

Núcleo celular

Divisão celular



A principal característica de um ser vivo, é a capacidade que este tem de se reproduzir e gerar descendentes, mas para que isso ocorra é necessário que as células, que são as menores unidades formadoras de um ser vivo, também se multipliquem e distribuam seu material genético.

Para tanto as células precisam passar por um processo chamado de **Divisão Celular**, que tem por funções formar os gametas com uma espantosa variabilidade genética, desenvolver e regenerar tecidos e substituir células mortas.

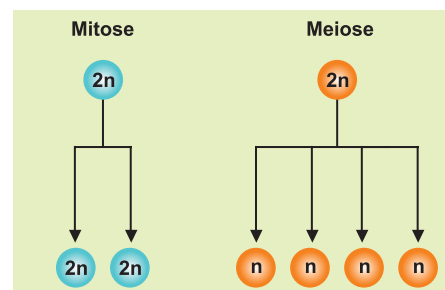
1- Introdução

Nos organismos multicelulares, podemos identificar, como regra geral, dois tipos de células: as **somáticas** e as **reprodutoras** (gametas). Somáticas são as células que formam o corpo (soma) e reprodutoras são as que se destinam à perpetuação da espécie.

Os cromossomos geralmente ocorrem aos pares nas células somáticas. Os cromossomos de cada par possuem genes para as mesmas características e são denominados **cromossomos homólogos**. Essas células que possuem cromossomos aos pares são denominadas **células diplóides** ou **2n**. Os **gametas**, que são células relacionadas com processos sexuais de reprodução, apresentam apenas um cromossomo de cada par de homólogos, sendo por isso denominadas **células haplóides** ou **n**. As células somáticas dividem-se, dando origem a outras células por um processo denominado **mitose**. As células reprodutoras são formadas por um processo de divisão celular denominado **meiose**.

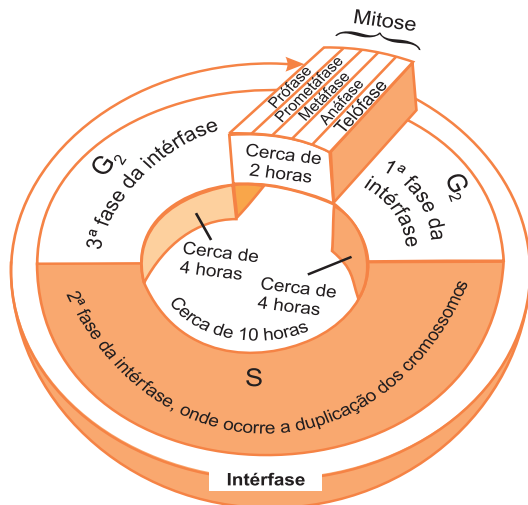
Na espécie humana, por exemplo, as células somáticas possuem 46 cromossomos, distribuídos em 23 pares de cromossomos homólogos. São células diplóides, pois possuem **2n** cromossomos. Cada uma delas, ao sofrer mitose, origina duas outras com 46 cromossomos, mantendo, portanto, o número de cromossomos da célula inicial. Nas células envolvidas com o processo de formação de gametas, uma célula inicial diplóide com 46 cromossomos originará quatro células com metade do número cromossomos da célula inicial, isto é, 23 cromossomos. Na meiose, os cromossomos homólogos separam-se, resultando células haplóides (**n**).

Na fecundação, um óvulo com 23 cromossomos une-se a um espermatozóide com 23 cromossomos, restabelecendo o número de cromossomos da espécie: 46.



2- Ciclo celular

No ciclo de vida das células, chamado **ciclo celular**, devemos considerar dois momentos: a **intérfase** e a mitose. A célula permanece em **intérfase** a maior parte da sua vida.



A **mitose** é um processo importante no crescimento dos organismos multicelulares e nos processos de regeneração de tecidos do corpo, pois ocorre nas células somáticas. Nos unicelulares, é o tipo de divisão que ocorre quando há reprodução assexuada por bipartição (**cissiparidade ou divisão binária**).

Tanto a intérfase como a mitose apresentam-se subdivididas em período ou fases, apenas por finalidade didática. Todos os processos que passaremos a descrever são contínuos. As fases nos auxiliam a entender mais facilmente cada passo do processo. Os períodos da intérfase são denominados G₁, S e G₂.

As fases da mitose são: **prófase, prometáfase, metáfase, anáfase e telófase**. Muitas vezes os eventos da prometáfase são descritos como pertencentes a uma única fase, sob o nome de prófase. Nesse caso, as fases da mitose seriam apenas quatro: prófase, metáfase, anáfase e telófase.

A separação final, em que as duas células individualizam-se é chamada **citocinese**.

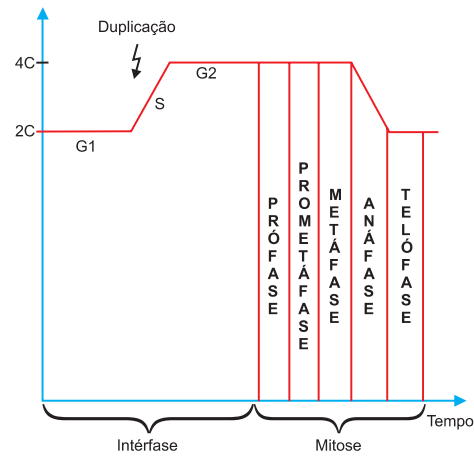
3- Intérfase: as células se preparam para a divisão

É na **intérfase** que ocorre a duplicação dos cromossomos, antes de se iniciar a divisão celular. Como o DNA é o principal constituinte dos cromossomos, pode-se construir um gráfico da quantidade de DNA no núcleo de uma célula em função do tempo.

Nas fases **G**, a quantidade de DNA celular mantém-se constante em função do tempo. Essa letra vem da palavra inglesa *gap*, que significa intervalo.

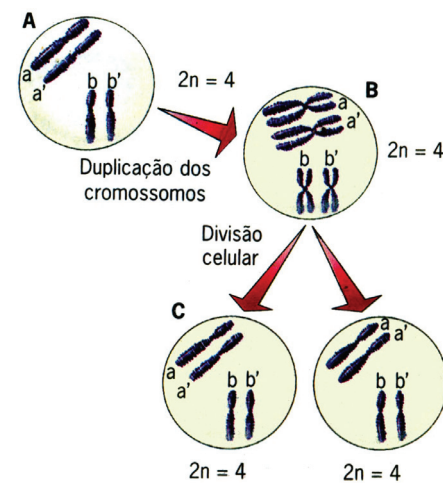
Em G₁, a quantidade de DNA é representada por **2C** e em G₂, por **4C**, indicando que houve uma duplicação da quantidade de DNA no período **S** (síntese). Após o período G₂ inicia-se a mitose.

Isso explica o porquê dos números de cromossomos das novas células manterem-se iguais aos da célula original.



A quantidade de DNA então retorna à mesma quantidade inicial, indicando que *na mitose a quantidade de DNA nas células-filhas é a mesma que a da célula-mãe*.

As fases da mitose



1- Prófase

A **prófase** é a primeira fase da mitose. Nessa etapa, os cromossomos já duplicados começam a se condensar, tornando-se visíveis. Cada cromossomo duplicado apresenta-se formado por duas cromátides, unidas pelo centrômero. As cromátides de um mesmo cromossomo chamam-se **cromátides-irmãs**.

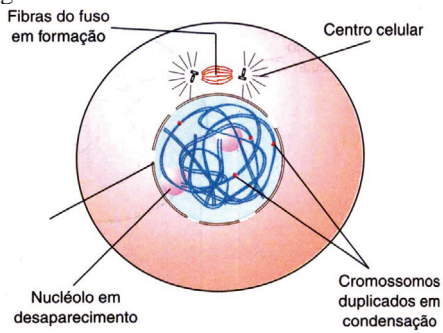
Enquanto os cromossomos estão se condensando, o nucléolo passa a se tornar menos evidente, desaparecendo ao final da prófase. O desaparecimento do nucléolo está relacionado ao fato de cessar a síntese de RNA nos cromossomos condensados. Sendo o nucléolo um local de intensa produção de RNAr, com a condensação dos cromossomos essa síntese cessa e o nucléolo desaparece.

No citoplasma, verificam-se modificações no centro celular (nas células animais e nas das plantas inferiores, o centro celular contém um par de centríolos) e nos microtúbulos do citoesqueleto.

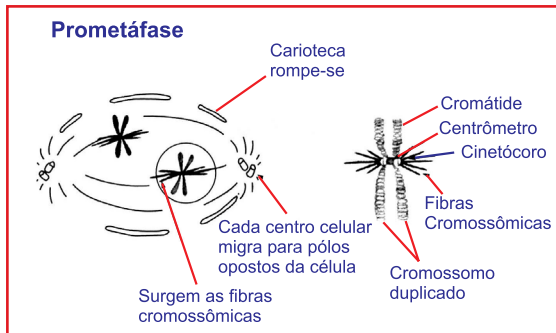
O centro celular divide-se. Quando os centríolos estão presentes, eles se duplicam. Nesse caso, cada novo centro celular formado terá um par de centríolos.

No início da prófase, os microtúbulos do citoesqueleto se desorganizam e as moléculas de tubulina que os compõem ficam livres no citosol. Essas moléculas serão utilizadas durante a divisão celular para formar os microtúbulos que comporão o **fuso mitótico**. Na prófase, surgem os primei-

ros elementos do fuso mitótico: as fibras do áster e as fibras polares. Essas fibras são organizadas pelos centros celulares, que atuam como centros organizadores de microtúbulos. Antigamente pensava-se que era os centríolos os centros organizadores do fuso mitótico. Entretanto, muitas espécies, incluindo todas as plantas superiores, formam fusos mitóticos e não possuem centríolos em seus centros celulares. Há atualmente evidências fortes indicando que o verdadeiro centro organizador de microtúbulos é o centro celular.



1.1-Prometáfase

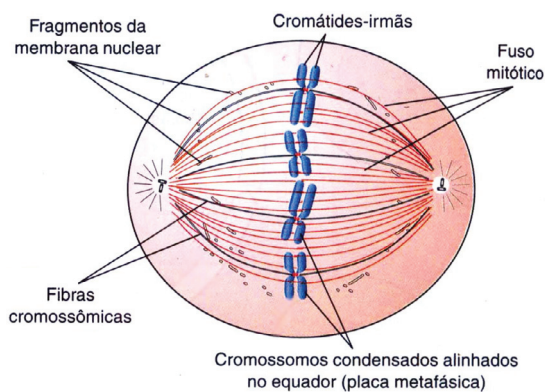


A prometáfase inicia-se logo a seguir com a ruptura da carioteca, não havendo mais limites físicos entre citoplasma e material nuclear. As fibras polares, que na prófase dispunham-se no citoplasma, ao redor do núcleo, podem agora penetrar na área ocupada pelo material nuclear. Os centros celulares atingem polos opostos na célula e, de cada um deles, partem as fibras polares que se sobrepõem na região equatorial.

Na verdade esta fase marca o fim da prófase e o início da metáfase.

2- Metáfase

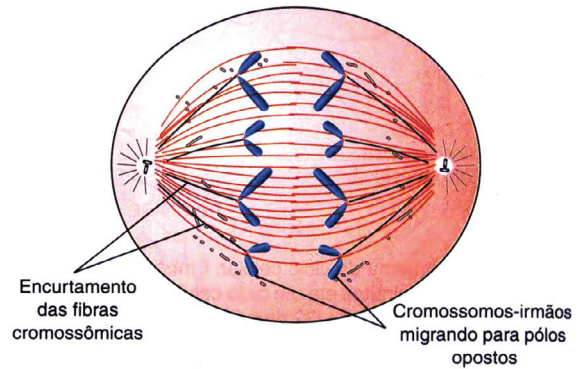
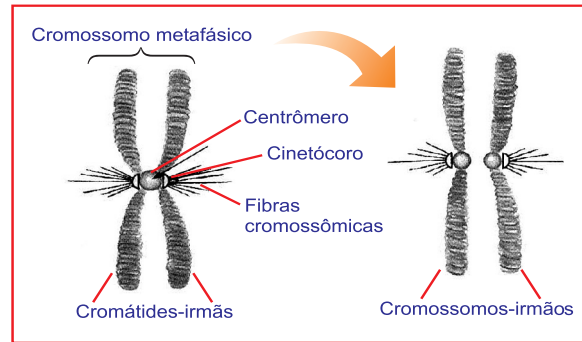
Na metáfase, os cromossomos presos às fibras polares através das fibras cinetocóricas encontram-se alinhados em um mesmo plano na região equatorial da célula. Esse plano recebe o nome de **placa metafásica** ou **equatorial**. Nesta fase, os cromossomos permanecem parados com essa dispo-



sição por um intervalo de tempo freqüentemente mais longo que o das demais fases da mitose. Enquanto os cromossomos permanecem estacionários, verifica-se no citoplasma intensa movimentação de partículas e organelas, que se dirigem equitativamente para polos opostos da célula.

Esta é a fase de melhor visualização dos cromossomos, pois atingem o seu mais alto grau de condensação e se dispõem no meio da célula.

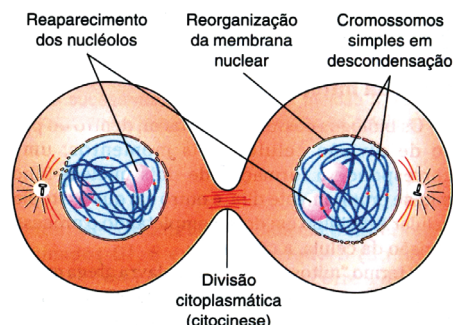
3- Anáfase



A anáfase inicia-se no momento em que o centrômero de cada cromossomo duplicado divide-se longitudinalmente, separando as cromátides-irmãos. Assim que se separam, as cromátides passam a ser chamadas de **cromossomos-irmãos**, e são puxados para os polos opostos da célula, orientados pelas fibras do fuso. Quando os cromossomos-irmãos atingem os polos da célula, termina a anáfase.

4- Telófase

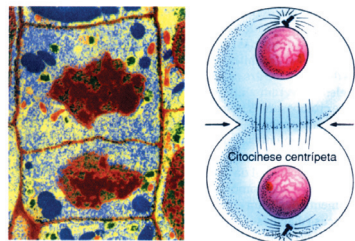
A **telófase** é a última fase da mitose. Nela ocorre praticamente o inverso do que ocorreu na prófase e início da prometáfase: a carioteca se reorganiza, os cromossomos se descondensam, o cinetócoro e as fibras cinetocóricas desaparecem e o nucléolo se reorganiza (com a descondensação dos cromossomos inicia-se a síntese de RNA e conseqüentemente o nucléolo reaparece).



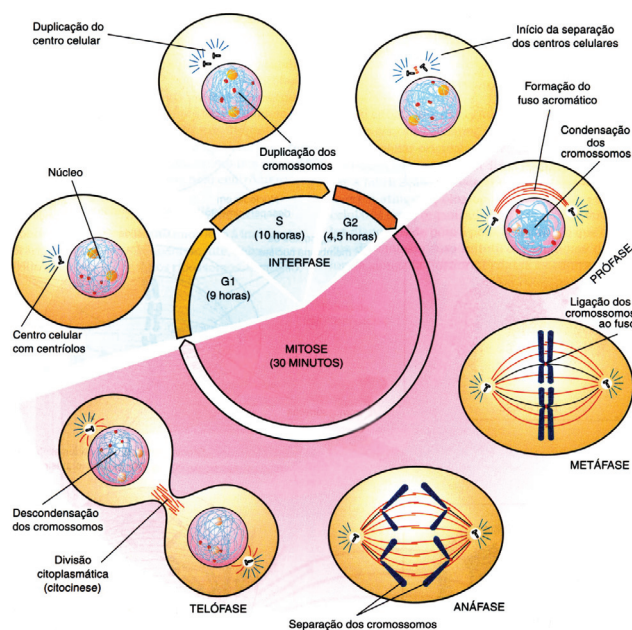
Os dois núcleos adquirem ao final da telófase o mesmo aspecto de um núcleo interfásico.

As fibras polares não desaparecem completamente nessa etapa, ficando restritas ao citoplasma.

Termina, assim, a mitose, que resulta na divisão do núcleo, também denominada **cariocinese**, e inicia-se a **citocinese**.



A citocinese animal é centrípeta, enquanto a vegetal é centrífuga.



O uso da colchicina durante a divisão celular

A colchicina é uma substância utilizada experimentalmente em Citologia para interromper a mitose na metáfase, fase em que os cromossomos encontram-se no máximo de sua condensação. Com isso, é possível estudar o número, a forma e o tamanho dos cromossomos das células das diferentes espécies, ou seja, é possível estudar o **cariótipo** das células.

A colchicina atua especificamente sobre as fibras do fuso, impedindo que os microtúbulos se organizem.

A mitose, portanto, progride só até a metáfase, não ocorrendo a anáfase. A célula pode voltar a um estado interfásico, com o dobro de cromossomos da célula inicial.

A mitose em células vegetais

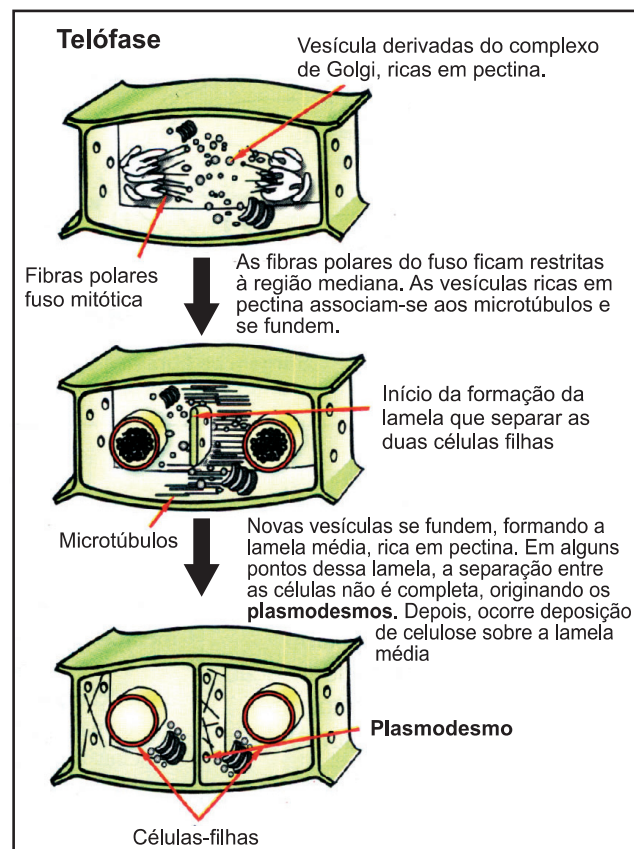
Na cariocinese e citocinese descritas anteriormente podem-se notar três pontos característicos:

Presença de centríolos – mitose cêntrica; Presença de fibras do áster – mitose astral; Citocinese – centrípeta (de fora para dentro). Na divisão das células de vegetais superiores, pode-se observar que: Não há centríolos – mitose acêntrica; Não há formação de fibras do áster mitose anastral; A citocinese é centrífuga (de dentro para fora). Na citocinese das células vegetais não ocorre invaginação da membrana plasmática, e sim formação centrífuga de uma placa celular, originada a partir de pequenas vesículas diferenciadas do **complexo de Golgi**, ricas em **pectina**.

O conjunto dessas vesículas é denominado **fragmoplasto**. Essas vesículas se fundem e seu conteúdo dá origem à **lamela média**. A seguir inicia-se a formação da parede celular, conforme esquematizado:

O que é pectina?

Pectina é um composto orgânico de natureza glicídica. É um polissacarídeo ramificado de significativa importância para estruturação da parede celular dos vegetais, cabe ainda ressaltar que é crucial para a formação da lamela média, que efetivará a citocinese centrífuga



Câncer: defeito no controle da divisão celular

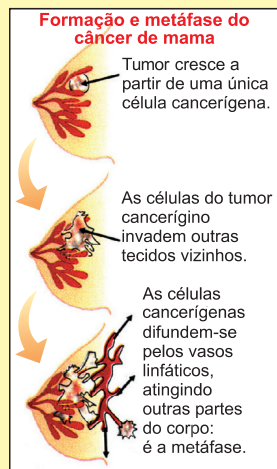
Se você cortar o dedo, verificará que, após algum tempo, o corte cicatrizará, ou seja, o seu corpo produzirá novas células por mitose, que repararão o ferimento. Assim que essas células terminarem de executar essa função, elas pararão de se dividir.

O principal fator que controla a divisão celular dos mamíferos, como o homem, é o contato físico entre as células. Assim que uma célula encosta em outra, ambas param de se dividir.

Outro fator que interfere no controle da divisão celular são proteínas, chamadas de **fatores de cres-**

cimento, produzidas por certos tipos de células do nosso corpo e difundidas pela corrente sanguínea, estimulando ou inibindo a divisão mitótica de outras células. Existe ainda um terceiro fator que controla a mitose de uma célula: uma outra proteína produzida pelas células e que atua dentro da própria célula. A base biológica do câncer é uma perda da capacidade normal da célula em regular sua divisão, seja por qualquer um desses três fatores mencionados. As células cancerígenas não param de se multiplicar nem mesmo quando encostam em outras células. Com isso, crescem sobre outras células, invadem tecidos saudáveis e multiplicam-se muito, formando massas celulares que são os tumores malignos. Elas têm a capacidade de se espalhar pelo corpo todo, formando as chamadas **metástases**.

Vários são os fatores que podem desencadear essa disfunção da capacidade de divisão das células. Existem causas genéticas e até mesmo causas virais. O câncer de mama, por exemplo, é genético, enquanto alguns tipos de leucemia são causados por infecção viral.



Meiose

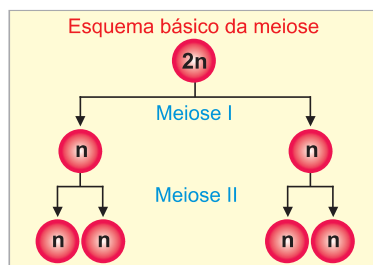
A **meiose** é a divisão celular que ocorre na formação dos gametas, reduzindo o número de cromossomos à metade. Assim, a célula-mãe diplóide gera células-filhas haplóides.

A meiose ocorre por duas divisões celulares sucessivas, dando origem a quatro células. Essas divisões são reunidas em duas etapas, denominadas **primeira divisão meiótica** e **segunda divisão meiótica** ou **meiose I** e **meiose II**, respectivamente.

A meiose I é **reducional** (reduz ao meio o número de cromossomos) e a meiose II é **equacional** (o número de cromossomos das células que se dividem mantém-se o mesmo nas células que se formam).

As fases das duas etapas da meiose são:

Meiose I	Meiose II
Prófase I	Prófase II
Metáfase I	Metáfase II
Anáfase I	Anáfase II
Telófase I	Telófase II

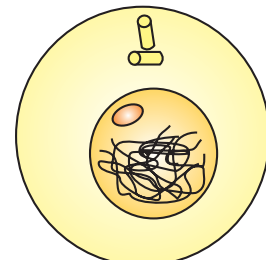


A prófase I da meiose I foi dividida, para facilidade de estudo, em cinco subfases consecutivas: **leptóteno**, **zigóteno**, **paquíteno**, **diplóteno** e **diacinese**.

As fases da Meiose I:

Na intérfase, os cromossomos estão desespiralizados, são finos, compridos e não são visíveis individualmente. É, no entanto, na intérfase que ocorre duplicação do DNA e, conseqüentemente, dos cromossomos, formando, assim, as cromátides. Após a duplicação dos cromossomos, inicia-se a divisão celular.

Duplicação dos cromossomos



Intérfase

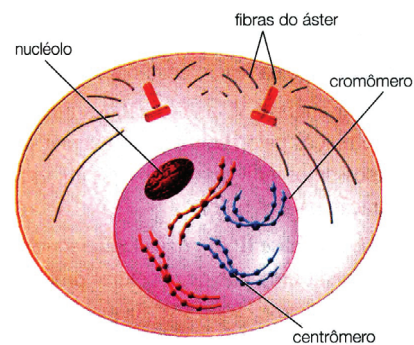
1- Prófase I:

Podemos dizer que é a fase mais importante da meiose, pois nela ocorre recombinações gênicas nos cromossomos homólogos responsáveis pela **variabilidade genética** dos indivíduos.

a) Leptóteno:

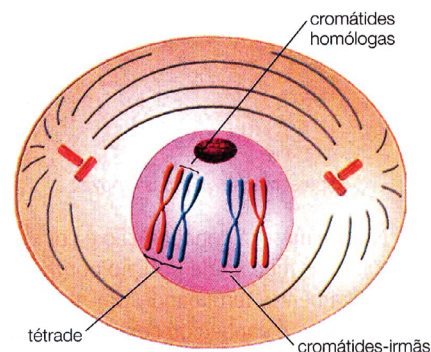
Como a duplicação dos cromossomos ocorre na intérfase, cada cromossomo, no leptóteno, é formado por duas cromátides.

No leptóteno, os cromossomos duplicados iniciam a sua condensação, podendo-se notar a presença de regiões mais condensadas, chamadas **cromômeros**. Os cromômeros têm a mesma distribuição ao longo de cromossomos homólogos e são encontrados em números iguais.



b) Zigóteno:

A condensação dos cromossomos progride, e os homólogos pareiam-se, num processo denominado **sinapse**. O início do pareamento ocorre no zigóteno e se completa no paquíteno. Na mitose não há pareamento de homólogos.



Os homólogos possuem quatro cromátides, constituindo uma **tétrade** ou **bivalente**, formada por:

- **Cromátides-irmãs:** as que se originam de um mesmo cromossomo;
- **Cromátides homólogos:** as que se originam de cromossomos homólogos.

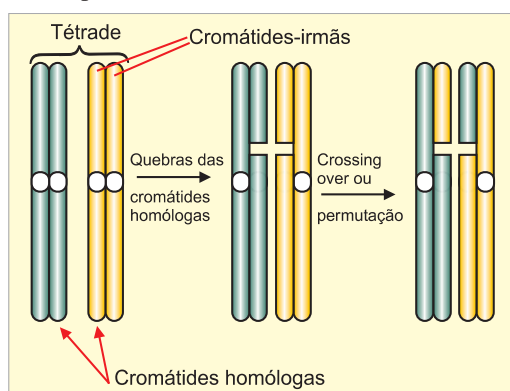
c) Paquíteno:

Os cromossomos homólogos já estão perfeitamente emparelhados, sendo possível, agora, visualizar melhor. Esta fase merecerá destaque, haja vista que, apresenta significativo valor evolutivo.

Duas cromátides homólogas podem sofrer uma ruptura na mesma altura, e os dois pedaços podem trocar de lugar, realizando, assim, uma **permutação** ou **crossing over**.

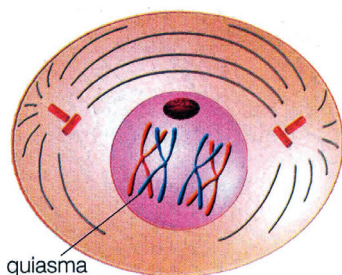
Como os cromossomos são portadores de genes, ocorre, em virtude do **crossing over**, recombinação gênica, processo importante no aumento da variabilidade gênica da espécie.

É importante lembrar que os cromossomos homólogos são um de origem materna e outro de origem paterna. Desta forma ocorre trocas de segmento de cromossomos herdados do pai e da mãe.



d) Diplóteno:

Os cromossomos homólogos começam a se afastar, mas permanecem ligados pelas regiões onde ocorreu o *crossing over*. Tais regiões constituem os **quiasmas** (do grego chi = letra X; quiasma = disposição em forma da letra X). O número de quiasmas fornece, então, o número de permutações ocorridas. Apesar de as permutações ocorrerem no paquíteno, os quiasmas são visíveis somente a partir do diplóteno.



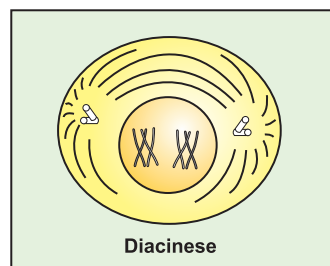
e) Diacinese:

Continua a ocorrer condensação dos cromossomos e separação dos homólogos. Com isso, os quiasmas vão escorregando para as pontas das cromátides, processo denominado **terminalização dos quiasmas**.

Os cromossomos homólogos só separam-se completamente quando os quiasmas desaparecem, o que ocorre na anáfase I.

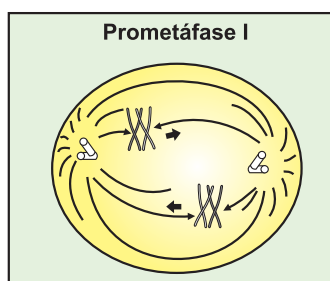
As modificações descritas até agora referiram-se aos cromossomos. Entretanto, é também possível notar que, à medida que as fases evoluem, o nucléolo e a carioteca desaparecem.

No citoplasma ocorre duplicação do centro celular e do centríolo e início da formação das fibras polares. Os centríolos atingem os pólos da célula na diacinese.



1.1- Prometáfase I:

Com o rompimento da carioteca, inicia-se a prometáfase I. As fibras polares passam a ocupar a região correspondente ao núcleo. Surgem os **cinetócoros** e as **fibras cinetocóricas** associadas a eles. Os cromossomos unem-se às fibras polares através das fibras cinetocóricas e dirigem-se para a região equatorial da célula.

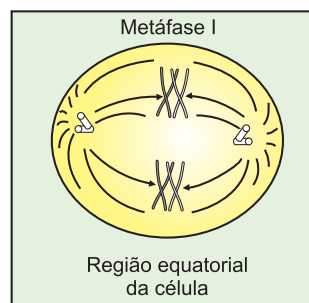


2- Metáfase I:

Os cromossomos duplicados e pareados permanecem dispostos no equador da célula. Os cromossomos atingem o máximo de condensação, e os quiasmas mantêm os cromossomos homólogos unidos.

Dois diferenças importantes devem ser mencionadas quando se compara a **metáfase da mitose** com a **metáfase da meiose I:**

- 1º) na mitose, os cromossomos homólogos não se encontram pareados na placa metafásica, enquanto na meiose I eles estão pareados e unidos pelo quiasma;
- 2º) na mitose, as fibras cinetocóricas de cada cromátide-irmã irradiam-se em sentidos opostos, enquanto na meiose I irradiam-se para o mesmo sentido.

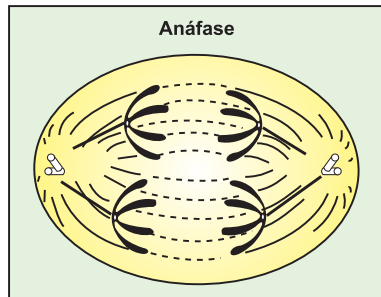


3- Anáfase I:

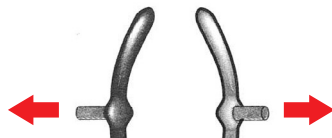
A anáfase I caracteriza-se pelo deslocamento dos cromossomos para os pólos. O par de cromossomos homólogos

separa-se, indo um cromossomo duplicado de cada par para um pólo da célula.

É importante salientar que **não** ocorre divisão do centrômero, como acontece na anáfase da mitose. Essa é uma importante diferença entre a anáfase da mitose e a anáfase I da meiose. Além disso, na mitose, ao final da anáfase, encontram-se **2n** cromossomos não-duplicados em cada pólo da célula, e na meiose I encontram-se **n** cromossomos duplicados. A esses cromossomos duplos da meiose I, isto é, as duas cromátides ligadas pelo centrômero, dá-se o nome de **díades**.

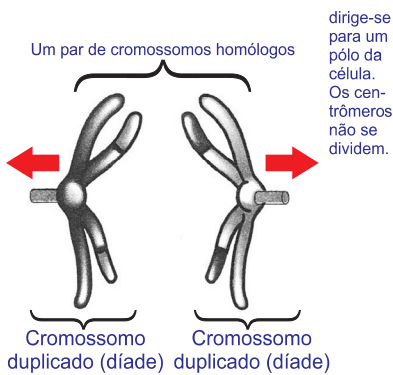


Ocorre divisões do centrômero e a cromátide de cada cromossomo duplicado dirige-se para um pólo de célula.



Anáfase (mitose)

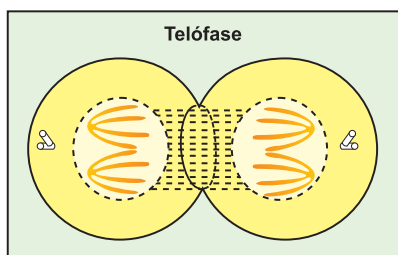
Cada cromossomo homólogo duplicado



Anáfase I (meiose)

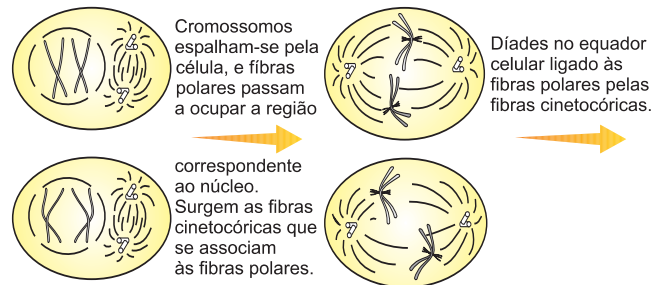
4- Telófase I:

Com a chegada das díades aos polos, termina a anáfase I e tem início a telófase I. O que ocorre na telófase I da meiose é bastante semelhante ao que acontece na telófase da mitose: os cromossomos desespiralizam-se, a carioteca e o nucléolo reorganizam-se e ocorre a citocinese.



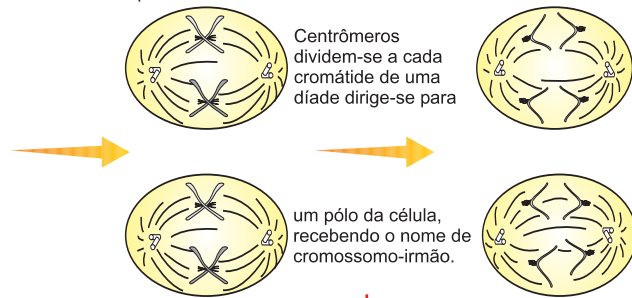
As fases da Meiose II:

A meiose II é extremamente semelhante à mitose. A formação de células haplóides a partir de outras haplóides só é possível porque ocorre, durante a meiose II, a separação das cromátides que formam as díades. Cada cromátide de uma díade dirige-se para um pólo diferente e já pode ser chamada cromossomo-irmão. As fases da meiose II são prófase II, prometáfase II, metáfase II, anáfase II e telófase II e podem ser vistas no esquema a seguir.



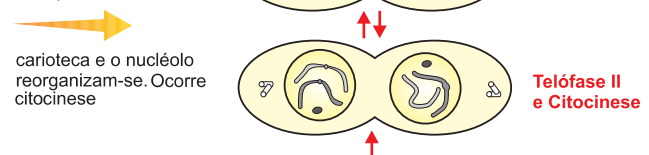
Prófase II

Cromossomos condensam-se, centríolos dividem-se. Carioteca e nucléolo desaparecem.



Anáfase II

Cromossomos-irmãos nos polos da célula. Fibras do fuso desaparecem e a



Telófase II e Citocinese

Gametogênese: formação dos gametas

A reprodução sexuada começa com a formação dos gametas, processo denominado **gametogênese** (gênesis = formação, origem).

Como são dois os tipos de gametas, existem dois tipos de gametogênese: a **espermatogênese**, que é o processo de formação dos espermatozoides, e a **ovogênese** ou **ovulogênese**, que é o processo de formação de óvulos.

A gametogênese nos animais ocorre nas gônadas, órgãos especializados para essa função.

Os espermatozoides são formados nas gônadas masculinas (testículos) e os óvulos, nas gônadas femininas (ovários).

Vamos analisar, como exemplo de gametogênese nos animais, a gametogênese humana.

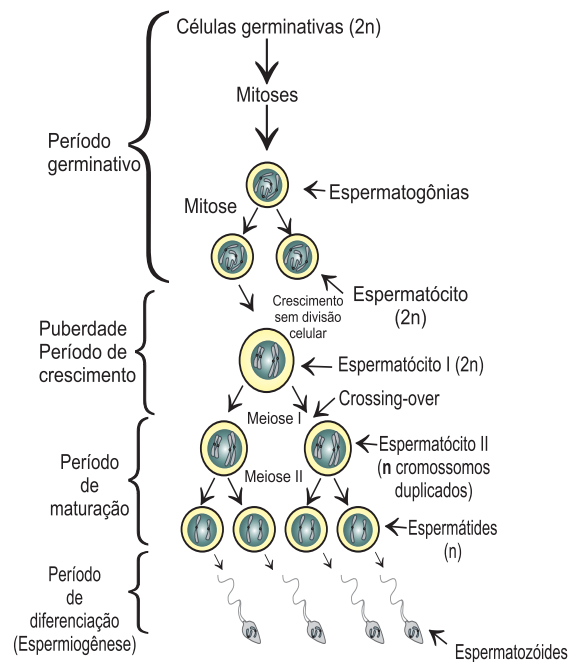
Espermatogênese: formação dos gametas masculinos

Observe o esquema da espermatogênese e acompanhe pelo texto a descrição do processo.

A espermatogênese inicia-se já durante o desenvolvimento embrionário. Nos testículos do embrião, células diplóides denominadas células **germinativas** passam a sofrer sucessivas divisões mitóticas, dando origem a várias **espermatogônias**. A formação de espermatogônias é, no entanto, um processo lento até o homem atingir a puberdade. Depois, intensifica-se muito, declinando novamente na velhice.

Quando o homem atinge a puberdade, algumas espermatogônias iniciam o processo de divisão celular por meiose, enquanto outras continuam a se dividir mitoticamente, produzindo mais espermatogônias.

Antes de ocorrer à divisão meiótica das espermatogônias, elas passam por um período de crescimento, aumentam um pouco de volume e passam a receber o nome de **espermátocitos primários** ou **espermátocitos I**.



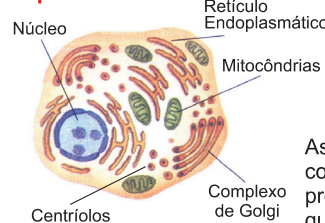
Estes são, portanto, células diplóides assim como as espermatogônias. Durante o período de crescimento não ocorre divisão celular.

Cada **espermátocito I** entra agora no período de maturação, em que ocorre a meiose. Como em toda meiose, ocorrem duas divisões sucessivas: meiose I e meiose II. Ao final da meiose I, que é reducional, formam-se duas células haplóides (**n**), chamadas **espermátocitos II**.

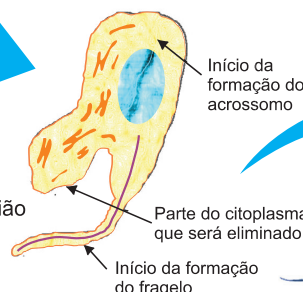
Os espermatócitos II sofrem meiose II, dando origem a células haplóides chamadas **espermátides** (tides masculinas).

Após o período de maturação, inicia-se o **período de diferenciação** ou **espermiogênese**, caracterizado pela diferenciação das espermatídes em espermatozoides.

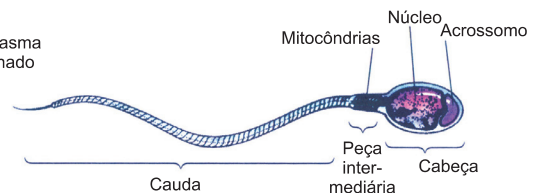
Espermátide



As mitocôndrias concentram-se na região próxima ao centríolo, que se transforma em flagelo. O complexo de Golgi concentra-se perto do núcleo.



Espermatozoide



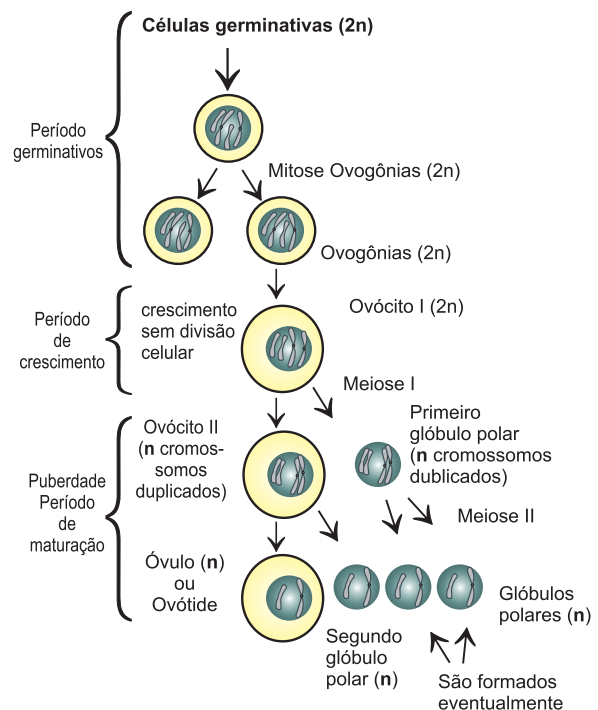
O espermatozoide pode ser dividido em três regiões: **cabeça**, **peça intermediária** e **cauda**. Na cabeça do espermatozoide humano, situam-se o núcleo e o acrossomo ou capuz acrossômico. O capuz acrossômico é uma transformação do complexo de Golgi e é nele que estão as enzimas que irão digerir a membrana do óvulo, na fecundação.

A peça intermediária apresenta muitas mitocôndrias, responsáveis pela liberação da energia necessária à movimentação do espermatozoide, que é efetuada pela cauda, um flagelo modificado.

A duração de uma espermatogênese completa no homem, desde o momento em que a espermatogônia inicia o período de crescimento até a formação do espermatozoide, é de 16 dias.

Ovogênese ou ovulogênese: formação dos gametas femininos

O esquema da ovogênese ou ovulogênese está representado a seguir. Analise-o e acompanhe a descrição do processo pelo texto.



A ovogênese inicia-se durante o desenvolvimento embrionário das mulheres. Células germinativas (2n) do ovário dividem-se por mitoses sucessivas, formando várias **ovogônias** (ou **oogônias**) diplóides. Estas também sofrem várias mitoses, formando novas ovogônias. Algumas delas começam a aumentar muito de tamanho, entrando no período de

crescimento. Formam-se assim os **ovócitos** (ou oócitos) **primários** ou **ovócitos I**. Na maioria das espécies, estes são consideravelmente maiores que os espermátocitos primários, em função da produção do vitelo, que servirá de nutriente para o embrião. Na espécie humana, praticamente não há síntese de vitelo nos ovócitos I.

Quando uma mulher nasce, seus dois ovários contêm cerca de 400 000 ovócitos primários. Nenhum ovócito é formado depois do nascimento e, destes que já se encontram formados, a maioria degenera.

A partir da puberdade, e até cerca de 50 anos de idade, a mulher passa a apresentar ciclos menstruais, que duram em média 28 dias. Em cada ciclo, geralmente um dos ovócitos primários entra no período de maturação. Considerando que a puberdade começa em média aos 12 anos de idade, podemos fazer o cálculo de quantos ovócitos podem amadurecer durante toda a vida fértil da mulher: cerca de 456, apenas. Compare esse número com o total aproximado de espermatozoides em uma única ejaculação: 300 milhões! Essas diferenças estão relacionadas, conforme já comentamos, com a função que cada uma dessas células exerce na fecundação.

Vamos acompanhar o que acontece com um ovócito primário. Inicialmente, ocorre a meiose I, dando origem a duas células com **n** cromossomos duplicados, como em toda meiose. A principal diferença que se verifica em relação à meiose I da espermatogênese é que se formam duas células de tamanhos diferentes: uma bem maior que a outra. A maior recebe o nome de **ovócito secundário** ou **ovócito II**. A menor recebe o

nome de **glóbulo polar** ou **corpúsculo polar**. Na espermatogênese, as células que se formam têm o mesmo tamanho e recebem o mesmo nome: são os espermátocitos II.

O ovócito II inicia a segunda etapa da meiose: a meiose II.

Na espécie humana e em muitas outras espécies animais, a meiose II só se completa se ocorrer a fecundação.

No caso da mulher, o ovócito II é eliminado do ovário após ter iniciado a segunda fase da meiose, mas com esse processo interrompido na metáfase II. Essa célula entra na tuba uterina e, se for fecundada, a meiose II se completa. O início da penetração do espermatozóide no ovócito II é um estímulo para que a meiose II se complete. Forma-se um segundo glóbulo polar, que se separa, e o ovócito passa a receber o nome de **ovótide** ou **oótide**. O primeiro corpúsculo polar formado na meiose I eventualmente também divide-se, dando origem a dois glóbulos polares. Como regra, os três glóbulos polares degeneram.

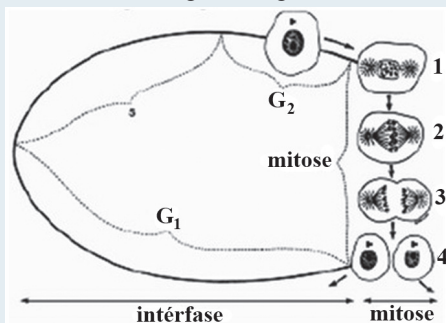
A ovótide assim formada é o próprio óvulo. *Na ovogênese, portanto, não há período de diferenciação como ocorre na espermatogênese.*

Curiosidade

Fisiologicamente falando, a mulher não libera óvulos, na verdade o que sai de seus ovários são ovócitos II, que só se transformam em óvulo quando a Meiose II se completa devido a presença do espermatozóide.

Para exercitar

80) (UEL 2005) Analise a figura a seguir.



Com base na figura e nos conhecimentos sobre os eventos da mitose, é correto afirmar:

- A fase 1 corresponde à Prófase, onde cada cromátide diminui de diâmetro.
- A fase 2 mostra cromossomos homólogos pareados em Metáfase.
- A fase 3 evidencia a atividade cinética dos microtúbulos.
- A fase 4 evidencia a ausência de citocinese em Telófase.
- A fase 4 evidencia a progressiva eliminação dos centríolos.

81) (UFAM - PSC 2008) Marque verdadeiro (V) ou falso (F).

- () Nas células animais verifica-se uma citocinese centrípeta;
- () Nas células animais, devido a presença de centríolos, a mitose é chamada acêntrica;
- () Nas células vegetais superiores ocorre a citocinese centrífuga;

- () Nas células vegetais, devido a presença de centríolos, a mitose é chamada cêntrica;
- () As fibras do fuso se formam somente e tão somente nas células animais.

Qual das alternativas abaixo corresponde a seqüência correta:

- F; F; V; F; F
- V; F; V; F; F
- V; V; V; F; F
- V; F; V; V; F
- F; F; F; F; V

82) (UFPA - PSS 2008 - 1ª Fase) O período que precede a mitose é denominado de interfase. Nessa fase ocorre a duplicação do DNA, evento que garante a transmissão das informações existentes na célula original para cada uma das células-filhas. A duplicação do DNA origina a formação de pares de

- cromátides-irmãs presas uma à outra pelo centrômero.
- cromossomos homólogos ligados pelos quiasmas.
- nucléolos portadores de genes alelos.
- cromossomos duplos, cada um com uma cromátide.
- cromatinas diplóides dispersas no nucléolo.

83) (UFRGS 2005) Considere as afirmações abaixo, referentes aos cromossomos homólogos.

- Durante a mitose e a meiose, quando os cromossomos são visíveis como entidades distintas, os membros de um par de homólogos são de mesmo tamanho e exibem localização centromérica idêntica.
- Durante os estágios iniciais da meiose, os cromos-

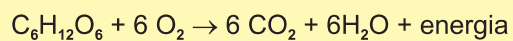
- 90) (UF Piauí - PSIU 2008 - Prova 1ª Série) Sobre a mecânica da divisão celular, é correto afirmar:
- o DNA é replicado na fase M e as duas cópias de cada cromossomo replicado permanecem juntas por coesinas.
 - a citocinese em eucariotos é mediada por um anel contrátil, que é composto de filamento de actina e miosina e uma grande variedade de outras proteínas.
 - as cromátides irmãs se separam sincronizadamente para formar dois cromossomos-filho durante a prófase.
 - os cromossomos ligam-se aos microtúbulos do fuso por meio dos seus cinetócoros e sofrem movimentos ativos.
 - os cromossomos-filho separam-se em dois grupos iguais, nas extremidades da célula, e começam a descondensação na telófase.
- 91) (UFG - 2008 - Primeira Etapa) O ciclo celular pode ser interrompido em determinadas fases para evitar a produção de células com erro no DNA. A ausência de controle da divisão celular relaciona-se diretamente com o desenvolvimento de neoplasia (câncer). Um exemplo de controle do ciclo celular é a interrupção em G1 pela proteína p53, quando uma lesão no DNA é detectada. O que ocorre com uma célula quando essa proteína é ativada?
- Permanece em G0.
 - Interrompe a síntese de DNA.
 - Duplica os cromossomos.
 - Torna-se poliplóide.
 - Passa para a fase S.
- 92) (UFPA - Processo Seletivo Seriado 2007 - 1ª Fase) A prófase é a primeira fase do processo de divisão celular denominado de mitose. Nessa fase, o nucléolo começa a se tornar menos evidente, e termina por desaparecer. A desintegração do nucléolo está relacionada à
- separação e distribuição dos cromossomos para as células filhas.
 - necessidade dos cromossomos de se ligar às fibras do fuso.
 - interrupção da síntese de RNA nos cromossomos condensados.
 - disposição dos cromossomos na região mediana da célula.
 - duplicação dos cromossomos.
- 93) (UFGD - MS - Prova A - PSV - 13/01/2008) Colocando-se ao microscópio óptico um preparado contendo a extremidade de uma raiz de cebola, podem-se observar células em diferentes fases da mitose. Dentre essas fases, a metáfase distingue-se por
- organizadores nucleares, reconstruindo nucléolos.
 - cromatina condensada, formando unidades cromossômicas.
 - cromossomos fortemente condensados e dispostos na região mediana da célula.
 - dois lotes cromossômicos, puxados pelas fibras em direção aos pólos opostos.
 - material genético despiralizado no centro da célula.
- 94) (UNIFESP 2007 - Prova de Conhecimentos Gerais) Certos fármacos, como a colchicina, ligam-se às moléculas de tubulina e impedem que elas se associem para formar microtúbulos. Quando células em divisão são tratadas com essas substâncias, a mitose é interrompida na metáfase. Células contendo dois pares de cromossomos homólogos foram tratadas com colchicina, durante um ciclo celular. Após o tratamento, essas células ficaram com:
- quatro cromossomos.
 - dois cromossomos.
 - seis cromossomos.
 - dez cromossomos.
 - oito cromossomos.
- 95) (Universidade Estadual de Alagoas - Funesa - Vestibular 2007 - Grupo 4) O gráfico abaixo ilustra a variação da quantidade de DNA durante o ciclo de vida de uma célula. Nessa figura, a fase da divisão mitótica na qual os cromossomos atingem seu grau máximo de condensação e se dispõem no plano equatorial da célula, formando a chamada placa equatorial, está indicada em:
-
- Quantidade de DNA
- 4C
- 2C
- C
- 1 2 3 4 5 6 7 tempo
- Interfase Mitose Interfase
- 2
 - 3
 - 4
 - 5
 - 6
- 96) (UF Lavras - MG - Primeira Fase - Julho 2007) Na espécie humana, o número diplóide de cromossomos é 46. Quantos cromossomos serão encontrados, respectivamente, nos espermatozóides, óvulos e células epidérmicas?
- 23, 23, 46
 - 22, 22, 46
 - 22, 22, 44
 - 23, 23, 44
 - 46, 46, 23
- 97) (UNIFOR - Prova de Conhecimentos Gerais - 2008.1) Considere as afirmações abaixo.
- A mitose é o único tipo de divisão celular na reprodução assexuada.
 - Nos animais, a meiose ocorre sempre durante a formação dos gametas.
 - A meiose espórica ocorre nos vegetais.
- É correto o que se afirma em
- I, somente.
 - II, somente.
 - I e III, somente.
 - II e III, somente.
 - I, II e III.
- 98) (UNIFAL - Universidade Federal de Alfenas - MG - 2006/2) A meiose é um processo de divisão celular que ocorre exclusivamente nos organismos com reprodução sexuada. Com relação a esse processo nos animais é incorreto afirmar que:
- tem como objetivo a formação de gametas.
 - ocorre em todos os protozoários.
 - resulta em células haplóides.
 - ocorre nos testículos e ovários.
 - apresenta duas divisões consecutivas.

Respiração celular

A respiração celular é um fenômeno que consiste basicamente no processo de extração da energia química acumulada nas moléculas de substâncias orgânicas diversas, tais como carboidratos e lipídios. Nesse processo, verifica-se a oxidação ou “queima” de compostos orgânicos de alto teor energético, com a conseqüente formação de substâncias de menor conteúdo energético, como o gás carbônico e a água, além da liberação de energia, que é utilizada para que possam ocorrer as diversas formas de trabalho celular.

1- Importância da respiração

Nos organismos aeróbicos, a equação simplificada da respiração celular pode ser assim representada:



Na respiração, grande parte da energia química liberada durante a oxidação do material orgânico se transforma em calor. Essa produção de calor contribui para a manutenção de uma temperatura corpórea em níveis compatíveis com a vida, compensando o calor que normalmente um organismo cede para o ambiente, sobretudo nos dias de frio. Isso se verifica principalmente em aves e mamíferos; em outros grupos, como os anfíbios e os répteis, o organismo é aquecido basicamente através de fontes externas de calor, quando, por exemplo animal se expõe ao sol.

A energia química cedida pelo ATP pode ser empregada na síntese de inúmeras substâncias que compõem a matéria viva, como as proteínas; no transporte ativo de íons e moléculas através da membrana plasmática; na condução de impulsos nervosos nos neurônios e nas divisões celulares, entre outros exemplos.

Em determinados músculos de certos animais, a energia química do ATP pode se transformar em energia elétrica; é o que no poraquê ou peixe elétrico, comum na região Amazônica, no qual as correntes elétricas geradas, que podem ser superiores a 200 volts, são empregadas tanto na defesa do animal como na captura de presas. Em outros animais, como os vaga-lumes ou ainda certos peixes marinhos, que vivem em regiões muito profundas, a energia química do ATP pode se transformar em energia luminosa; admite-se que a emissão de luz facilita a aproximação de indivíduos do sexo oposto, favorecendo o acasalamento.

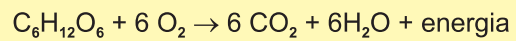
2- Os dois tipos de respiração celular

Já vimos que nos seres vivos a energia química do alimento pode ou não ser extraída com a utilização do gás oxigênio. No primeiro caso, a respiração é chamada aeróbica. No segundo, anaeróbica.

Respiração aeróbica

Você sabe que a respiração aeróbica se desenvolve sobretudo nas mitocôndrias, organelas citoplasmáticas que atuam como verdadeiras “usinas” de energia.

Vamos retomar a equação simplificada da respiração aeróbica:



Analisando esta equação, verifica-se que a molécula de glicose ($C_6H_{12}O_6$) é “desmontada” de maneira a originar substâncias relativamente mais simples (CO_2 e H_2O). A “desmontagem” da glicose, entretanto, não pode ser efetuada de forma repentina, uma vez que a energia liberada seria muito intensa e comprometeria a vida da célula. É preciso, portanto, que a glicose seja “desmontada” gradativamente. Assim, a respiração aeróbica compreende, basicamente, três fases: glicólise, ciclo de Krebs e cadeia respiratória.

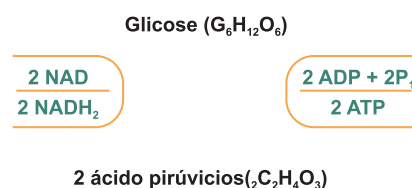


Esquema de uma mitocôndria. Essa organela existe nas células animais e vegetais, operando como sede da respiração aeróbica. Enquanto a glicólise ocorre nas mitocôndrias.

Glicólise

Glicólise significa “quebra” da glicose. Nesse processo, a glicose converte-se em duas moléculas de um ácido orgânico dotado de 3 carbonos, denominado ácido pirúvico ($C_3H_4O_3$). Para a glicose ser ativada e tomar-se reativa, a célula consome 2 ATP. No entanto, a energia química liberada no rompimento das ligações químicas da glicose permite a síntese de 4 ATP. Portanto, a glicólise apresenta um saldo energético positivo de 2 ATP.

Na conversão da glicose em ácido pirúvico, verifica-se a ação de enzimas denominadas desidrogenases, responsáveis, como o próprio nome diz, pela retirada de hidrogênios. Nesse processo, os hidrogênios são retirados da glicose e transferidos a dois acceptores denominados NAD (nicotinamida adenina dinucleotídeo). Cada NAD captura 2 hidrogênios. Logo, formam-se 2 $NADH_2$. Assim, a glicólise pode ser esquematizada do seguinte modo:

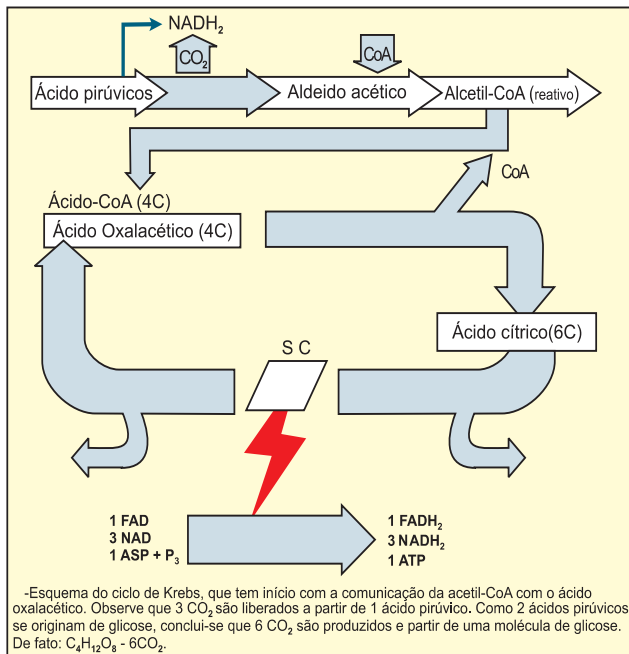


A glicólise é um fenômeno que ocorre no hialoplasma, sem a participação do O_2 .

Ciclo de Krebs

Acompanhe a descrição do fenômeno, observando a figura. O ácido pirúvico, formado no hialoplasma durante a glicólise, penetra na mitocôndria, onde perde CO_2 , através da ação de enzimas denominadas descarboxilases. O ácido pirúvico, então, converte-se em aldeído acético.

O aldeído acético, pouco reativo, combina-se com uma substância denominada coenzima A (CoA), originando a acetil-coenzima A (acetil-CoA), que é reativa. Esta, por sua vez, combina-se com um composto já existente na matriz mitocondrial, chamado ácido oxalacético. Nesse momento, inicia-se o ciclo de Krebs, fenômeno biológico que ocorre na matriz mitocondrial.



Da reação da acetil-CoA com o ácido oxalacético surge o ácido cítrico. Essa molécula sofre uma série de desidrogenações (perdas de hidrogênio) e de descarboxilações (perdas de carbono) até originar uma nova molécula de ácido oxalacético, definindo um ciclo de reações, que constitui o ciclo de Krebs. Neste ciclo, portanto, o ácido oxalacético é reagente – pois é de sua reação com a acetil-CoA que surge o ácido cítrico – e produto – pois é produzido a partir de transformações do ácido cítrico.

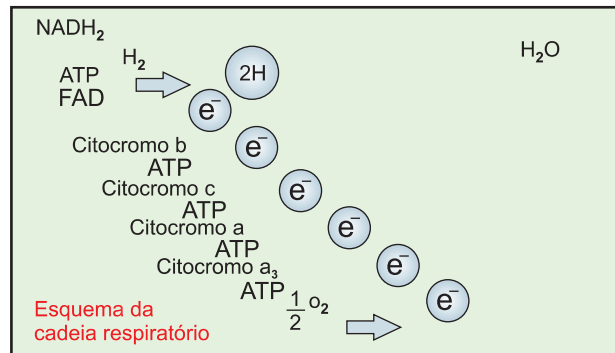
Você pode observar no esquema que durante o ciclo de Krebs ocorre liberação de gás carbônico (CO₂) e desidrogenações diversas. Os hidrogênios retirados são capturados por aceptores, que podem ser o NAD (nicotinamida adenina dinucleotídeo) ou o FAD (flavina adenina dinucleotídeo), com a conseqüente produção de NADH₂ e FADH₂.

Nesse processo, cada acetil-CoA “moída” libera:

- Energia suficiente para a síntese de uma molécula de ATP;
- Hidrogênios que permitem a produção de três moléculas de NADH₂ e uma de FADH₂.

Da molécula original de glicose restam, agora, apenas os hidrogênios que foram capturados para formar NADH₂ e FADH₂. Os átomos de carbono da glicose são expelidos para o meio externo na forma de CO₂.

Cadeia respiratória



Essa fase ocorre nas cristas mitocondriais. Os hidrogênios retirados da glicose e presentes nas moléculas de FADH₂ e NADH₂ são transportados até o oxigênio, formando água. Dessa maneira, na cadeia respiratória o NAD e o FAD funcionam como transportadores de hidrogênios.

Na cadeia respiratória verifica-se também a participação de citocromos, que têm o papel de transportar os elétrons dos hidrogênios. À medida que os elétrons passam pela cadeia de citocromos, liberam energia gradativamente. Essa energia é empregada na síntese de ATP.

Note que cada NADH₂ cede 2 H para o FAD. No processo, libera-se energia suficiente para a formação de 1 ATP. O FADH₂ cede elétrons para a cadeia de citocromos. Ao passarem pelos citocromos, os elétrons liberam energia de forma gradativa, permitindo a síntese de mais 2 ATP. No final da cadeia, os elétrons são recolhidos pelo oxigênio (1/2 O₂), que se reduz a O⁻. Observe que, quando o FAD fornece elétrons para a cadeia de citocromos, “sobram” 2 H⁺. Os íons H⁺ combinam-se com o O⁻, formando água.

O balanço energético da respiração

Os números que vamos propor a seguir não são absolutos; há algumas discordâncias dos especialistas em relação a eles. No entanto, vamos tentar dar uma noção do rendimento energético da glicose, durante o processo de respiração celular.

Veja a tabela abaixo, na qual vamos proceder a uma contagem dos ATP produzidos durante o processo. Vamos computar tanto os ATP produzidos diretamente (na glicólise e no ciclo de Krebs), como aqueles produzidos através da oxidação dos hidrogênios, nas cadeias respiratórias.

Glicólise 4 ATP - 2ATP gastos para ativação		→	2 ATP
Hialoplasma 2NADH ₂ X3 ATP		→	6 ATP
Rendimento total da glicose		→	8 ATP
Mitocondrias	1) ácido pirúvico → Ácido acético: 1 NADH ₂ -----	X 3 ATP →	3 ATP
	3 NADH ₂ -----	X 3 ATP →	9 ATP
	1 FADH ₂ -----	X 2 ATP →	2 ATP
	1 ATP -----	→	1 ATP
Rendimento total da transformação de 1 molécula de ácido pirúvico		→	15 ATP
Rendimento total da transformação de 2 molécula de ácido pirúvico		→ 2X 15 ATP →	30 ATP
Total de ATP produzido por molécula de glicose:			38 ATP

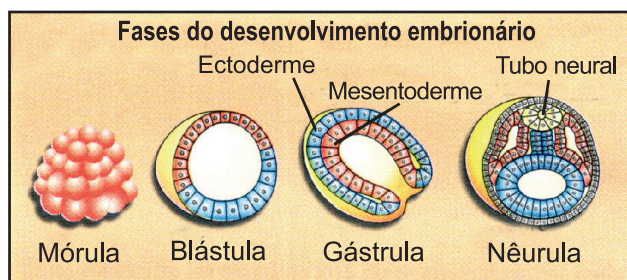
Embriologia

Não existe fenômeno mais fascinante que o desenvolvimento de um bebê a partir da união de um óvulo e um espermatozóide. É quase inacreditável que a união de 2 células tão minúsculas resultem em um novo ser.

A **embriologia** é a parte da Biologia que estuda o desenvolvimento do embrião. Esse desenvolvimento, denominado **ontogênese**, ocorre em um primeiro momento através de sucessivas divisões celulares; a seguir, as células resultantes se especializam, formando diferentes tecidos; finalmente ocorre a integração desses tecidos e órgãos nos vários sistemas que formam o organismo. A coordenação desses processos é feita pelo DNA presente no núcleo das células em desenvolvimento.

Durante o seu desenvolvimento embrionário, os seres vivos passam por uma série de fases:

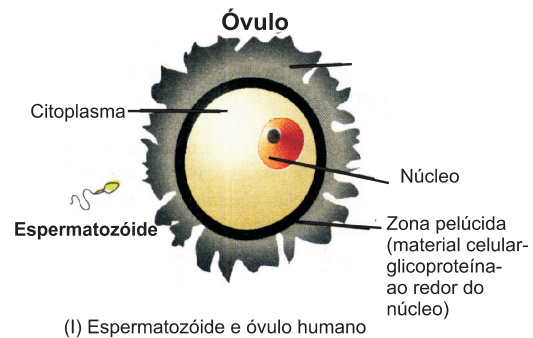
- **Fecundação:** é a união dos gametas masculino e feminino, formando a **célula-ovo** ou **Zigoto**.
- **Segmentação:** é o período em que a célula-ovo se divide sucessivamente até as células resultantes formarem uma pequena esfera maciça de células chamada **mórula**. Esta vai se transformando em uma estrutura esférica oca chamada **blástula**, formada por uma camada de células que envolve uma cavidade.
- **Gastrulação:** é o período em que as células embrionárias da blástula se transformam e se movimentam até formarem a **gástrula**, que inicialmente é formada por duas camadas: a **ectoderme** e a **mesentoderme**. Esta, por sua vez, dá origem a duas novas camadas celulares: a **endoderme** e a **mesoderme**. As transformações continuam, formando-se uma nova estrutura: a **nêurula**.
- **Nêurula:** nessa fase forma-se o tubo neural, na região dorsal do embrião.
- **Organogênese:** é a fase seguinte à nêurula. Nela se formam os órgãos e os sistemas do novo ser.



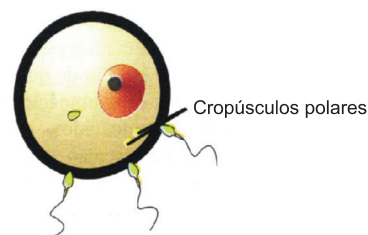
A fecundação

Nos animais, quando um espermatozóide atinge o óvulo, são liberadas enzimas que dissolvem a membrana dessa célula. Em seguida, o núcleo do espermatozóide penetra no óvulo, passando a se chamar, no momento da fecundação, **pronúcleo masculino**. Este se funde como núcleo do óvulo, agora chamado **pronúcleo feminino**, formando um núcleo diplóide que recebe o nome de **núcleo de fecundação**. Cha-

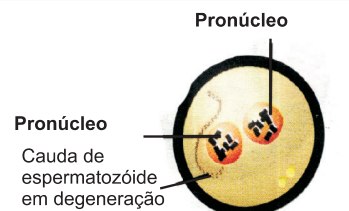
ma-se **cariogamia** ou **anfimixia** a fusão dos pronúcleos que resulta na formação da célula-ovo, ou **zigoto**, que, então, entra em desenvolvimento e dá origem a um novo ser.



(I) Espermatóide e óvulo humano



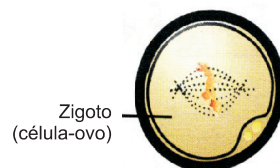
(II) Espermatóide dentro do óvulo. Desaparece a corona radiada.



(III) A cabeça do espermatozóide forma pronúcleo masculino

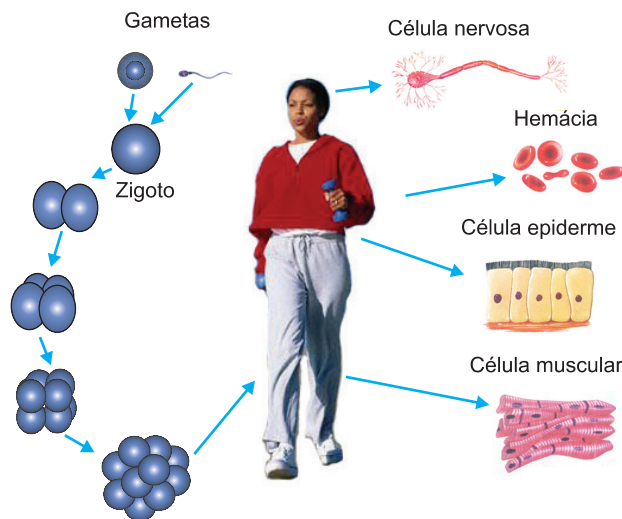


(IV) Fusão dos pronúcleos: núcleo de fecundação



(V) Formação do Zigoto-Preparação para a 1ª segmentação

O desenvolvimento do zigoto faz-se por meio de sucessivas divisões mitóticas, através das quais surgem as células que constituem o organismo. Formam-se desse modo vários tipos de células que, embora possuam o mesmo DNA e, portanto, o mesmo conjunto de gens, têm formas e funções diversas. Isso significa que, à medida que as divisões mitóticas ocorrem, as células vão se diferenciando, isto é, especializando-se para desempenhar as suas funções no organismo.



A partir da célula-ovo, sucessivas divisões mitóticas produzem formas celulares compondo o organismo.

Classificação dos óvulos

Os óvulos, gametas femininos, ao se formarem, armazenam em seu citoplasma reservas nutritivas que, em conjunto, constituem o **vitelo** ou **deutoplasma**.

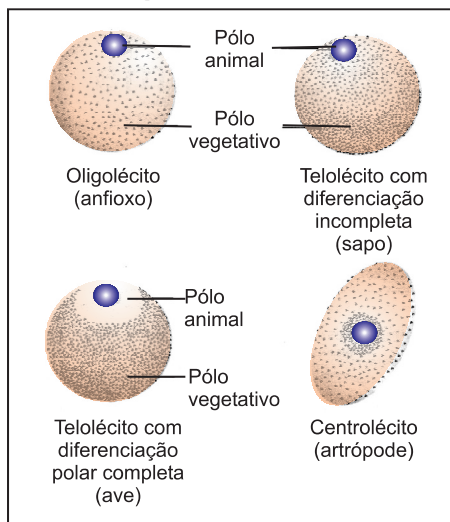
Os embriões animais apresentam diferentes necessidades de vitelo, de acordo com o meio em que irão se desenvolver. Nas aves, por exemplo, os embriões desenvolvem-se fora do organismo materno. Para suprir as necessidades alimentares dos futuros embriões, os óvulos possuem reservas de grande quantidade de vitelo.

Na quase totalidade dos mamíferos o processo é diferente. Esses animais desenvolvem-se no interior do próprio organismo materno, de onde obtêm alimento através de uma estrutura especial, a **placenta**. Assim, os óvulos de mamíferos não necessitam armazenar muito vitelo.

No óvulo, a região onde se concentra o vitelo é chamada **pólo vegetativo**, e aquela em que se concentra o citoplasma contendo o núcleo é chamada **pólo animal**.

De acordo com a quantidade de vitelo que possuem, os óvulos são classificados em **oligolécitos** (isololécitos ou alécitos), **telolécitos incompletos** (heterolécitos ou mediolécitos), **telolécitos completos** (megalécitos) e **centrolécitos**.

Tipos de óvulos



a) Ovo oligolécito:

Ovos **oligolécitos** (do grego *olígos*, pouco, e *lékithos*, gema de ovo) possuem relativamente pouco vitelo, distribuído mais ou menos homogêneo no citoplasma. Quase sempre, porém, existe um ligeiro acúmulo de vitelo em um dos pólos, que recebe o nome de **pólo vegetativo**. O pólo oposto, com menos vitelo e que contém o núcleo, é denominado **pólo animal**. Possuem esse tipo de ovo os anfioxos, os equinodermos e os mamíferos.

b) Ovo heterolécito:

Ovos **heterolécitos** (do grego *héteros*, diferente) apresentam quantidade relativamente grande de vitelo, distribuído heterogeneamente no citoplasma. O pólo vegetativo apresenta alta densidade de grãos de vitelo, e isso faz com que o núcleo desloque-se para pólo animal. Esse tipo de ovo está presente em moluscos, anelídeos, alguns peixes e anfíbios.

c) Ovo telolécito:

Ovos **telolécitos** (do grego *télos*, extremidade) apresentam enorme quantidade de vitelo, o que faz as estruturas citoplasmáticas e o núcleo ficarem completamente deslocados e isolados no pólo animal. É um tipo de ovo característico de certos peixes, répteis e aves.

d) Ovo centrolécito:

Ovos **centrolécitos** (do grego *kentrón*, centro) possuem vitelo distribuído em grânulos ao redor do núcleo. Esse tipo de ovo está presente em artrópodes, como insetos, aranhas e crustáceos.

Tipos de Óvulos	Características	Ocorrência
<ul style="list-style-type: none"> Alécitos Oligolécitos Isolécitos 	<ul style="list-style-type: none"> Apresenta pouco vitelo, com distribuição homogênea ou quase homogênea pelo citoplasma 	<ul style="list-style-type: none"> Equinodermos. Protocordados. Mamíferos (exceto Monotremos)
<ul style="list-style-type: none"> Telolécito incompleto Heterolécito Médiolécito 	<ul style="list-style-type: none"> Quantidade mediana de vitelo. Apresenta dois pólos*: <ul style="list-style-type: none"> -PÓLO ANIMAL: <ul style="list-style-type: none"> • Pouco vitelo -PÓLO VEGETATIVO <ul style="list-style-type: none"> • Mais vitelo 	<ul style="list-style-type: none"> Anelídeos. Moluscos (exceto Cefalópodes) Anfíbios. Peixes.
<ul style="list-style-type: none"> Telolécito completo Megalécito 	<ul style="list-style-type: none"> Grande quantidade de vitelo Apresenta dois pólos*: <ul style="list-style-type: none"> -PÓLO ANIMAL: <ul style="list-style-type: none"> • Pouco vitelo -PÓLO VEGETATIVO: <ul style="list-style-type: none"> • Muito vitelo 	<ul style="list-style-type: none"> Moluscos Cefalópodes. Alguns Peixes. Répteis. Aves. Mamíferos Monotremos
<ul style="list-style-type: none"> Centrolécitos 	<ul style="list-style-type: none"> Apresenta vitelo distribuído ao redor do núcleo 	<ul style="list-style-type: none"> Artrópodes (insetos*)

* = A separação entre os pólos animal e vegetativo não é tão nítida
 * = A separação entre os pólos animal e vegetativo é bem nítida
 * = Maior destaque

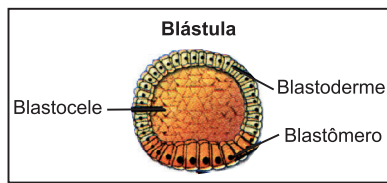
A segmentação

Segmentação ou **clivagem**, como já vimos, é a divisão da célula-ovo, por mitoses sucessivas, nos primeiros estágios do desenvolvimento embrionário. Cada uma das células resultantes das clivagens recebe o nome de **blastômero**.

Inicialmente, a célula-ovo sofre uma divisão, originando dois blastômeros. A seguir, eles se dividem sucessivamente, formando um aglomerado celular que, por ter o as-

pecto da amora, é denominado **mórula**. Posteriormente, os blastômeros se organizam formando uma camada de células, a **blastoderme**, que envolve uma cavidade denominada **blastocelo**. Ao estágio embrionário constituído por blastoderme e blastocelo chamamos **blástula**. Com sua formação, encerra-se o período de segmentação.

A segmentação se desenvolve diferentemente, dependendo da quantidade de vitelo do ovo. O vitelo é uma substância mais densa e com maior concentração protéica que o citoplasma. Isso torna as mitoses mais lentas e, conseqüentemente, no pólo vegetativo (região com muito vitelo), a divisão celular é mais demorada. Os ovos que possuem pouco vitelo sofrem divisão total. Já os que apresentam muito vitelo dividem-se parcialmente. Assim, a segmentação pode ser total ou parcial.



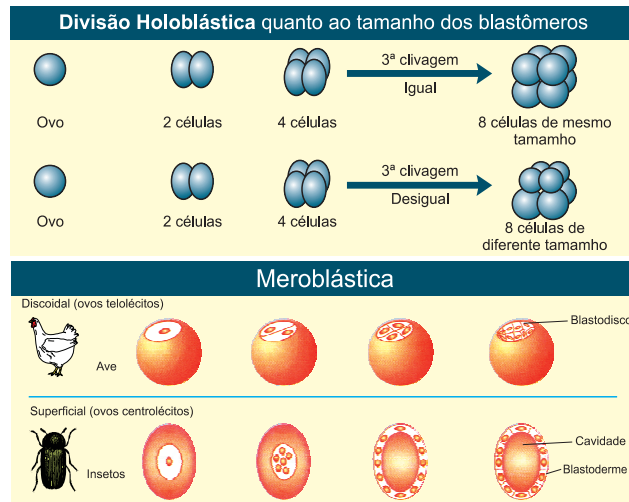
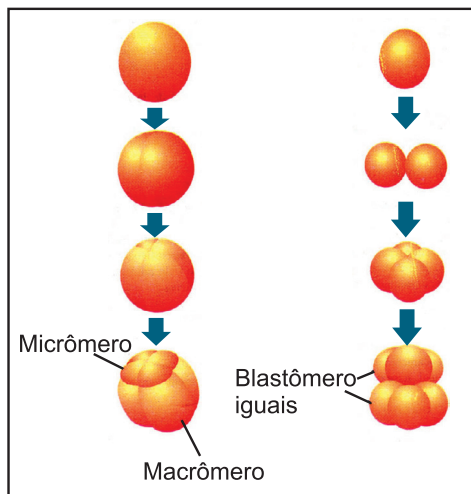
Segmentação total ou holoblástica:

Chama-se **segmentação total ou holoblástica** a divisão total da célula-ovo. Esse tipo de segmentação varia quanto ao tamanho e à disposição dos blastômeros resultantes.

a) Quanto ao tamanho dos blastômeros resultantes, a segmentação total ou holoblástica pode ser de dois tipos: *igual* e *desigual*:

- é **igual** aquela em que os blastômeros resultantes são todos do mesmo tamanho. Ocorre em ovos com pouco vitelo (oligolécitos) como os dos ouriços-do-mar e outros equinodermas.
- é **desigual** quando se formam blastômeros de tamanhos diferentes, dos menores, denominados **micrômeros**, aos maiores, os **macrômeros**. Esse tipo de segmentação ocorre principalmente em ovos com mais vitelo no pólo vegetativo (telolécitos incompletos), de anfíbios, por exemplo.

Tipos de segmentação holoblástica

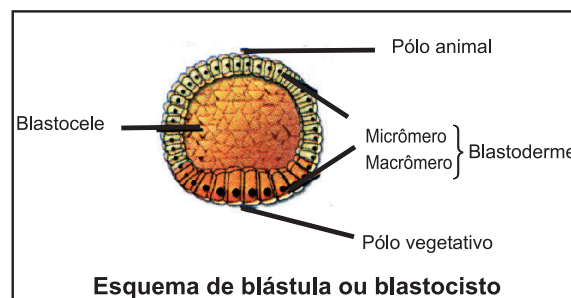
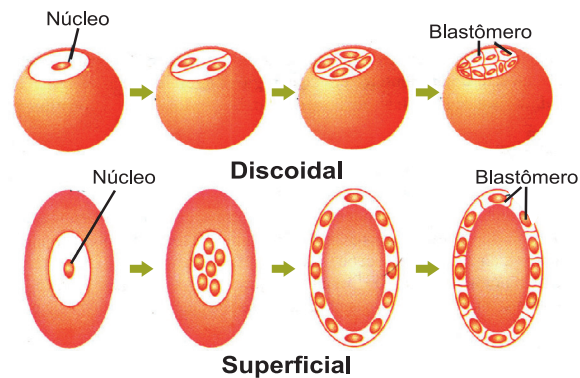


Segmentação parcial ou meroblástica:

Segmentação parcial ou meroblástica é uma divisão parcial da célula-ovo. Ocorre em ovos que apresentam muito vitelo. Nesse caso, o pólo onde se localiza o vitelo não entra em divisão. A segmentação parcial pode ser de dois tipos: **discoidal** e **superficial**.

- A **discoidal** ocorre em ovos telolécitos completos (pólo vegetativo com muito vitelo) como os de aves e répteis. As divisões ocorrem apenas na região do pólo animal, pois o pólo vegetativo, com muito vitelo, não participa da divisão. Os **blastômeros** resultantes formam, no pólo animal, um disco denominado **blastodisco**, e é este que, posteriormente, formará o embrião.
- A **superficial** ocorre nos ovos centrolécitos (vitelo no centro do óvulo), como os de insetos. O núcleo se divide e os núcleos resultantes migram para a periferia do ovo. Nesse local, são envolvidos por membranas celulares, formando-se uma camada de células, a **blastoderme**, que envolve o vitelo.

Tipos de segmentação meroblástica



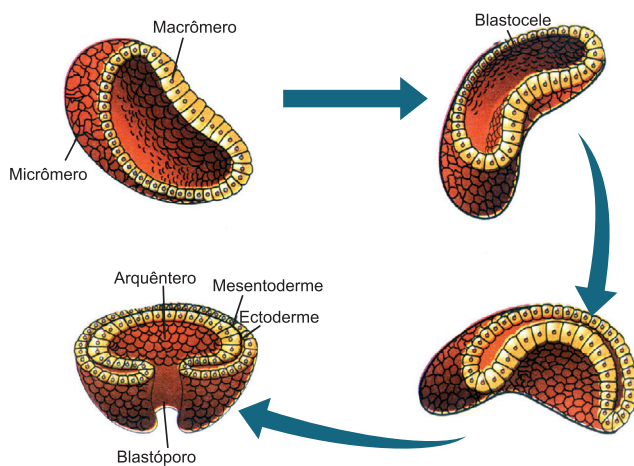
Gastrulação

A gastrulação compreende o processo de transformação da *blástula* em *gástrula*, estágio embrionário que se caracteriza pela formação dos *folhetos germinativos* ou *embrionários*.

Para que você tenha uma boa compreensão do processo, descrevemos a seguir como se dá a gastrulação do anfioxo, um protocordado marinho, de 5 a 8 cm de comprimento.

A gastrulação do anfioxo: um exemplo clássico

No anfioxo, a gastrulação inicia-se pela invaginação do pólo vegetativo para o interior da blastocele, que progressivamente desaparece. No final do processo podem-se reconhecer nitidamente dois folhetos: *ectoderme* (externo) e *mesentoderme* (interno). A cavidade delimitada pela mesentoderme é denominada *arquêntero* ou *intestino primitivo*, e o orifício de abertura do arquêntero é chamado de *blastóporo*.



Nêurula no anfioxo

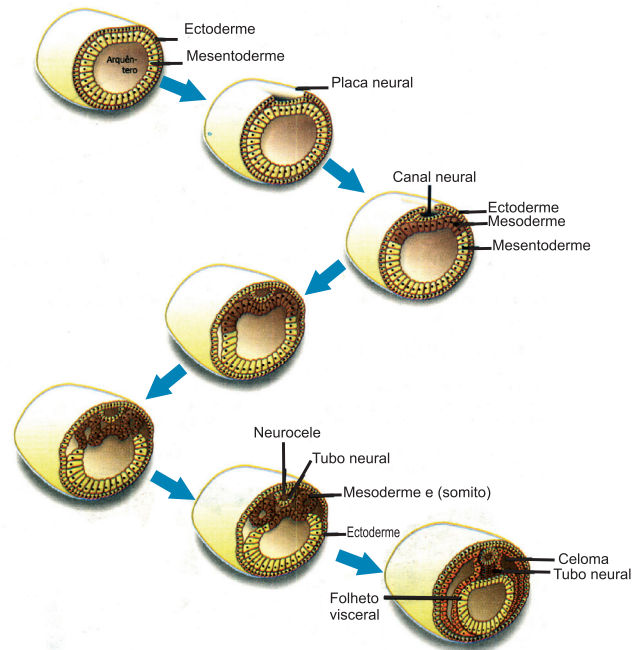
Na fase de nêurula forma-se o **tubo neural** e aparece a **notocorda** do anfioxo. Além disso, a mesentoderme dá origem a duas camadas celulares: a **endoderme**, mais interna, que reveste o intestino primitivo, e a **mesoderme**, que fica entre a ectoderme e a endoderme.

- O **tubo neural** forma-se a partir de células da ectoderme na região dorsal do embrião. Nessa região a ectoderme se espessa, produzindo um achatamento que constitui a **placa neural**. As bordas dessa placa crescem, provocando um encurvamento que forma as **dobras neurais**. Estas crescem para cima até se unirem, constituindo o tubo neural, em cujo interior há um canal denominado **neurocele**.
- Simultaneamente ao aparecimento do tubo neural, formam-se a mesoderme e a **notocorda**. À medida que o tubo se forma, surgem duas evaginações no teto do arquêntero, em suas regiões laterais. Essas evaginações vão crescendo até fundir seus bordos, formando dois blocos celulares nas regiões laterais do embrião. Esses dois blocos constituem a mesoderme, e cada um deles é denominado **somito**.

A notocorda forma-se a partir da porção central do teto do arquêntero. Este inicialmente forma uma evaginação, em sua parte média, ao longo de todo o comprimento do embrião. Posteriormente, os bordos dessa evaginação se fundem, dando origem à notocorda, um cordão-celular compacto localizado na direção crânio-caudal do embrião.

Depois de formada, a mesoderme cresce entre a ectoderme e a endoderme, formando duas camadas de células que delimitam uma cavidade chamada *celoma*. A camada mais externa de células mesodérmicas é chamada **folheto parietal** e localiza-se sob a ectoderme. A camada mais interna fica junto à endoderme e recebe o nome de **folheto visceral**. O celoma fica entre esses dois folhetos.

Dá-se o nome de **somatopleura** ao conjunto de ectoderme mais o folheto parietal da mesoderme. E chama-se **esplanopleura** o conjunto de endoderme mais o folheto visceral da mesoderme.



Os anexos embrionários

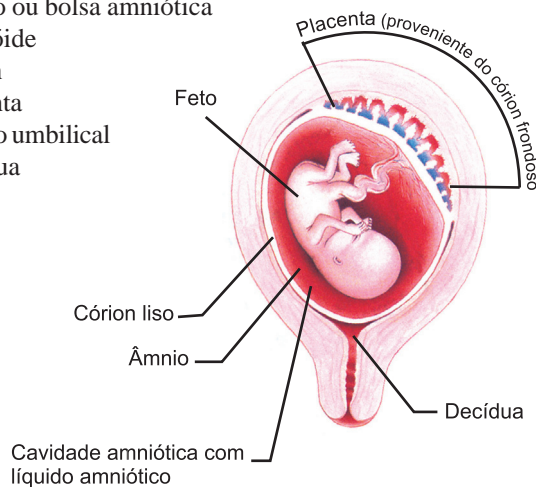
Durante todo o seu processo de desenvolvimento, o embrião dos vertebrados faz-se acompanhar de uma série de anexos que, juntamente com ele, formam-se também da segmentação do ovo, mas que não farão parte do seu corpo após o nascimento ou eclosão. É que tais formações se destinam, tão-somente, a servi-lo durante o seu desenvolvimento embrionário. Nos mamíferos, cujo conjunto de anexos é o mais completo, percebe-se nitidamente o quanto essas estruturas significam como propriedade temporária do filho e não da mãe, uma vez que, após o parto, os anexos rejeitados pelo filho são imediatamente eliminados pela mãe.

ANIMAIS	ANEXOS EMBRIONÁRIOS						
Peixes	vesícula vitelina						
Anfíbios	vitelo abundante dentro de células. Não há, entretanto, vesícula vitelina.						
Répteis	vesícula vitelina	âmnio	alantóide	cório			
Aves	vesícula vitelina	âmnio	alantóide	cório			
Mamíferos	vesícula vitelina	âmnio	alantóide	cório	placenta	cordão umbilical	decídua

Ocorrência dos anexos embrionários nas diversas classes de vertebrados.

Os principais anexos embrionários são:

- Vesícula vitelina
- Âmnio ou bolsa amniótica
- Alantóide
- Córion
- Placenta
- Cordão umbilical
- Decídua



O feto humano e seus anexos embrionários

A tabela mostra que os peixes só formam a vesícula vitelina. Os anfíbios nem ela possuem. O âmnio, o alantóide e o córion, além da vesícula vitelina, já aparecem em répteis, aves e mamíferos. Os mamíferos formam todos os anexos embrionários, inclusive a placenta, a decídua e o cordão umbilical.

Vamos ao estudo de cada um desses anexos separadamente.

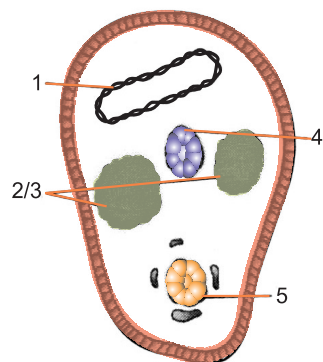
Vesícula vitelina

Tem origem, em parte, no endoderma. A sua função é armazenar substâncias nutritivas (vitelo) para o embrião durante o seu desenvolvimento. Mas, nos mamíferos, isso não é necessário e, por isso, ela se atrofia gradativamente, até o quase completo desaparecimento. Na época do parto, ela está, juntamente com o alantóide, reduzida a vestígios na estrutura do cordão umbilical.

Convém ressaltar, no entanto, que, durante as primeiras semanas do desenvolvimento embrionário, esse anexo ainda é razoavelmente grande para o conceito (em face das minúsculas dimensões deste) e se apresenta como o primeiro órgão hematopoético (formador de sangue), pois é ali que vão ser formadas as primeiras hemácias do embrião. Depois, essa função será delegada ao mesênquima; mais tarde, ao fígado e ao baço. Após o nascimento do indivíduo, esta função é desempenhada exclusivamente pela medula óssea vermelha.

Nos animais ovíparos, que são provenientes de óvulos telolécitos, a vesícula vitelina é muito grande e presta enorme serviço ao embrião como reserva nutritiva durante todo o seu desenvolvimento.

Só os anfíbios, dentre todos os vertebrados, não formam esse anexo, embora



Cordão umbilical cortado transversalmente
1- veia umbilical; 2 e 3- artérias umbilicais;
4- vestígio do alantóide;
5- vestígio do saco vitelínico.

conservem uma considerável quantidade de vitelo no interior de células grandes – os **macrômeros** –, resultantes da segmentação total e desigual do seu zigoto.

Âmnio ou bolsa amniótica

É uma estrutura membranosa de origem ectodérmica, em forma de grande bolsa, que envolve todo o conceito. Essa bolsa acumula gradativamente um líquido claro chamado **líquido amniótico**, no qual fica mergulhado o embrião. É um anexo de proteção que impede não só a infecção do organismo em formação por micróbios provenientes do meio externo, como atenua qualquer traumatismo que, atingindo o ventre materno, pudesse alcançar o embrião.

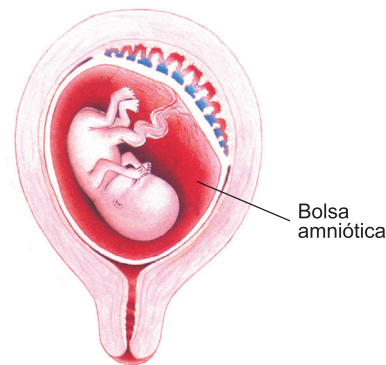
No mecanismo da evolução das espécies, o âmnio veio desempenhar papel decisivo para a libertação dos vertebrados em relação à água, no seu processo de desenvolvimento.

Quando surgiram os vertebrados tipicamente terrestres (répteis e aves), seus embriões já se desenvolviam no interior de uma bolsa cheia de líquido, que lhes dava (dentro do ovo) a mesma condição que tinham os embriões de espécies menos desenvolvidas no meio aquático. Eles ficavam, assim, mergulhados em líquidos, não correndo o risco de desidratação.

Nos mamíferos, o embrião não se forma dentro de um ovo com casca, mas no interior do ventre materno. Ainda assim, o âmnio, com o seu líquido, confere-lhe um ambiente de certa forma semelhante ao dos seus primitivos precursores na história da Evolução.

Os animais que desenvolvem o âmnio durante a sua embriogênese denominam-se **amniotas**. Compreendem répteis, aves e mamíferos. Os que não o formam são chamados **anamniotas**. Assim são os peixes e anfíbios.

Nos mamíferos, o âmnio se rasga, na ocasião do parto, permitindo a passagem do feto através de si e dos outros anexos embrionários, com os quais é também eliminado.

**Alantóide**

A partir do endoderma, um grupo de células começa a proliferar, formando uma pequena bolsa, que cresce gradualmente e vai se insinuando entre as células do pedúnculo embrionário.

Isso quer dizer que a minúscula bolsa formada vai se acomodando na estrutura que originará o cordão umbilical. Nas espécies ovíparas (répteis e aves), nas quais não há cordão umbilical nem placenta, essa vesícula cresce bastante até alcançar a casca do ovo. Ela passa, então, a executar para esses animais importantes funções:

a) Função respiratória

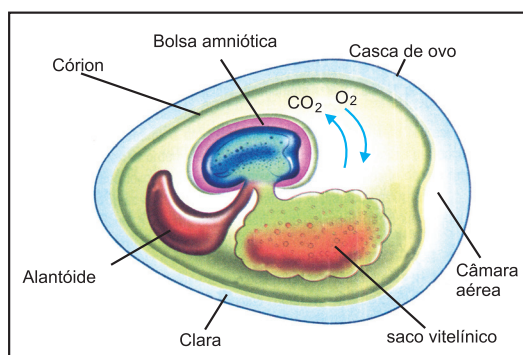
É através do alantóide que ocorrem as trocas gasosas (O_2 e CO_2) entre o embrião e o meio. Se você impermeabilizar um ovo de galinha cobrindo-o com um verniz, nele não ocorrerá, de forma alguma, o desenvolvimento de um embrião. Por quê? Explique.

b) Função excretora

No saco alantoidiano dos embriões de répteis e aves são descarregados os produtos da excreção nitrogenada, representados notadamente pelo ácido úrico, substância esbranquiçada e pouco solúvel em água, menos tóxica que a amônia (dos peixes) e a uréia (dos mamíferos). Durante a permanência do embrião dentro do ovo com casca, o ácido úrico se mantém confinado dentro do alantóide.

c) Transporte de cálcio

Através do alantóide, uma certa quantidade de cálcio é retirada da casca do ovo e transportada até o embrião, sendo utilizada na formação dos ossos.



Nos répteis e aves (animais ovíparos) o alantóide é bem desenvolvido e desempenha um papel muito parecido com o da placenta dos mamíferos. Estes últimos, por desenvolverem uma placenta durante a sua formação embrionária, não precisam do alantóide, o qual, por isso mesmo, neles se apresenta pouco desenvolvido.

Peixes e anfíbios são animais **analantoidianos**, isto é, que não possuem alantóide durante a formação embrionária. Répteis, aves e mamíferos já são **alantoidianos**.

Córion

É um anexo embrionário observado em animais ovíparos e vivíparos. Nos ovíparos, reduz-se, apenas, a uma membrana discretamente situada no limite interno da clara. Tem função unicamente protetora. Nos vivíparos, o córion se desenvolve a partir do trofoblasto, diferenciando-se em duas partes – o **córion liso** e o **córion frondoso**.

O córion liso é uma delgada membrana que fica aderente à face externa da membrana amniótica, pouco diferenciável dela. O córion frondoso avoluma-se e vai constituir a placenta.

Placenta

É um corpo discóide, achatado, que possui uma face lustrosa, voltada para o feto e recoberta por membranas. Nesta face se localizam grossos vasos sanguíneos. A placenta possui ainda outra face, esponjosa, implantada na parede uterina. Nesta face, estão as vilosidades coriais, cujos vasos (pertencentes à circulação fetal) estão em íntima vizinhança com

os vasos uterinos (pertencentes à circulação materna). A circulação sanguínea da mãe não se mistura com a circulação sanguínea do filho. Mãe e filho trocam substâncias ao nível da placenta, mas os elementos figurados do sangue (hemácias, leucócitos e plaquetas) não são trocados. Cada um circula no seu continente. A placenta tem origem trofoblástica e surge a partir do córion frondoso. Desempenha as seguintes funções:

a) Trocas gasosas e metabólicas na relação feto-materna

As substâncias nutritivas, como glicose, aminoácidos, lipídios, vitaminas e sais, existentes no sangue da mãe atravessam a barreira placentária e alcançam a circulação fetal, enquanto, em sentido contrário, passam os excretas, como a uréia e outros produtos do metabolismo do feto, que são vertidos na circulação materna. Também os gases, como oxigênio e dióxido de carbono, sofrem essa permuta, em função das diferenças de pressões parciais entre o sangue da mãe e o sangue do filho.

b) Imunização fetal

Numerosas moléculas de anticorpos formados pela mãe, como gamaglobulinas e anticorpos específicos, atravessam a placenta e passam para o feto, conferindo a este último imunidade temporária (por cerca de seis meses após o nascimento) à maioria das doenças infecciosas imunizantes, como sarampo, catapora, caxumba, varíola, difteria etc.

c) Função hormonal

Logo após a nidação do ovo no endométrio, o corpo lúteo ou corpo-amarelo, que se forma no ovário após a ovulação, produz progesterona em dose acentuada, tornando-se volumoso e se estabelecendo como “corpo lúteo gravídico”. A progesterona por ele produzida e lançada na circulação provoca no útero um estado de “indiferença” à presença do conceito, que, na verdade, não passa de um corpo estranho para ele. No entanto, a partir do quarto mês, a placenta assume integralmente essa função, produzindo a progesterona e também certa quantidade de estrogênios. Assim, ela mantém o útero na condição de “indiferença” ao feto. Ao fim da gravidez, a placenta envelhecida diminui a sua produção hormonal. Essa queda de produção restitui ao útero a sua capacidade de contração e rejeição do corpo estranho. O útero passa a contrair-se, visando a expulsão do feto e de seus anexos. Inicia-se o período de trabalho de parto.

A placenta representou, na evolução das espécies, uma contribuição da Natureza aos mamíferos, permitindo-lhes desenvolver suas crias embrionariamente dentro do ventre materno, com maior segurança. Isso evita o ataque predador aos ovos (o que ocorre com os animais ovíparos), que limita muito o número de descendentes viáveis. Assim, os mamíferos podem ter menos descendentes, porém com uma viabilidade maior destes.

Cordão umbilical

É proveniente do pedúnculo embrionário. Atua como estrutura de comunicação entre o embrião e a placenta. Longo, mais ou menos cilíndrico, encerra três grossos vasos: uma veia e duas artérias, embora nas artérias corra sangue venoso (com dióxido de carbono) e na veia corra sangue oxigenado.

A estrutura do cordão é preenchida por um tecido conjuntivo gelatinoso conhecido como **gelatina de Wharton**.

Decídua

É uma membrana delgada, indistinta do córion liso e do âmnio (as três juntas delimitam a bolsa amniótica). Origina-se a partir da camada de endométrio (mucosa uterina) que ficou recobrendo o ovo após a nidadação deste. A decídua tem, também, função protetora.

O desenvolvimento embrionário humano

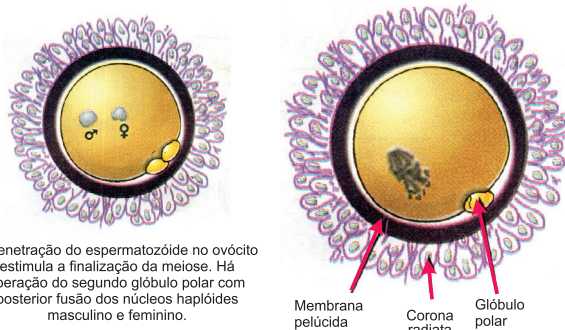
Na espécie humana, a ovogênese completa-se apenas quando ocorre a penetração do espermatozóide no ovócito II. O ovário libera o ovócito II que acabou de formar o primeiro glóbulo polar e está iniciando a segunda divisão meiótica. Tanto o ovócito como o glóbulo polar permanecem envoltos por uma camada de glicoproteína, denominada **membrana pelúcida**.

Na maior parte dos vertebrados, existem células acessórias que envolvem os ovócitos e que contribuem para sua nutrição, durante seu desenvolvimento. Essas células são denominadas **células foliculares** e dispõem-se ao redor de todo o ovócito, externamente à zona pelúcida, formando a **corona radiata**.

As células foliculares fornecem ao ovócito pequenas moléculas que são precursoras das macromoléculas que serão sintetizadas no interior do ovócito.

O ovócito II liberado penetra na tuba uterina e só completa a segunda divisão meiótica quando fecundado pelo espermatozóide. Nesse caso, a penetração do espermatozóide estimula a finalização da meiose II, havendo liberação do segundo glóbulo polar e posterior fusão dos núcleos haplóides masculino e feminino, originando o núcleo diplóide do zigoto.

Após aproximadamente 30 horas da fecundação, o ovo inicia a primeira divisão, dando origem a dois blastômeros.



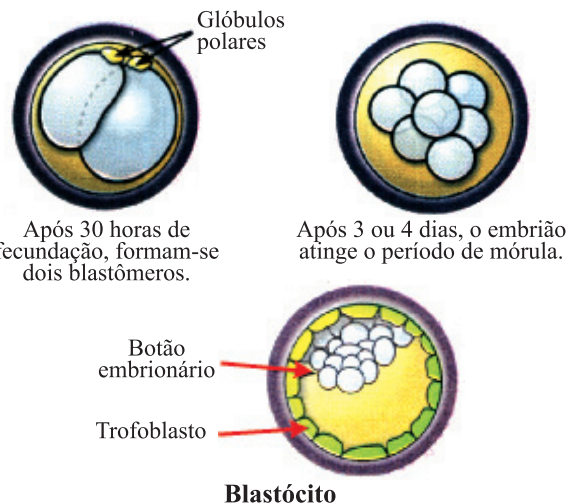
A penetração do espermatozóide no ovócito estimula a finalização da meiose. Há liberação do segundo glóbulo polar com posterior fusão dos núcleos haplóides masculino e feminino.

Membrana pelúcida Corona radiata Glóbulo polar

Se esses blastômeros se separarem, darão origem a gêmeos univitelínicos, pois haverá formação de dois embriões com o mesmo patrimônio genético (gêmeos idênticos). Após aproximadamente 60 horas ocorre nova divisão, dando origem a quatro blastômeros, sendo que entre o terceiro e quarto dias após a fecundação o embrião apresenta-se no estágio de mórula. Posteriormente, forma-se a **blástula**, também chamada de **blastocisto**, que chega ao útero.

O blastocisto apresenta-se como uma esfera formada por uma camada de células denominadas **trofoblastos** (*trafos* = nutrir) ou **trofotoderme** ou **trofoderme**, envolvendo uma cavi-

dade interna em que se observa um pequeno acúmulo de células denominado **botão embrionário**. Os trofoblastos participam da formação do âmnio, cório, placenta e do saco vitelínico, e o botão embrionário dá origem ao embrião propriamente dito.



Após 30 horas de fecundação, formam-se dois blastômeros.

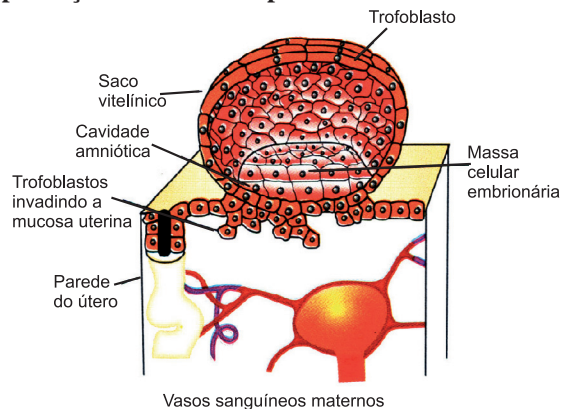
Após 3 ou 4 dias, o embrião atinge o período de mórula.

Botão embrionário Trofoblasto

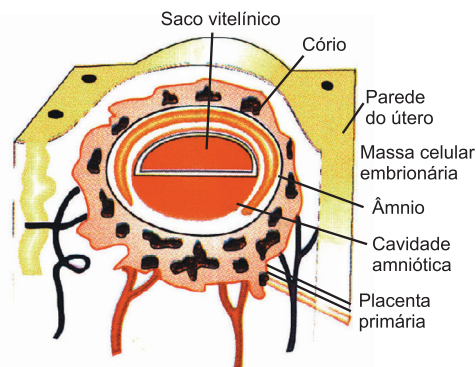
Blastócito

No útero, o blastocisto implanta-se na parede uterina por volta do sexto dia após a fecundação. As células do trofoblasto dividem-se rapidamente e produzem enzimas que digerem a parede do útero, permitindo a penetração do embrião. Por volta do nono ou décimo dia, o embrião encontra-se totalmente envolto pelo tecido uterino. As projeções formadas pela proliferação do trofoblasto na mucosa uterina recebem o nome de **vilosidades coriônicas**, que fazem parte do cório. Estas ficam envoltas por lacunas sanguíneas formadas pelo sangue que escapa dos vasos sanguíneos maternos, rompidos pela ação das enzimas dos trofoblastos. Os elementos nutritivos contidos nesse sangue são aproveitados pelo embrião. Nesse estágio inicial, temos a formação de uma placenta primária.

Implantação do embrião na parede do útero



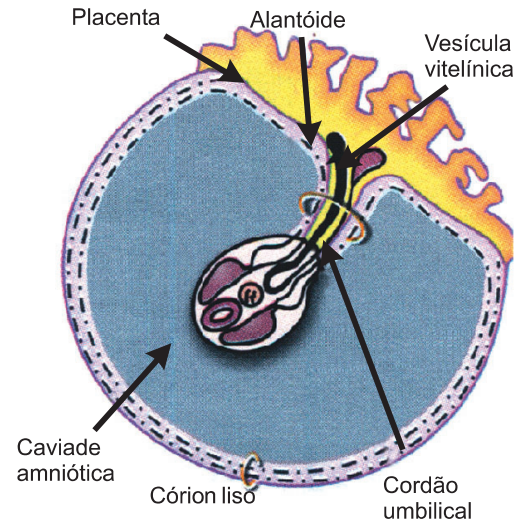
Vasos sanguíneos maternos



Blastocisto totalmente envolto pelo tecido uterino.

À medida que o blastocisto invade a mucosa uterina, ocorrem, também, modificações no interior do blastocisto, havendo formação da cavidade amniótica e do saco vitelínico, ficando a massa celular embrionária entre essas duas cavidades. Os anexos embrionários nos mamíferos formam-se a partir da blástula, sendo que nos outros vertebrados ocorrem na organogênese. O desenvolvimento precoce dos anexos embrionários nos mamíferos deve-se à ausência do vitelo, havendo necessidade de nutrição extra-embriônica desde os estágios iniciais da formação do embrião.

O alantóide surge logo a seguir, como um pequeno divertículo. A mesoderme do alantóide, no entanto, desenvolve-se muito, formando um maciço altamente vascularizado, que originará não só um pedículo de fixação do embrião no cório e que futuramente será o cordão umbilical, como parte da placenta. O maciço mesodérmico entra em contato com as vilosidades coriônicas, banhadas por lacunas do sangue materno.

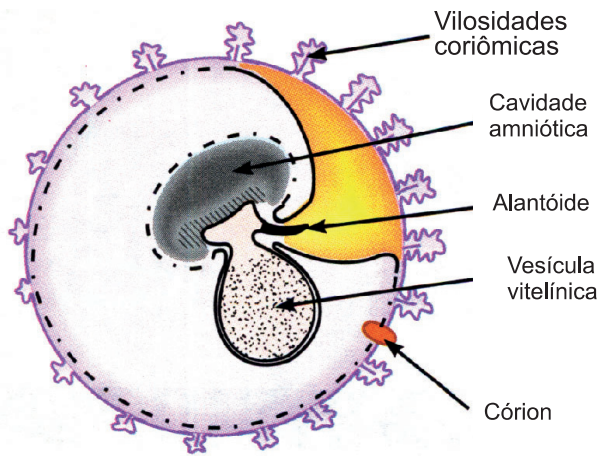


Embrião de 8 semanas, visto em corte

Através da placenta, a mãe fornece alimento e O_2 para o feto e este passa para a circulação materna CO_2 e escórias de seu metabolismo, como é o caso dos **excretas nitrogenados**. Essas trocas são efetuadas por difusão, graças à proximidade dos vasos sanguíneos maternos e do embrião. É importante frisar que não existe continuidade física entre circulação materna e fetal: os vasos sanguíneos da mãe não penetram no corpo do embrião, mas sim formam lacunas sanguíneas ao redor do tecido fetal da placenta, vascularizado. Os vasos sanguíneos do feto também não penetram no corpo da mãe, atingindo apenas a região da mesoderme alantoidiana.

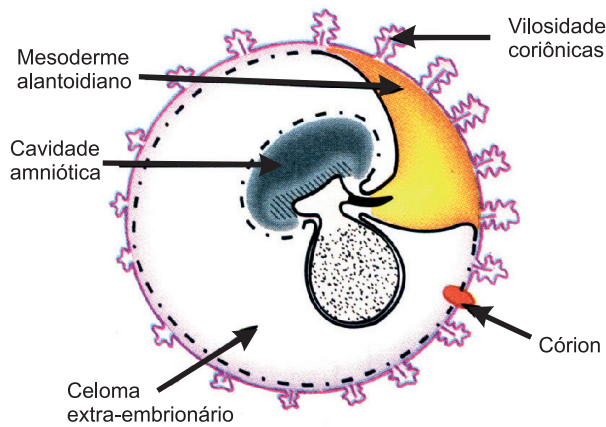
À medida que os anexos embrionários se organizam, o desenvolvimento do embrião prossegue concomitantemente.

Com aproximadamente duas semanas e 1,5 milímetro de diâmetro, o embrião inicia a **gastrulação**, com o aparecimento da linha primitiva semelhante ao que ocorre nas aves. Logo após, no início da 4ª semana, ocorre a **neurulação** e a formação dos primeiros somitos. Após o final do primeiro mês de gestação, o embrião mede cerca de 5,0 milímetros de comprimento, o sulco neural já fechou, o coração já se formou e começam a diferenciar-se os braços e as pernas. Após o segundo mês de gestação, o embrião mede cerca de 2,5 centímetros e praticamente toda a organogênese já terminou. A partir do final do segundo mês de gestação o embrião é referido como feto, havendo, até o nascimento, crescimento e desenvolvimento do indivíduo em formação.

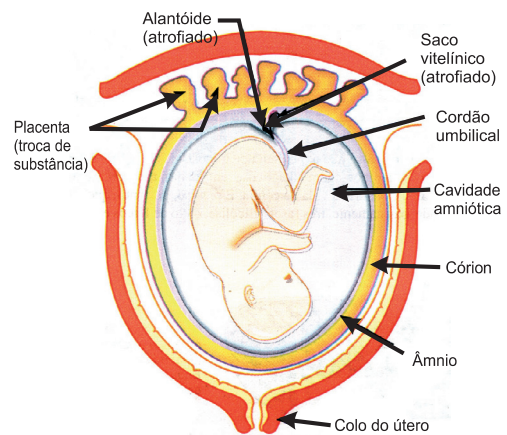


Embrião de 4 semanas, visto em corte

Mesoderme Alantoidiana altamente vascularizado desenvolve-se muito, entretanto em contato íntimo com as vilosidades coriônicas e com a parede uterina. O alantóide e a vesícula vitelínica reduzem-se



Embrião humano com 3 semanas, visto em corte



Feto Humano antes de nascer