

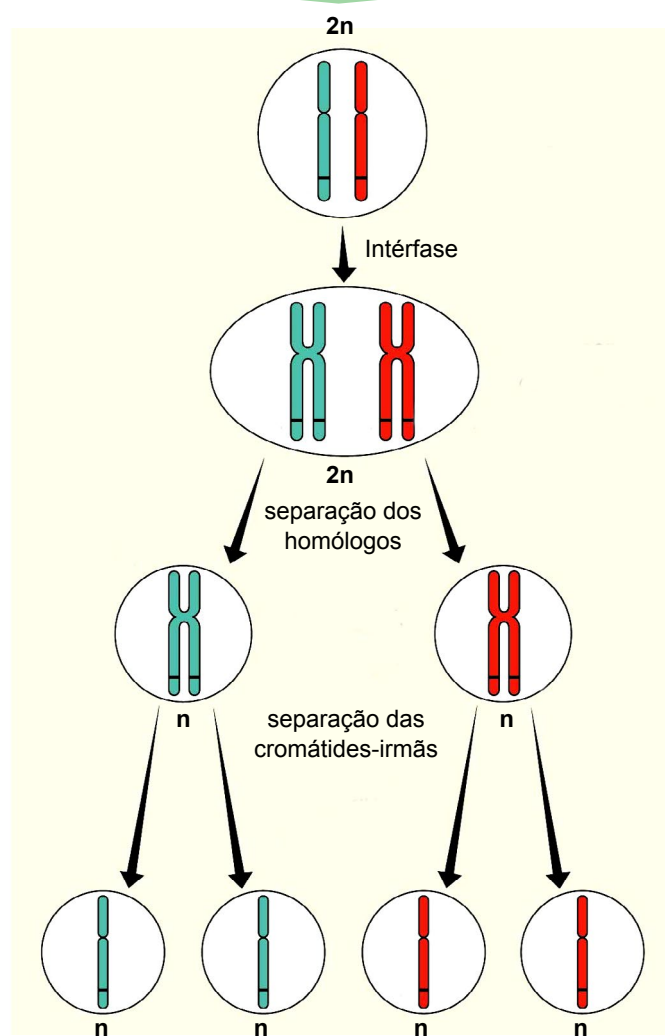
# CITOGENÉTICA

Prof. Kennedy Ramos

## UNIDADE 7: Divisão Celular - Meiose

É um tipo de divisão celular onde uma célula diplóide de linhagem germinativa origina quatro células haplóides. Na meiose ocorrem duas divisões celulares para apenas uma duplicação cromossômica.

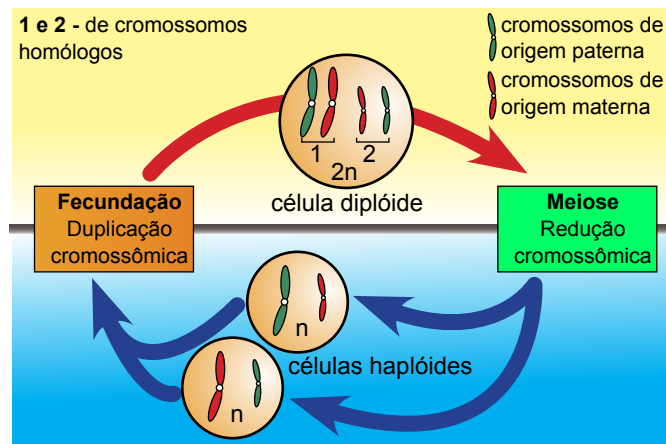
Exemplificando, teremos...



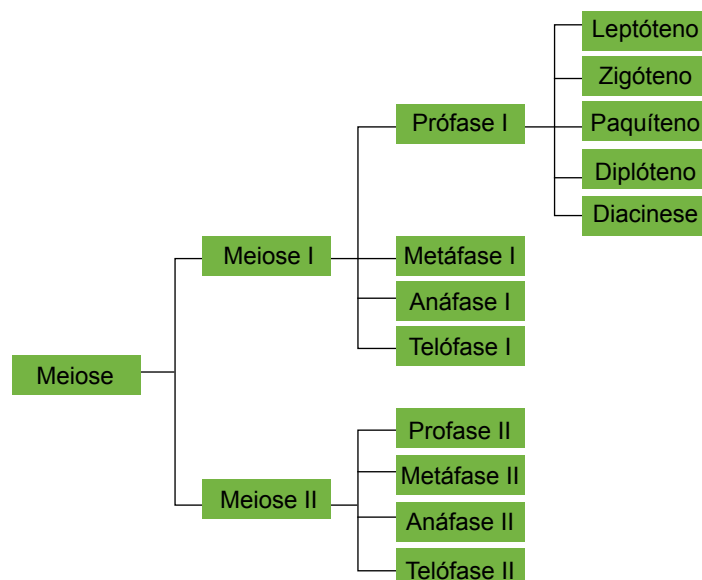
Examine a primeira divisão (meiose I). Foram separados os cromossomos homólogos. O número de cromossomos das células resultantes foi reduzido à metade do número da célula original.

Por essa razão, esta divisão é denominada reducional (R!). A segunda divisão (meiose II) é chamada de equacional (E!), pois através dela os cromossomos são distribuídos equitativamente entre as células resultantes. Note que nela ocorre a divisão dos centrômeros e a separação das cromátides-irmãs, os mesmos eventos da mitose.

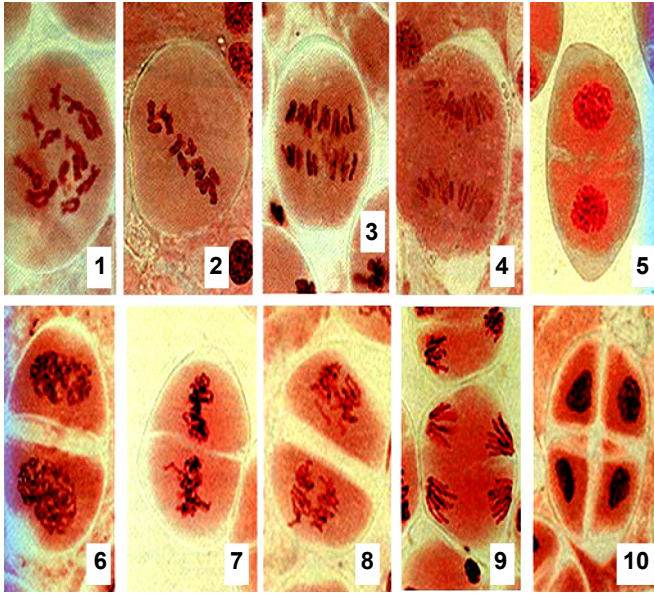
A meiose tem como função a formação dos gametas, tendo papel importante na manutenção do número de cromossomos da espécie, pois atua de maneira inversa à fecundação.



## Fases da meiose

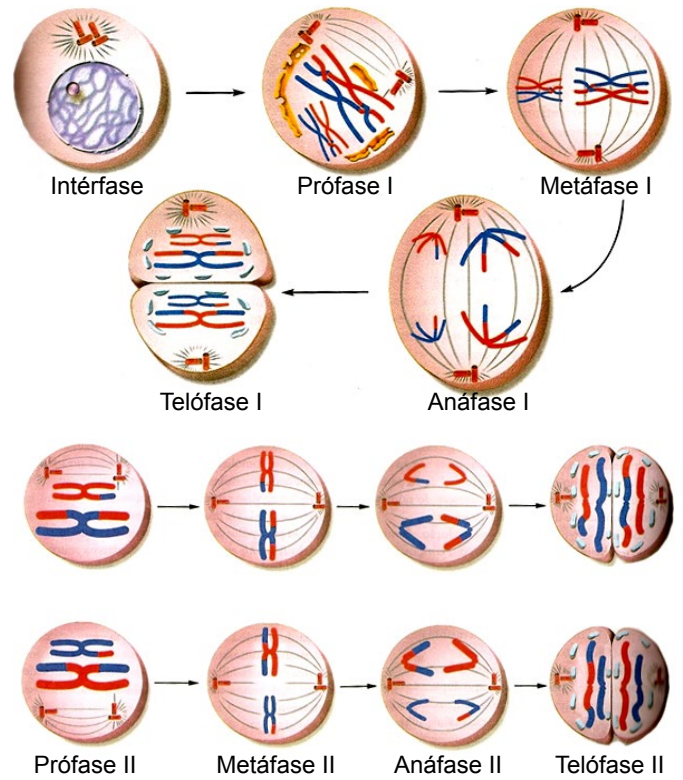


Fases da meiose.



- |                 |                    |
|-----------------|--------------------|
| 1- Prófase I    | 6 – Prófase II     |
| 2- Metáfase I   | 7 – Metáfase II    |
| 3- Anáfase I    | 8 - Anáfase II     |
| 4- Telófase I   | 9 - Telófase II    |
| 5- Citocinese I | 10 – Citocinese II |

Exemplificando, teremos...

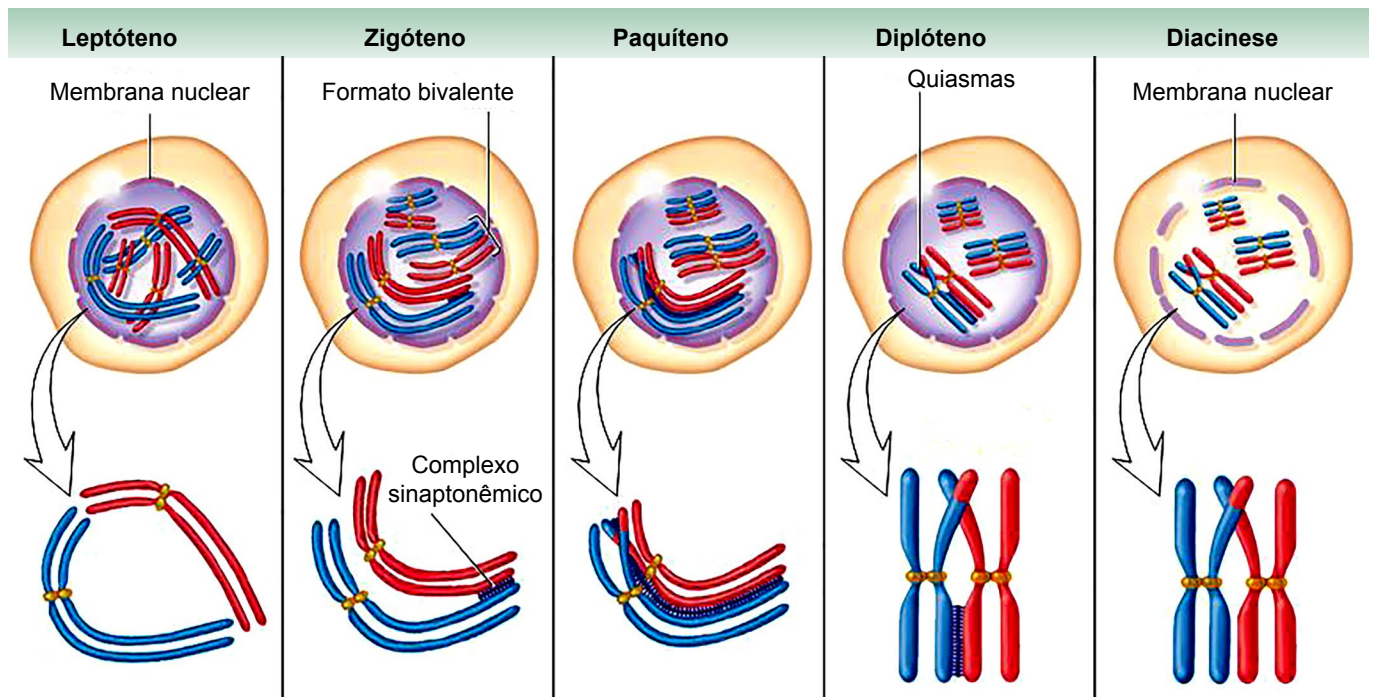


Prófase I

Nesta fase, de modo geral, temos as mesmas características da prófase mitótica, porém é uma etapa mais longa, pois nela ocorrem eventos singulares com importantes conseqüências genéticas. Por estas razões é subdividida em 5 estágios

Os oncogenes surgem por mutações cuja ocorrência é geralmente induzida por agentes carcinogênicos, como alguns vírus, radiação, algumas substâncias químicas, etc.

Quando um indivíduo sofre mutação em uma célula somática, a mutação não é transmitida à descendência do indivíduo. Porém, se a mutação ocorre em uma célula germinativa, ela pode ser transmitida à descendência. Daí alguns tipos de câncer serem hereditários.



É proibida a reprodução, total ou parcial, deste material



■ **Leptóteno** (filamento fino): embora estejam duplicados desde a intérfase, os cromossomos aparecem como filamentos simples de contorno definido, não se distinguindo as cromátides-irmãs. Visualizam-se os cromômeros, pontos de condensação ao longo do cromossomo. O nucléolo começa a desaparecer.

■ **Zigóteno** (filamentos unidos): cada cromossomo é atraído por seu homólogo, o que leva à formação de pares chamados tétrades ou bivalentes.

■ **Paquíteno** (filamento grosso): em cada um dos cromossomos pareados distinguem-se duas cromátides bastante espiralizadas. Nesta fase ocorre o crossing-over (permutação): as cromátides homólogas se entrelaçam e trocam de segmentos.

O crossing-over promove portanto, uma recombinação genética entre as cromátides homólogas. A constituição gênica de cada cromátide se altera com o crossing-over.

■ **Diplóteno** (filamento duplo): inicia-se uma repulsão entre os homólogos. Conforme se separam, torna-se possível visualizar alguns pontos de contato entre as cromátides homólogas, chamados de quiasmas (do grego = cruzamento em X), que indicam os locais onde houve permutação.

■ **Diacinese** (movimento): com o afastamento dos homólogos, os quiasmas vão "escorregando" em direção às pontas das cromátides, o que é conhecido como terminalização dos quiasmas. Durante a prófase, os cromossomos se condensam até ficarem fortemente espiralizados. O nucléolo desaparece, o fuso de divisão se forma e, por fim, a carioteca se desintegra.

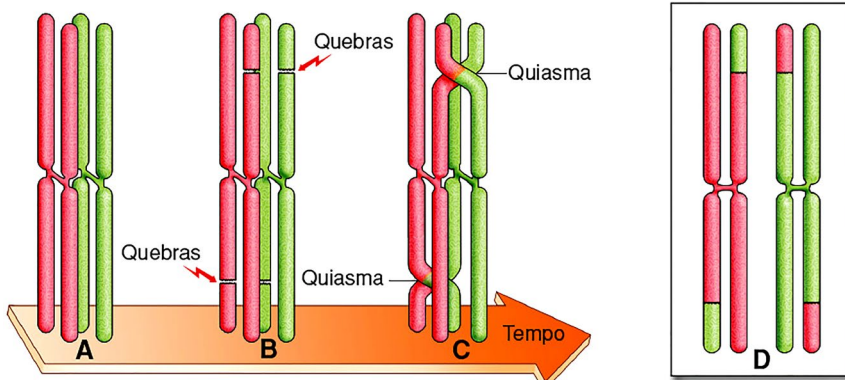
■ **Metáfase I:** Com a dissolução da carioteca, os cromossomos, através de seus ww, entram em contato com as fibrilas do fuso e são levados à região mediana da célula formando placa equatorial.

■ **Anáfase I:** As fibras do fuso encaminham os cromossomos para cada um dos pólos, separando os cromossomos homólogos, cada qual ainda constituído por duas cromátides.

■ **Telófase I:** Em torno dos cromossomos agrupados em cada pólo forma-se uma carioteca e os centríolos duplicam-se.

■ **Prófase II:** Os cromossomos duplicados se condensam e os centríolos se deslocam para pólos opostos de célula, formando o fuso de divisão. A carioteca se fragmenta.

■ **Metáfase II:** Os centrômeros ligam-se às fibrilas do fuso e os cromossomos são levados à região mediana entre os pólos: formando a placa equatorial. Os centrômeros se dividem e



Resultado das permutações

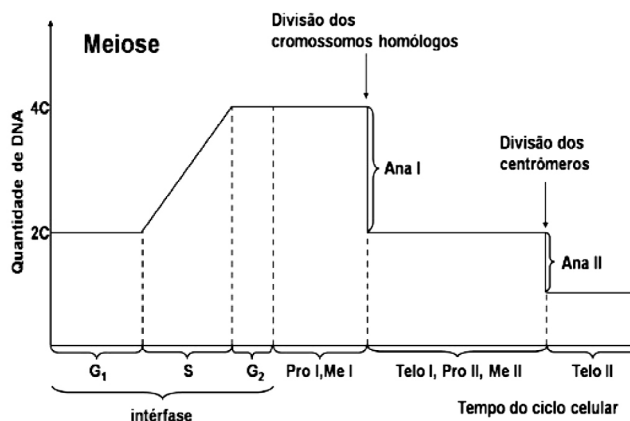
as cromátides separam-se, originando dois cromossomos-irmãos.

■ **Anáfase II:** Os cromossomos-irmãos são levados pelo fuso a pólos opostos da célula.

■ **Telófase II:** Forma-se uma carioteca em torno de cada conjunto de cromossomos. O núcleo reaparece com a desespiralização dos cromossomos. De cada célula diplóide (2n) que inicia o processo originam-se duas células haplóides após a primeira divisão e quatro células haplóides na citocinese de segunda divisão. Estas quatro células resultantes da meiose são cromossomicamente semelhantes, mas geneticamente diferentes, devido à recombinação gênica.

Na meiose temos então uma duplicação cromossômica para duas divisões celulares. A variação da quantidade de DNA ao longo da meiose pode ser visualizada no gráfico abaixo.

Exemplificando, teremos...

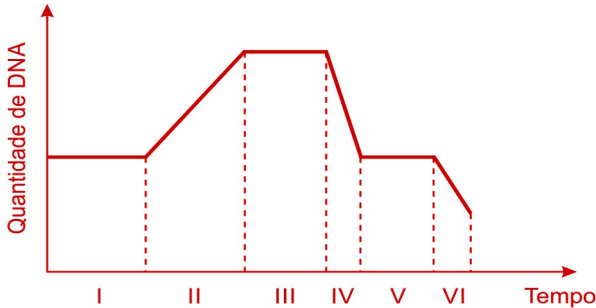




## ATIVIDADES PROPOSTAS



**01. (Faculdade Albert Einstein) O gráfico abaixo refere-se ao processo de divisão celular que ocorre durante a espermatogênese humana:**



**Nesse processo de divisão ocorre**

- duplicação dos cromossomos nos intervalos I e II e as fases que caracterizam esse processo ocorrem nos intervalos III, IV, V e VI.
- duplicação dos cromossomos nos intervalos II e III e as fases que caracterizam esse processo ocorrem nos intervalos IV, V e VI.
- separação de cromátides-irmãs, levando à formação de células com 23 cromossomos simples ao final do intervalo IV e maturação dos espermatozoides nos intervalos V e VI.
- separação de cromossomos homólogos no intervalo IV e separação de cromátides-irmãs no intervalo VI.
- Desaparecimento do nucléolo, condensação da cromatina e duplicação dos centríolos.



**02. (Ifsul) Todas as células vegetais e animais apresentam um processo de reprodução chamado de mitose e outro processo de reprodução chamado de meiose. Esses processos diferenciam-se quanto ao tipo de células envolvidas, tais como células epiteliais, musculares, gametas, etc.**

**A afirmativa que relata corretamente o processo que envolve a formação das últimas células referidas acima é a que propõe que uma célula.**

- diploide ( $2n$ ) forma duas células haploides ( $n$ ).
- haploide ( $2n$ ) forma quatro células haploides ( $n$ ).
- diploide ( $2n$ ) forma quatro células haploides ( $n$ ).
- haploide ( $2n$ ) forma quatro células haploides ( $n$ ).
- diplóide ( $2n$ ) forma 5 células haplóides ( $n$ ).



**03. (col.naval) No nosso corpo ocorrem dois tipos de divisão celular: a mitose, nas células do corpo em geral, e a meiose, nas células germinativas. Com relação à mitose e à meiose no corpo humano, pode-se inferir que:**

- na mitose, a partir de células iniciais com 46 cromossomos, formam-se células com a metade do número de cromossomos.
- a mitose é a divisão celular que forma os espermatozoides e os óvulos.
- na meiose, a partir de células iniciais com 46 cromossomos, formam-se células com 23 cromossomos.
- a meiose é a divisão celular que permite o crescimento dos organismos e a substituição das células que envelhecem e morrem.
- tanto na mitose quanto na meiose ocorre perda de cromossomos durante a divisão celular.



**04. (Udesc) As células em geral são estimuladas a se dividirem quando atingem um determinado tamanho, assim como por substâncias denominadas de fatores de crescimento celular, passando pelo chamado Ciclo Celular, que é subdivido em três fases: G1 – S – G2. Analise as proposições em relação ao ciclo celular, e assinale (V) para verdadeira e (F) para falsa.**

- Na fase S ocorre a duplicação do DNA.
- Na fase G2 ocorre o pareamento dos cromossomos homólogos.
- Na fase G1 todo o DNA está altamente condensado.
- Na fase S só ocorre em células que entram em mitose.
- Na fase G1 e na G2 as células apresentam a mesma quantidade de DNA.

**Com bases nas afirmativas, pode-se inferir que a sequência é**

- F - F - V - V - F.
- V - V - F - F - F.
- V - F - F - F - F.
- F - V - V - F - F.
- F - F - F - V - V.



**05. (Uepa) O crescimento populacional humano é produto da reprodução sem controle, que agrava os problemas de superpopulação mundial. Por outro lado, a reprodução nos organismos unicelulares ocorre por divisão celular, enquanto que nos organismos multicelulares esse processo é responsável pelo crescimento e reparo de tecidos.**

Sobre o processo em destaque, analise as afirmativas abaixo.

- I. A prófase I da meiose I possui cinco subfases: leptóteno, zigóteno, paquíteno, diplóteno e diacinese.
- II. Na telófase os cromossomos começam a se desespiralizar e adquirem a forma de fita.
- III. Na anáfase ocorre a separação das cromátides.
- IV. Na meiose I, a metáfase I se caracteriza pelo alinhamento dos pares homólogos na placa equatorial.
- V. O produto da meiose são quatro células haploides.

Com bases nas afirmativas, pode-se inferir que as corretas são

- a) I, II e IV.
- b) I, III e V.
- c) II, III e V.
- d) III, IV e V.
- e) I, II, III, IV e V.



## ATIVIDADES ENEM

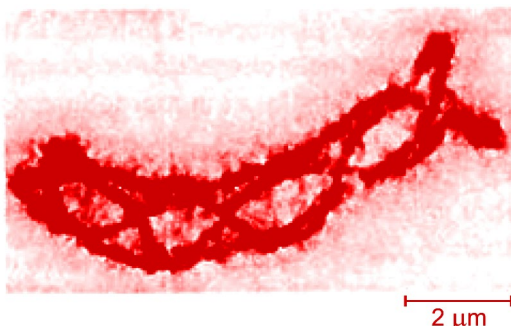


**06. (MODELO ENEM)** Sabendo-se que durante a meiose ocorre a separação dos cromossomos homólogos (cromossomos com mesma forma e tamanho, sendo um paterno e outro materno), considere então apenas quatro pares destes cromossomos homólogos em uma espermatogônia que inicia a meiose. A possibilidade de um indivíduo formar um espermatozoide que possua apenas cromossomos de origem paterna é de:

- a) 35%.
- b) 12,5%.
- c) 50%.
- d) 6,5%.
- e) 100%.



**07. (MODELO ENEM)** As figuras ilustram o processo de crossing-over, que ocorre na prófase I da meiose.

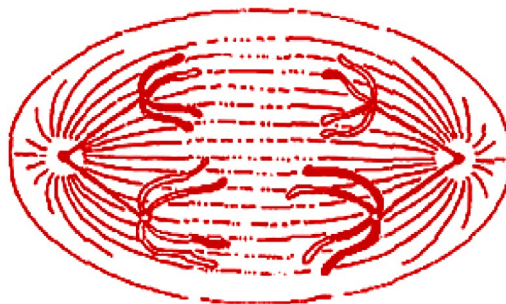


O aumento da variabilidade genética, gerada por esse processo, ocorre em função da permuta de:

- a) alelos entre cromátides irmãs.
- b) alelos entre cromátides homólogas.
- c) não alelos entre cromossomos homólogos.
- d) não alelos entre cromátides irmãs.
- e) não alelos entre cromossomos não homólogos.



**08. (MODELO ENEM)** Após uma aula sobre divisão celular, em células eucariontes, o professor projeta a imagem de uma célula  $2n=4$ , que representa uma das etapas estudadas, e pergunta a seus alunos qual fase e divisão celular estão sendo representadas. Observe a imagem da representação projetada e assinale, das alternativas abaixo, qual a resposta correta para a questão proposta pelo professor:



- a) Metáfase da Mitose.
- b) Anáfase da Mitose.
- c) Anáfase I da Meiose.
- d) Metáfase II da Meiose.
- e) Anáfase II da Meiose.



**09. (MODELO ENEM)** Ao observar a produção de vinho em uma vinícola, um grupo de turistas percebeu que vários tipos de uvas eram utilizados para fazer o vinho. Esses tipos ocorrem devido também à reprodução sexuada. A divisão celular meiótica garante o aumento da variabilidade genética através do(a)

- a) pareamento dos cromossomos homólogos durante a prófase I.
- b) terminalização dos quiasmas na diacinese.
- c) permuta que ocorre entre cromátides não irmãs no paquíteno.
- d) formação das tétrades na telófase II.
- e) formação do complexo sinaptonêmico no zigóteno.





10. (MODELO ENEM) As figuras abaixo mostram, de forma esquemática, células de um mesmo organismo em diferentes fases da mitose ou da meiose I. As células somáticas desse indivíduo apresentam número cromossômico  $2n = 6$ . Identifique em que fase da divisão celular se encontram as células representadas nas figuras 1 a 5, respectivamente.



Figura 1

Figura 2

Figura 3

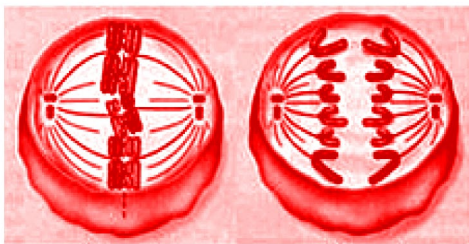


Figura 4

Figura 5

- metáfase, telófase I, prófase, metáfase I, telófase.
- metáfase I, anáfase, prófase I, metáfase, anáfase I.
- metáfase, anáfase I, prófase, metáfase I, anáfase.
- prófase I, anáfase I, metáfase, prófase I, anáfase.
- prófase, anáfase, metáfase I, prófase, anáfase I..



## GABARITOS

### QUESTÃO 01: Gabarito: [D]

**Comentário:** Durante a espermatogênese humana, a separação dos cromossomos homólogos ocorre no intervalo IV ( fase reducional), enquanto a separação das cromátides-irmãs se dá no intervalo VI.

### QUESTÃO 02: Gabarito: [C]

**Comentário:** O processo meiótico que leva à formação de gametas, em animais, ocorre em células germinativas diploides ( $2n$ ) e forma, a partir de cada uma, quatro células haploides ( $n$ ).

### QUESTÃO 03: Gabarito: [E]

**Comentário:** Todos os itens estão corretos e relacionados aos processos de divisão celular.

### QUESTÃO 04: Gabarito: [C]

**Comentário:** Durante a divisão celular meiótica, as células germinativas diploides com 46 cromossomos formam células gaméticas haploides com 23 cromossomos.

### QUESTÃO 05: Gabarito: [C]

**Comentário:**

[II] Falsa. O pareamento dos cromossomos homólogos ocorre durante o zigoteno da prófase I da meiose.

[III] Falsa. Durante o período G1 da interfase o DNA acha-se altamente descondensado.

[IV] Falsa. O período S, quando ocorre a síntese de DNA ocorre em células somáticas e germinativas.

[V] Falsa. No período G2 da interfase as células apresentam o dobro da quantidade de DNA do que o verificado durante o período G1, porque os cromossomos estão duplicados na fase que antecede a divisão celular.

### QUESTÃO 06: Gabarito: [D]

**Comentário:** Sabendo-se que a probabilidade do gameta masculino receber o cromossomo paterno, do par existente na espermatogônia, é igual a 50%, a probabilidade de os quatro cromossomos serem de origem paterna é igual a  $0,50,50,50,50,06256,25\%$ .

### QUESTÃO 07: Gabarito: [B]

**Comentário:** O crossing-over amplia a variabilidade genética através da permuta de genes alelos entre cromátides homólogos.

### QUESTÃO 08: Gabarito: [C]

**Comentário:** A disjunção dos pares de cromossomos homólogos ocorre durante a anáfase I da meiose.

### QUESTÃO 09: Gabarito: [C]

**Comentário:** Durante a divisão celular meiótica ocorre a permuta entre cromátides internas de cromossomos homólogos (não irmãs) durante o período denominado paquíteno da prófase I.

### QUESTÃO 10: Gabarito: [C]

**Comentário:** A figura 1 mostra a célula somática em metáfase da mitose; em 2 observamos a célula germinativa em anáfase I; em 3 observa-se a prófase. A figura 4 representa a metáfase I e a 5 a anáfase da mitose.

## REFERENCIAL TEÓRICO

ALBERTS, B.; BRAY, D.; LEWIS, J.; RAFF, M.; ROBERTS; WALTER, P.; *Biologia Molecular da Célula*. Porto Alegre: Artmed, 5ed. 2008.

COOPER G.M. & HAUSMAN R.E. *A Célula: uma abordagem molecular*. 3ed. Porto Alegre, Artmed, 2007

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. 3ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.

JUNQUEIRA L.C.U., CARNEIRO J. *Biologia Celular e Molecular*. 6ª ed. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 2005.

JUNIOR, C.S.; SASSON, S.; JUNIOR, N.C. *Biologia VOL 1 – 9º Ed.* São Paulo, Saraiva, 2010.

JUNIOR, C.S.; SASSON, S.; JUNIOR, N.C. *Biologia VOL 2 – 9º Ed.* São Paulo, Saraiva, 2010

LOPES, S.; ROSSO, S.; *BIO volume 2*. 1. Ed. São Paulo: Saraiva, 2010.

AMABIS, J.M.; MARTHO, G.R.; *Biologia volume 1: Biologia das Células 2*. Ed. São Paulo: Moderna, 2004.

AMABIS, J.M.; MARTHO, G.R.; *Biologia volume 1: Biologia das Células 2*. Ed. São Paulo: Moderna, 2010.

AMABIS, J.M.; MARTHO, G.R.; *Biologia volume 2: Biologia dos Organismos 3*. Ed. São Paulo: Moderna, 2004.

AMABIS, J.M.; MARTHO, G.R.; *Biologia volume 2: Biologia dos Organismos 3*. Ed. São Paulo: Moderna, 2010.

LINHARES, S.; GEWANDSZNAJDER, F.; *Biologia, volume único 1*. Ed. São Paulo: Ática, 2011.