FSH, LH e LTH) promovem a maturação dos folículos, ovulação, formação e manutenção do corpo lúteo. Os hormônios ovarianos (progesterona e estrógeno) promovem a regeneração da mucosa uterina. Havendo fecundação, a mucosa uterina continua em atividade secretora, devido à persistência do corpo lúteo, que se mantém funcionando graças à gonadotrofina coriônica produzida pelo trofoblasto.

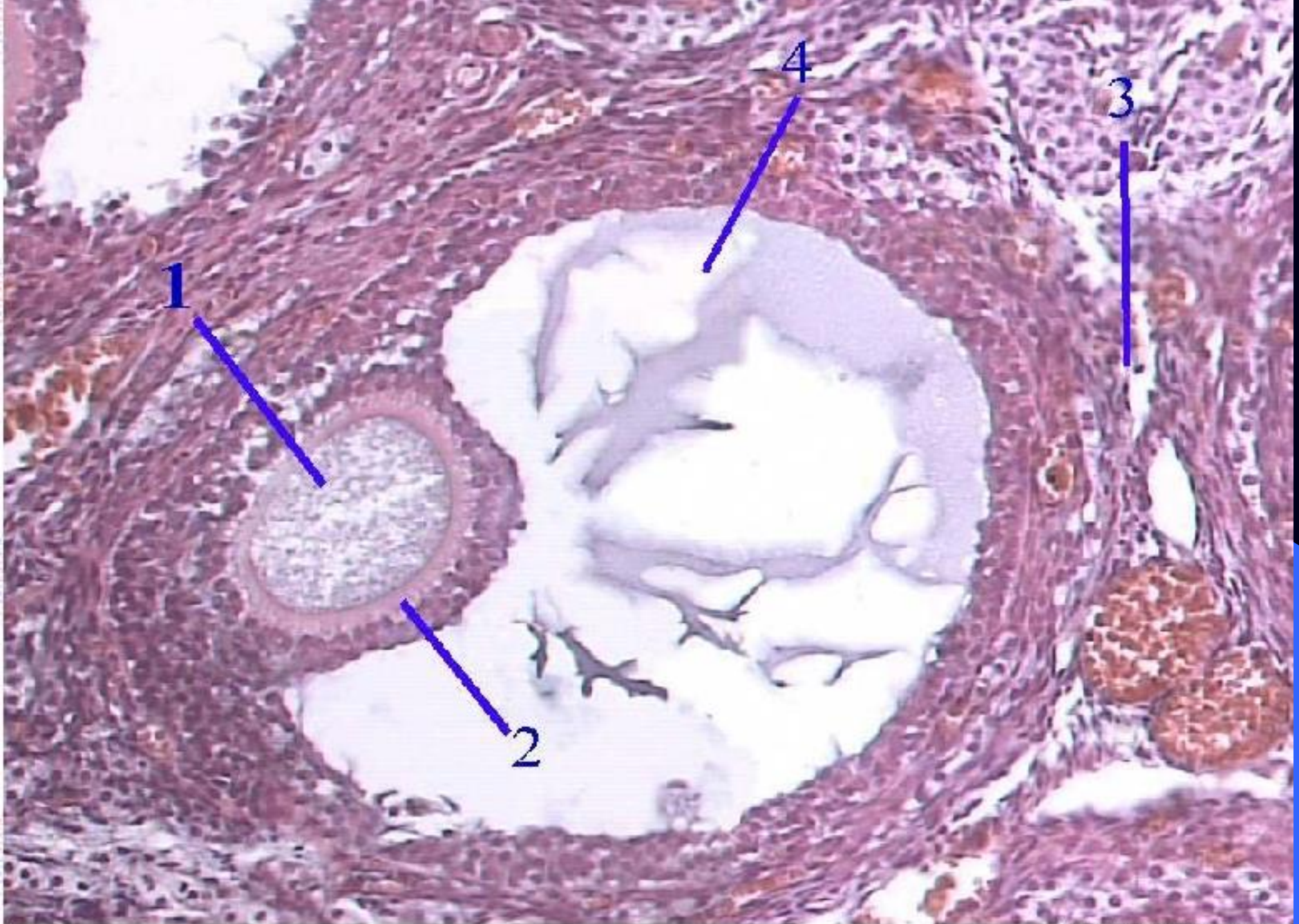
1 - Teca folicular

2 - Células da granulosa

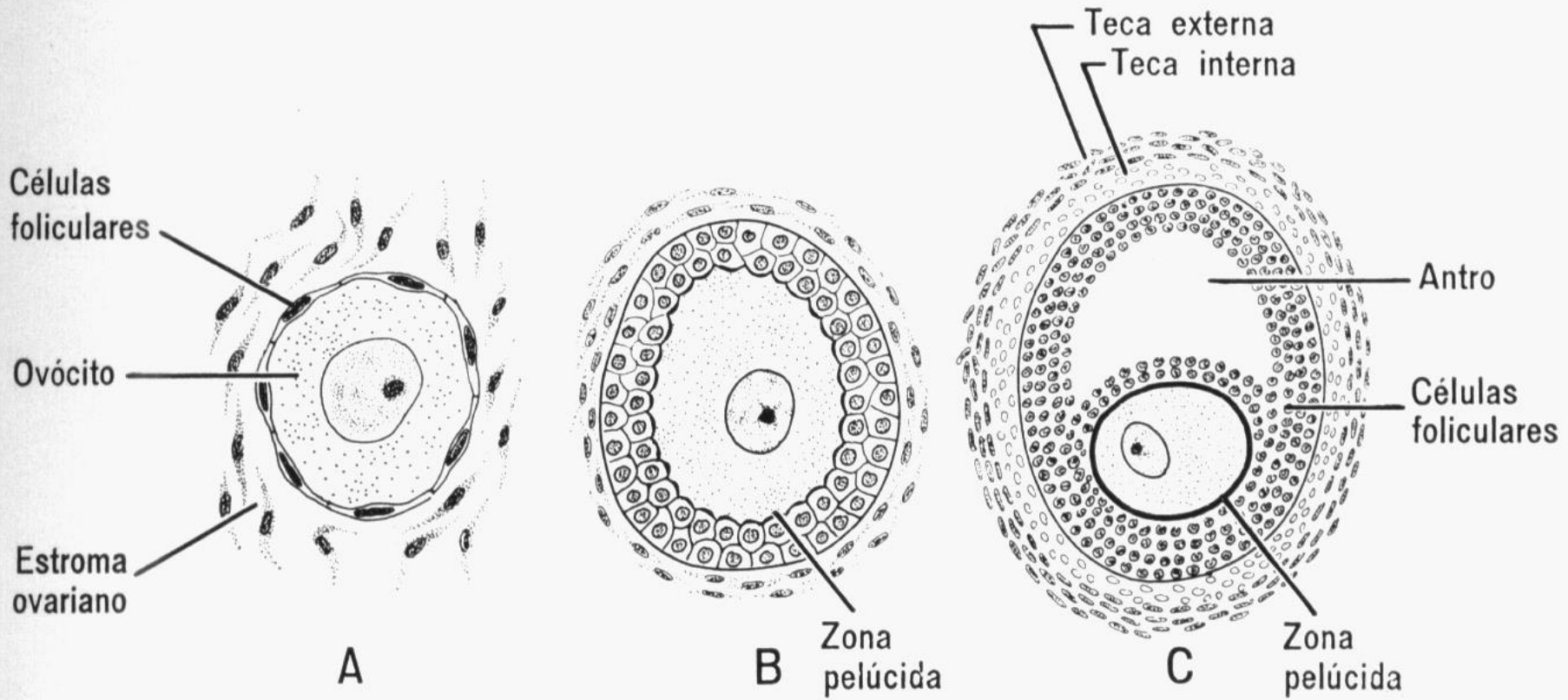
3 - Citoplasma do ovócito

4 - Núcleo do ovócito





1 - Ovócito 2 - Zona pelúcida 3 - Estroma Ovariano 4 - Antro folicular



**FIG. 2.4.** Esquemas mostrando a evolução do folículo ovariano. A, folículo primordial; B e C, folículos em crescimento.

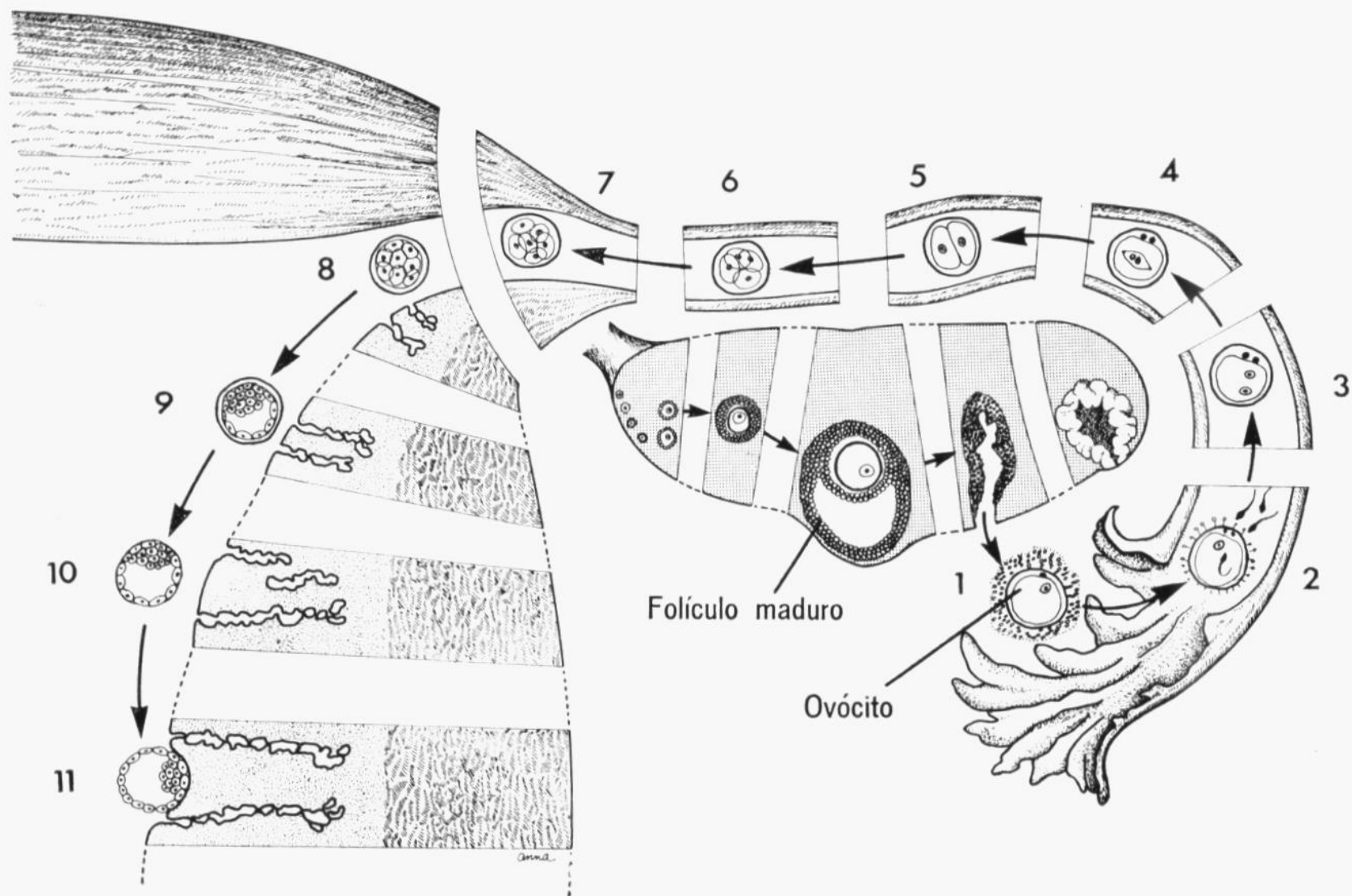


FIG. 3.1. Esquema mostrando as primeiras fases do desenvolvimento embrionário humano. 1, ovulação; 2, fecundação (12 a 24 horas após a ovulação); 3 a 8, segmentação e formação da mórula (4 dias); 9 e 10, blastocisto (4 dias e meio); 11, implantação (ao redor do sexto dia).