

Biologia

PROFESSOR FLÁVIO LANDIM



GAMETOGENESE

As **células sexuais**, responsáveis pelo processo de reprodução em humanos através da fecundação são denominadas **gametas**. Os gametas são **células haploides** geradas por meiose e, ao se fundirem, originam o zigoto diploide.

Esses gametas são formados a partir de células indiferenciadas denominadas **células germinativas**. As células germinativas se originam a partir da **parede do saco vitelínico** do embrião ao final da terceira semana de desenvolvimento embrionário, migrando então para as **gônadas**.

ASSUNTOS DA AULA.

Clique no assunto desejado e seja direcionado para o tema.

- [Gametogênese](#)
- [Espermatogênese](#)
- [Ovogênese ou oogênese](#)
- [Partenogênese](#)
- [Pedogênese](#)
- [Neotenia](#)

Cada célula germinativa, por se dividir por meiose, origina quatro células, embora nem todas sejam necessariamente gametas.

Esse processo de formação de gametas é denominado **gametogênese**. Os objetivos dessa gametogênese são:

- **reduzir o número de cromossomos** à metade daquele da célula somática normal, isto é, de 46 para 23. Isso é proporcionado pela **meiose**, que também permite o aparecimento de uma **variabilidade genética** entre os gametas produzidos e as células que os originaram, através do **crossing-over** e da **segregação dos cromossomos homólogos**.
- **modificar a forma das células em preparação à fecundação**. A célula germinativa masculina, grande e redonda no início, perde quase todo seu citoplasma e passa a ter cabeça, colo e cauda (flagelo), adquirindo grande motilidade e tornando-se um espermatozoide. A feminina, ao contrário, torna-se gradualmente maior, acumulando substâncias de reserva nutritiva para a formação do futuro indivíduo gerado e desenvolvendo uma série de estruturas de proteção (barreiras) para preservá-la, uma vez que é uma célula de difícil formação e longo tempo de vida, tornando-se um **óvulo**.

Observe que na espécie humana, observa-se o fenômeno da **oogamia**, ou seja, o gameta masculino, denominado espermatozoide, é uma célula pequena e móvel, que nada ativamente para fecundar o gameta feminino, denominado óvulo, que é uma célula grande e imóvel.

Tome nota:

ESPERMATOGÊNESE

Os gametas masculinos são produzidos nas gônadas masculinas, os **testículos**, a partir das **células germinativas**.

Os espermatozoides são células pequenas e dotadas de um **flagelo**, com o qual eles nadam pelas estruturas do aparelho reprodutor feminino até encontrarem o óvulo e fecundarem o mesmo. Como consequência da presença do flagelo e das dimensões reduzidas, apresentam grande motilidade.

Além disso, os espermatozoides possuem uma estrutura especial, o **acrossoma**, que abriga enzimas líticas que permitem ao espermatozoide vencer as barreiras que envolvem o óvulo e promoverem a fecundação.

Apesar de apenas um espermatozoide fecundar o óvulo, milhões de espermatozoides devem ser produzidos para o homem poder ser fértil. Para se ter uma ideia, numa única ejaculação, o homem libera cerca de 3,4 ml de esperma, contendo cerca de 120 milhões de espermatozoides por ml. Se o homem possuir menos de 20 milhões de espermatozoides por ml de esperma (**oligospermia**), ele será estéril.

A necessidade de um número elevado de espermatozoides quando apenas um efetivamente irá promover a fecundação encontra explicação em três motivos:

- primeiramente, deve-se ter em mente que a **vagina** é um ambiente **muito ácido** e bastante hostil aos espermatozoides, que não suportam pH muito baixo. Mesmo havendo a secreção alcalina da próstata no esperma, muitos espermatozoides morrem com essa acidez. Além disso, a presença de muco no colo uterino segura boa parte dos espermatozoides que tentam passar da vagina para o útero.

- um segundo motivo para isso é que o óvulo é protegido por algumas barreiras, havendo a necessidade nas enzimas do **capuz acrossômico** para vencê-las. As enzimas presentes em um único acrossoma são insuficientes para vencer essas barreiras. Vários espermatozoides devem agir para abrir espaço nessas barreiras a fim de tornar possível a fecundação.

- um terceiro motivo é que a mulher possui dois ovários, mas só um deles ovula a cada tempo. Quando os espermatozoides penetram na mulher, aproximadamente metade se dirige para o ovário direito e metade para o ovário esquerdo. Como só um dos ovários ovulou, metade dos espermatozoides se dirigem a um ovário sem óvulo a ser fecundado. (Lembre-se que o quimiotactismo na espécie humana tem raio de ação limitado, ocorrendo apenas a maiores proximidades com o óvulo).

Por essa grande necessidade de espermatozoides, cada célula germinativa envolvida na espermatogênese origina quatro espermatozoides funcionais.

O processo de espermatogênese completo dura cerca de **61 dias**. Ao fim desse tempo, os espermatozoides são lançados na luz do túbulo seminífero e armazenados no epidídimo até o momento da ejaculação.

O processo de espermatogênese mantém-se constante durante **toda a vida** do indivíduo do sexo masculino. Assim, há um número praticamente ilimitado de gametas masculinos que podem ser produzidos por um único indivíduo ao longo de sua vida.

O PROCESSO DE ESPERMATOGÊNESE

O testículo apresenta-se formado por numerosos **túbulos seminíferos**. Estes apresentam em seu interior as células germinativas.

Por volta dos 10 a 14 anos, com o início da puberdade e sob estímulo dos hormônios gonadotróficos da hipófise, inicia-se a formação dos espermatozoides.

A espermatogênese compreende quatro etapas:

- fase de multiplicação ou germinativo ou proliferativo;
- fase de crescimento;
- fase de maturação;
- fase de diferenciação.

Tome nota:

A fase inicial é denominada **fase de multiplicação**. As **células germinativas** diploides diferenciam-se em **espermatogônias** e passam por um período de intensa multiplicação, através de divisões mitóticas, aumentando enormemente seu número.

A segunda fase é denominada **fase de crescimento**. Ao fim da fase de multiplicação, as espermatogônias crescem e passam a ser chamadas **espermatócitos de 1ª ordem ou espermatócitos primários**.

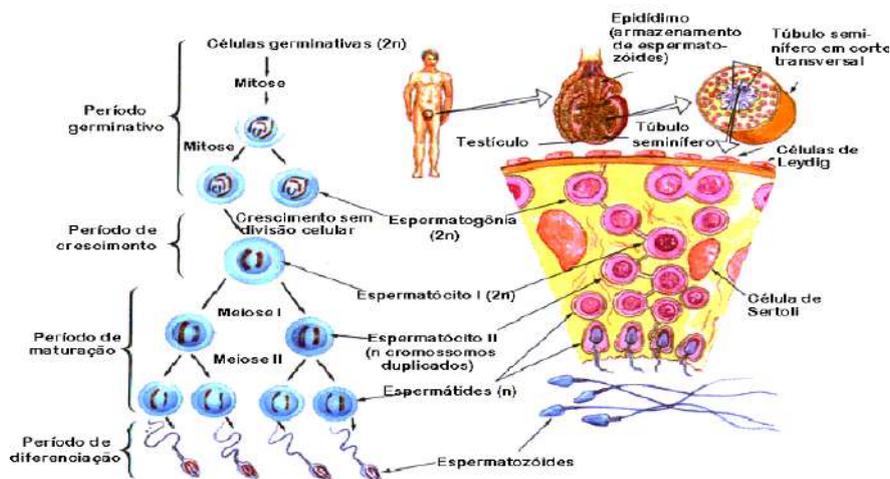
A terceira fase é a **fase de maturação**. Os espermatócitos I entram então em **meiose**. A

primeira divisão meiótica (divisão reducional) origina dois **espermatócitos de 2ª ordem ou espermatócitos secundários**. A segunda divisão meiótica (divisão equacional) origina quatro **espermátides**. As espermátides já são células haploides e não se dividem mais, mas ainda não são os espermatozoides.

A quarta fase é a **fase de diferenciação**. Nela, as espermátides passam por um processo denominado **espermio gênese**. Na espermio gênese, as espermátides, que são células grandes e redondas, sofrem as seguintes mudanças:

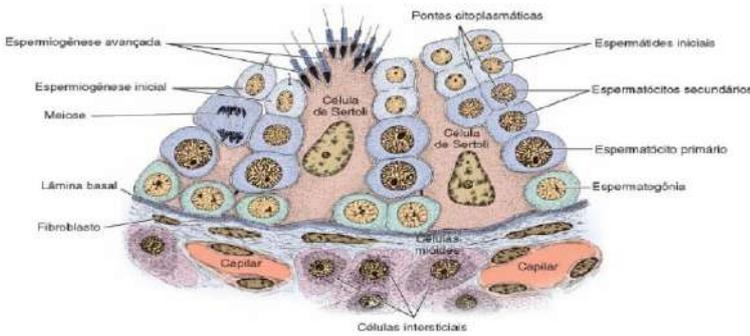
- perdem parte do citoplasma tornando-se menores para facilitar-lhes a motilidade;
- desenvolvem um **flagelo**, a partir dos centríolos;
- desenvolvem um **acrossoma**, a partir do complexo de Golgi.

Assim, para cada célula germinativa, tem-se um espermatócito I, dois espermatócitos II, quatro espermátides e quatro espermatozoides, conseqüentemente. Os objetivos disso já foram explicados anteriormente.

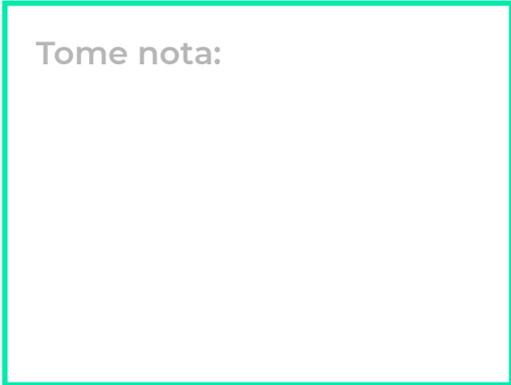


Este esquema correlaciona as fases da espermatogênese com a histologia do túbulo seminífero. Ao redor dos túbulos seminíferos estão as células intersticiais (células de Leydig), produtoras do hormônio masculino testosterona, que estimula a espermatogênese. Na parede do túbulo seminífero, onde ocorre a espermatogênese, existem células que nutrem e dão suporte às células espermatogênicas: são as células de Sertoli.

Tome nota:



Túbulos seminíferos em corte.



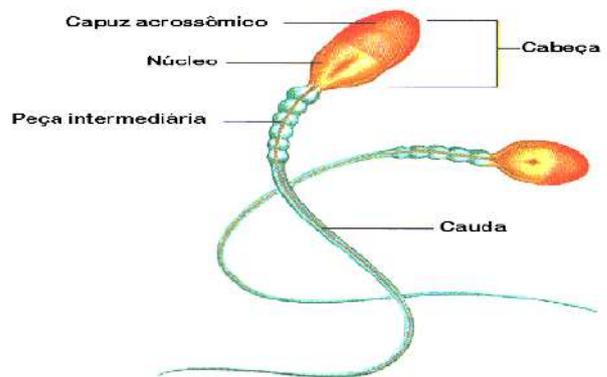
O ESPERMATOZOIDE FORMADO

Após a espermiogênese, o espermatozoide então passa a ter sua célula dividida em **cabeça**, **colo** e **cauda**.

A cabeça abriga em seu ápice o acrossoma, contendo enzimas líticas como a hialuronidase, que quebra o ácido hialurônico que une as células da corona radiata do óvulo. Essa cabeça apresenta o núcleo do espermatozoide e quase não possui citoplasma.

O colo ou peça intermediária apresenta o início do flagelo e uma grande concentração de mitocôndrias que geram energia para permitir a motilidade do flagelo.

O flagelo é formado por microtúbulos e é responsável pelo movimento do espermatozoide. Ele é capaz de movimentar o espermatozoide a uma velocidade de cerca de 4mm por minuto.



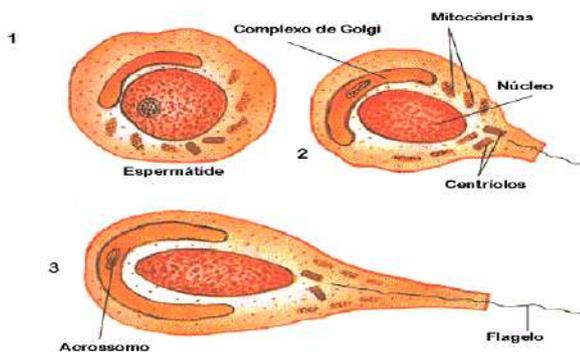
Espermatozoides humanos (esquemático). As numerosas mitocôndrias situadas na região intermediária são as "centrais de energia" para a intensa atividade motora da cauda.

OVOGÊNESE OU OOGÊNESE

Os **gametas femininos** são produzidos nas gônadas femininas, os **ovários**. Esses gametas femininos também são produzidos a partir das **células germinativas**.

Os **óvulos** são células esféricas, imóveis e bastante grandes (cerca de 120 µm, nos limites de resolução do olho humano). Este enorme tamanho dos óvulos decorre do armazenamento de grandes quantidades de substâncias nutritivas para manter o embrião formado até que a placenta possa realizar essa nutrição. Essas substâncias de nutrição são chamadas genericamente de **vitelo** ou **deutoplasma**.

Para acumular essas reservas, durante as divisões meióticas da ovogênese, sempre uma das células formadas mantém a maior parte do citoplasma,



Demonstração simplificada das transformações pelas quais passa uma espermátide até constituir-se em espermatozoide. Esse é o fenômeno da espermiogênese. Repare que o acrosomo tem a sua origem no complexo de Golgi e que o citoplasma (com as mitocôndrias) migra na sua maior parte para a região ou peça intermediária do espermatozoide.

indo originar o óvulo, enquanto que a outra é uma célula atrofiada que possui praticamente apenas o núcleo, sendo chamada **polócito** ou **glóbulo polar**.

Desta maneira, para cada célula germinativa que entra em divisão meiótica na ovogênese, só se forma **um único óvulo funcional**, sendo as demais células formadas na meiose células não funcionais denominadas **glóbulos polares** ou **polócitos**.

Este grande acúmulo de reservas faz também com que o processo de formação de óvulos seja demorado e trabalhoso. Assim, enquanto a formação do espermatozoide ocorre em pouco mais de dois meses, a formação do óvulo demora alguns meses.

No caso dos indivíduos da espécie humana, todos os óvulos dos quais a mulher vai dispor para o resto de sua vida são produzidos ainda durante o período de vida intrauterina, em número limitado. Ao nascer, todos os óvulos já estão em formação, e nenhum pode ser produzido além dos que já estão sendo formados.

Apenas um óvulo é liberado a cada mês, aproximadamente, a partir da puberdade. Ao fim do “estoque” de óvulos, a mulher não mais será fértil. Isso ocorre por volta dos 40 anos de idade e caracteriza a **menopausa**.

Este pequeno e limitado número de óvulos é explicado pelo fato do **grande acúmulo de vitelo no óvulo, o que torna o processo de ovogênese muito difícil para o organismo, sendo produzido apenas um óvulo para cada célula germinativa**.

O PROCESSO DE OVOGÊNESE

O ovário contém uma série de estruturas denominadas folículos ovarianos aonde ocorre o processo de formação dos óvulos. Em cada folículo tem-se uma célula germinativa envolvida por células epiteliais.

O processo de ovogênese inicia-se ainda durante a vida intrauterina da mulher, quando ela ainda é um embrião. Esse processo, entretanto, só se completa após a ovulação. A primeira ovulação ocorre normalmente no início da puberdade, também por volta dos 11 a 14 anos.

A ovogênese ocorre em três fases:

- fase de multiplicação ou germinativa ou proliferativa;
- fase de crescimento;
- fase de maturação.

A **fase de multiplicação** ocorre no **período intrauterino** de vida da mulher. As **células germinativas** diploides diferenciam-se em ovogônias e começam a se multiplicar por divisões mitóticas. Cerca de 2 milhões de ovogônias são formadas.

A **fase de crescimento** acontece logo após e caracteriza-se pela diferenciação das ovogônias em **ovócitos de 1ª ordem** ou **ovócitos primários**. Essas células são muito desenvolvidas pelo grande acúmulo de substâncias nutritivas que constituirão o **vitelo**. Nessa fase, muitos ovócitos I degeneram e desaparecem, sobrando alguns poucos na superfície do ovário.

A **fase de maturação** é a mais longa da ovogênese e corresponde à **meiose**. Nela, os ovócitos I entram em 1ª divisão meiótica (divisão reducional). Entretanto, essa divisão não se completa logo de imediato. Quando o ovócito I está no diplóteno (ou dictióteno) da prófase I, a meiose é interrompida. Até a puberdade, a maioria dos ovócitos I já degeneraram, restando apenas cerca de 40.000 deles. Sob influência dos hormônios gonadotróficos da hipófise, uns poucos ovócitos I começam a maturar-se em cada ciclo ovariano. Entretanto, normalmente apenas um deles completa sua maturação e é liberado na ovulação.

Nesse processo de maturação do folículo, o ovócito I completa a 1ª divisão meiótica, originando, um **ovócito de 2ª ordem** ou **ovócito secundário** e uma célula atrofiada, o **polócito I** ou **primeiro glóbulo polar**.

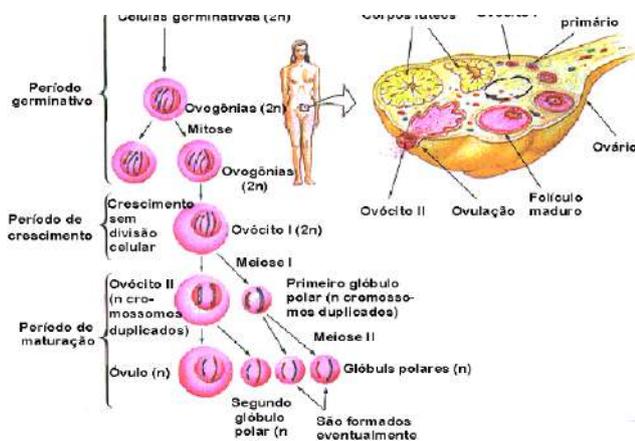
É o ovócito II que é liberado no processo de ovulação.

Para que o processo de ovogênese continue com a 2ª divisão meiótica (divisão equacional), é necessária a penetração do espermatozoide no ovócito II.

A célula que é fecundada pelo espermatozoide não é o óvulo pronto, mas o ovócito II.

Caso haja fecundação, a 2ª divisão meiótica se completa, originando uma **ovótide** e o **polócito II** ou **segundo glóbulo polar**. Há uma certa dúvida se o primeiro glóbulo polar faz ou não a 2ª divisão meiótica.

A ovótide formada é o próprio **óvulo**. Não há uma fase de diferenciação como ocorre com a espermatogênese. Como a ovótide/óvulo já contém o espermatozoide em seu interior, ocorre a fusão de núcleos e a formação de gametas.



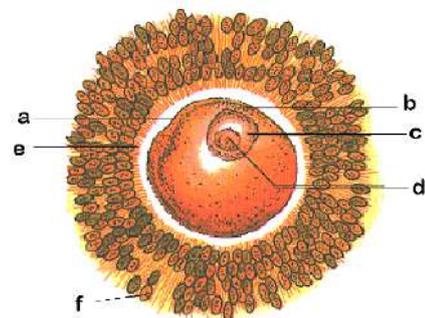
Esse esquema mostra as fases da ovogênese e como esse processo ocorre no ovário em cada ciclo menstrual (do ovócito I até a liberação do ovócito II, processo denominado ovulação). No ovário, cada ovócito está contido em um folículo. A cada ciclo menstrual, um desses folículos inicia a maturação, formando o ovócito II. O folículo, depois que eliminou o ovócito II, transforma-se no corpo lúteo (ou corpo amarelo), que secreta hormônios relacionados ao ciclo menstrual. Depois, o corpo lúteo regride. Todo esse processo é controlado pelos hormônios estrogênio, progesterona e outros.

É importante que se note que, numa mulher que ovula aos 40 anos de idade, os ovócitos I estão a 40 anos na fase de dictióteno. Dessa maneira, a meiose interrompida é retomada depois de muitíssimo tempo. Isso explica porque quanto mais velha a mãe, maior a probabilidade de seu filho vir a ter uma aberração cromossômica como a síndrome de Down: depois de tanto tempo em dictióteno, a meiose pode ser retomada com falha na segregação dos homólogos.

O ÓVULO FORMADO

O óvulo é envolvido por duas camadas protetoras ou barreiras. A mais interna é uma camada de muco secretada pelo próprio óvulo durante seu desenvolvimento e é denominada **zona pelúcida**.

A mais externa é uma camada de células provenientes do folículo ovariano e constitui a **corona radiata**. São essas as duas camadas que o espermatozoide deve romper e a razão da existência do acrossoma.



Óvulo humano: (a) membrana vitelina (membrana plasmática); (b) plasma germinativo (citoplasma); (c) vesícula germinativa (núcleo); (d) mancha germinativa (nucléolo); (e) zona pelúcida (acúmulo de glicoproteínas que revestem a membrana vitelina); (f) corona radiata (coroa de células minúsculas provenientes do folículo de De Graaf e que se dispõem radialmente ao redor do óvulo, protegendo-o).

DIFERENÇAS ENTRE ESPERMATOGÊNESE E OVOGÊNESE

Várias diferenças podem ser enumeradas entre o processo de gametogênese em homens e mulheres:

- O período germinativo e o de crescimento ocorrem no homem após o nascimento, durante a puberdade, e na mulher durante a vida intrauterina;
- O período de crescimento é maior na mulher, pois os óvulos devem acumular o vitelo;
- Para cada célula germinativa, o homem produz quatro espermatozoides funcionais, e a mulher produz apenas um óvulo funcional, sendo as demais células geradas na meiose glóbulos polares;
- A formação de espermatozoides é mais rápida, cerca de 61 dias, contra a formação de óvulos que pode durar anos dependendo da idade em que a mulher está quando ovula;
- O homem forma milhões de espermatozoides a cada dia, enquanto que a mulher libera um óvulo a cada mês durante seu período fértil;
- A espermatogênese inicia-se na puberdade e pode ser mantida por toda a vida do homem, enquanto que a ovogênese inicia-se ainda na vida intrauterina, sofre uma interrupção (dictióteno), continua a partir da puberdade e para completamente por volta dos 45 anos de idade com a menopausa;
- O homem pode produzir um número ilimitado de espermatozoides durante sua vida, enquanto a mulher tem seus óvulos em número bastante limitado.

PARTENOGENESE

Etimologicamente, o nome **partenogênese** vem do grego *parthenós*, que significa 'virginal', e *genesis*, que significa 'origem'. O termo designa formação embrionária de um indivíduo a partir de um único gameta, o óvulo, sem que tenha havido a participação de um espermatozoide. Em outras palavras, pode-se dizer que a partenogênese é uma forma de reprodução sexuada (pois depende da produção de um tipo de gameta, onde há variabilidade genética garantida pelo *crossing-over* e pela segregação dos cromossomos homólogos) sem a necessidade de fecundação.

Em muitas espécies animais, o fenômeno ocorre naturalmente. Algumas se reproduzem alternadamente por partenogênese e por fecundação, com acasalamento. Há outras ainda que embora normalmente não realizem a reprodução 'virginal', podem fazê-la por meios artificiais, em laboratório. Pode-se distinguir, então, a **partenogênese natural** e a **artificial**. Esse processo, entretanto, não foi conseguido com humanos.

Com relação à partenogênese natural, destacam-se alguns tipos: **arrenótoca**, **telítoca**, **deuterótoca** e **diploide**.

PARTENOGENESE ARRENÓTOCA

A **partenogênese arrenótoca** (do grego *arrhenos*, 'macho' e *tokos*, 'parto') é aquela pela qual se originam apenas machos. Sucede, por exemplo, com as abelhas (*Apis mellifera*), cuja rainha, após o ato sexual, acumula por longo tempo um grande número de espermatozoides

num órgão especial denominado espermatoteca. Uma vez que esse órgão, uma espécie de bolsa, é provido de um esfíncter (músculo em forma de anel) controlado voluntariamente, a rainha permite a saída de espermatozoides guardados quando assim o desejar, facilitando a fecundação dos seus

óvulos. Dessas fecundações, resultam apenas fêmeas. Todavia, quando a rainha mantém guardados os espermatozoides, os óvulos produzidos nessa ocasião se desenvolvem partenogeneticamente produzindo exclusivamente machos (zangões). Isso explica o fato das fêmeas serem diploides (com 32 cromossomos em cada célula somática), enquanto os machos são sempre haploides (com 16 cromossomos em cada célula somática). Com essa estratégia, a rainha pode controlar o número de fêmeas e de machos na colmeia. Já que os machos não produzem mel, nem têm outra atividade senão a fecundação de uma futura rainha, eles devem ser pouco numerosos para não onerar demais a sociedade (eles são alimentados pelas operárias). Numa colmeia existem, em média, 20.000 operárias, 100 zangões e uma única rainha. Por serem haploides, os zangões produzem seus gametas por mitose, e não por meiose.

PARTENOGENESE TELÍTOCA

A **partenogênese telítoca** (do grego *thelys*, 'fêmea') é aquela que origina apenas fêmeas. Entre os rotíferos (vermes microscópicos aquáticos) existem quase exclusivamente fêmeas. Na ausência de machos, essas fêmeas reproduzem-se, então, por partenogênese; ocorre que esse número aumenta, pois, por esse meio, só resultam novas fêmeas. Quando, raramente, aparece no ambiente um macho forasteiro, ocorrem fecundações, da qual se originam machos e fêmeas.

O mesmo sucede com o pulgão das videiras (inseto afídeo da espécie *Toxoptera graminum*), do qual habitualmente são mais numerosas as fêmeas. É que, durante a primavera e o verão, as fêmeas reproduzem-se partenogeneticamente originando novas fêmeas. No outono, alguns evoluem partenogeneticamente e dão machos e fêmeas. Isso permite que as crias se desenvolvam e se acasalem. Os ovos resultantes de fecundação permanecerão em vida latente durante o inverno, originando novas fêmeas na primavera seguinte.

Em alguns lagartos brasileiros, quando a fêmea não encontra um macho para se reproduzir, ela realiza partenogênese. É um dos poucos exemplos conhecidos de partenogênese natural em vertebrados.

PARTENOGENESE DEUTERÓTOCA

A **partenogênese deuterótoca** ou **anfoterótoca** é o tipo de partenogênese em que se formam indiferentemente machos e fêmeas. É a forma mais frequentemente observada do fenômeno partenogenético em algumas espécies de insetos como a dáfnia e o bicho-da-seda.

PARTENOGENESE DIPLOIDE

Por um raciocínio direto, pode-se concluir que todo indivíduo partenogenético deveria ser haploide, uma vez que é formado graças à multiplicação de uma célula haploide, o óvulo. No entanto, a observação prática mostrou que, muito comumente, os indivíduos partenogenéticos são diploides. Há diferentes explicações para esse fato:

Tome nota:

- Na formação do óvulo não aconteceria meiose, mas uma mitose comum. O óvulo formado seria, então, diploide.

- O óvulo se formaria por meiose e seria, inicialmente, haploide. Mas, antes de concluir sua formação, ele sofreria fusão com um dos glóbulos polares, também haploide, do que resultaria uma constante cromossômica diploide no gameta maduro.

- O óvulo seria haploide, mas antes de realizar sua primeira segmentação sofreria uma endomitose, isto é, uma mitose interrompida no fim da metáfase, quando a constante cromossômica está duplicada. Não haveria a disjunção dos cromossomos para as células-filhas, pois o óvulo “abortaria” sua divisão, permanecendo diploide. Algum tempo depois, retornaria ao início de uma nova mitose, mas já com $2n$ cromossomos.

PEDOGÊNESE

A **pedogênese** (do grego *pedos*, ‘criança’ e *genese*, ‘origem’) é a própria partenogênese com uma característica particular: a de ocorrer em uma fêmea organicamente imatura, isto é, na fase de larva. Por isso, é comum definir-se a pedogênese como a partenogênese na fase larvária.

A mosca *Miastor metraloa* produz 40 óvulos nos seus ovários. Ocasionalmente, pode-se suceder que, após a fecundação desse óvulos, resultem larvas, que deveriam desenvolver-se normalmente para dar novas moscas. Mas aí ocorre a pedogênese: cada uma dessas larvas forma 40 óvulos. Acontece

que essas larvas devoram o organismo materno. Talvez pela sua nutrição, os óvulos que nelas surgiram desenvolveram-se pedogeneticamente, originando (em cada uma) mais 40 larvas, que a exemplo das anteriores, também devoram as larvas mães. Às vezes, esse fato se repete por três ou quatro gerações de larvas, que originam novas larvas pedogeneticamente, para serem por elas devoradas. Até que, ao fim de algumas gerações, uma última linhagem “resolve” desenvolver-se, passando à fase adulta.

NEOTENIA

A **neotenia** é um fenômeno observado na larva da salamandra (*Ambystoma tigrinum* e *Ambystoma mexicanum*) conhecida vulgarmente como **axolotl**.

Ainda em plena imaturidade somática, na fase de larva, o axolotl já tem as gônadas suficientemente maduras para permitir o seu acasalamento e a sua reprodução por fecundação. Durante muito tempo, em face dessa circunstância, os zoólogos pensaram que o axolotl fosse uma variedade a mais da salamandra.

Há, contudo, quem interprete o fenômeno de um outro ponto de vista: o axolotl seria um animal adulto, conservando, entretanto, caracteres morfológicos de larva.



Em cima, o axolotl; embaixo, a salamandra adulta. Afinal, o axolotl é uma larva sexualmente precoce ou um adulto que conserva caracteres larvários?