

O citoplasma das células

Science Source/Biophoto Associates/Diomedea

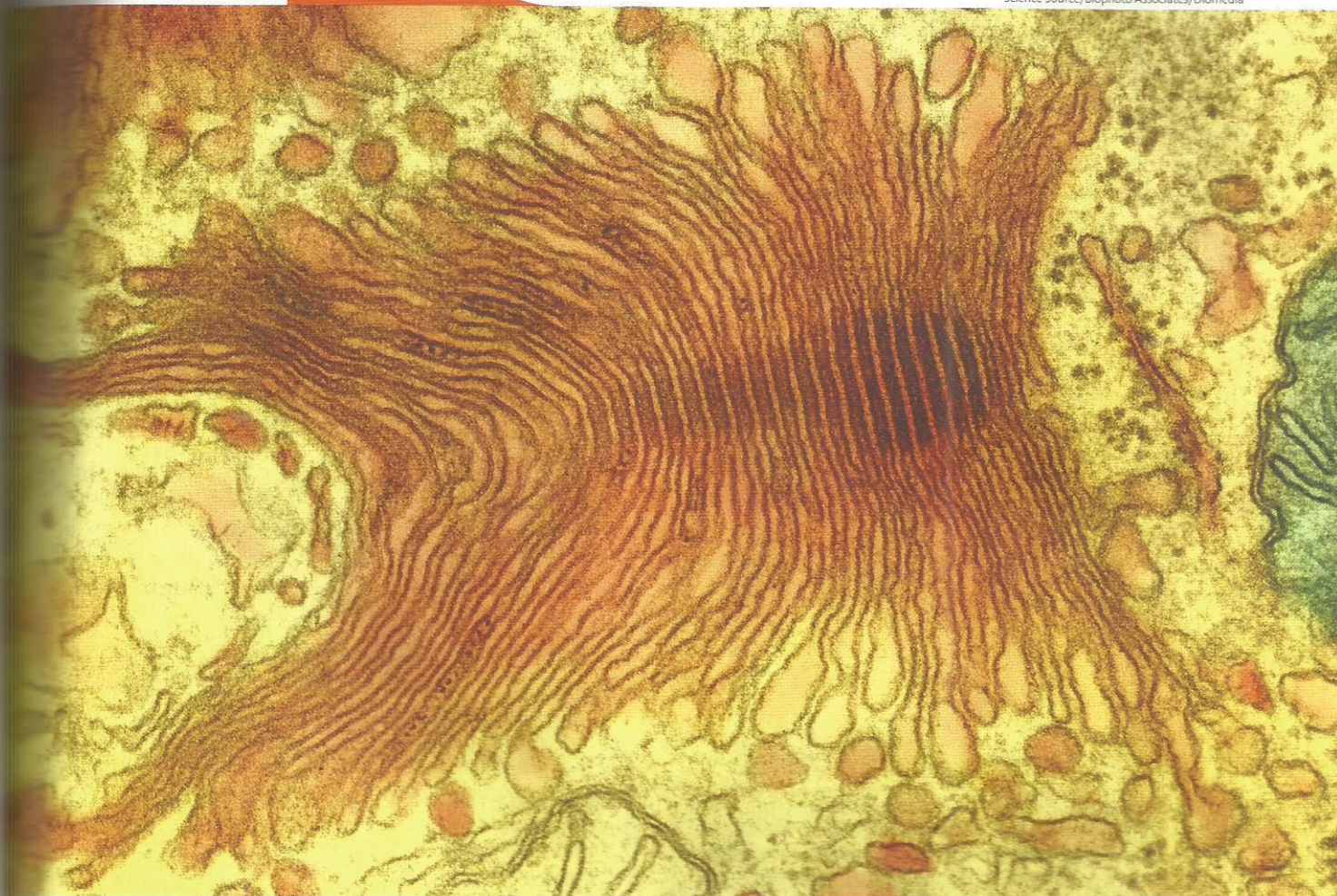


Figura 10.1. Os avanços da tecnologia propiciaram a construção de instrumentos capazes de desvendar cada vez mais os detalhes de diferentes estruturas. Com os microscópios eletrônicos, as estruturas celulares estão sendo cada vez mais compreendidas, embora a interpretação das fotografias obtidas por essa tecnologia exija bastante estudo e conhecimento. As fotografias são obtidas em preto e branco, podendo receber depois coloração artificial, como a imagem acima, que mostra o complexo golgiense e vesículas que são liberadas dele. (Cores artificiais.)



Pense nisso

- Pense no corpo de um animal e em um pé de alface em uma horta. Você já sabe que o corpo dos organismos é formado por células. Se fosse olhar uma célula verde de alface e uma célula da pele do animal, quais semelhanças e diferenças encontraria entre esses dois tipos celulares?
- Pense agora em uma bactéria que foi encontrada no solo onde a alface estava plantada. A célula dessa bactéria apresenta diferenças em relação à célula verde da alface e à célula da pele do animal? Explique sua resposta.

1. Comparando células procarióticas com eucarióticas

No capítulo anterior, nosso interesse foi entender as estruturas que delimitam as células, com destaque para a membrana plasmática. Vimos que, pelo mecanismo da endocitose, porções da membrana das células eucarióticas podem ser transferidas para o citoplasma na forma de vesículas. Vimos também que membranas constituintes de vesículas citoplasmáticas incorporam-se à membrana plasmática pela exocitose.

Isso evidencia a relação íntima entre a membrana plasmática e muitos componentes membranosos internos da célula eucariótica, que em seu conjunto constituem o chamado **sistema de endomembranas**.

Agora, a meta será explorar o citoplasma quanto a suas características estruturais e funcionais. Deixaremos o estudo do metabolismo energético para o próximo capítulo.

Até os anos 1940, eram pouco conhecidos a variedade e o detalhamento de organelas celulares. Embora no início do século 20 já se soubesse, por meio de técnicas específicas de coloração de células eucarióticas em laboratório, da existência de um sistema interno de estruturas membranosas, a maioria dos detalhes se revelou somente com o advento do microscópio eletrônico de transmissão.

Analisar as duas micrografias a seguir e veja a diferença de detalhes que se pode obter ao microscópio de luz e ao microscópio eletrônico (Figs. 10.2 e 10.3).

Com base no estudo integrado de numerosas imagens de cortes de células dos mais diversos tipos, puderam ser compostas visões tridimensionais delas. As representações artísticas de células que usamos neste livro foram concebidas considerando esses vários estudos.

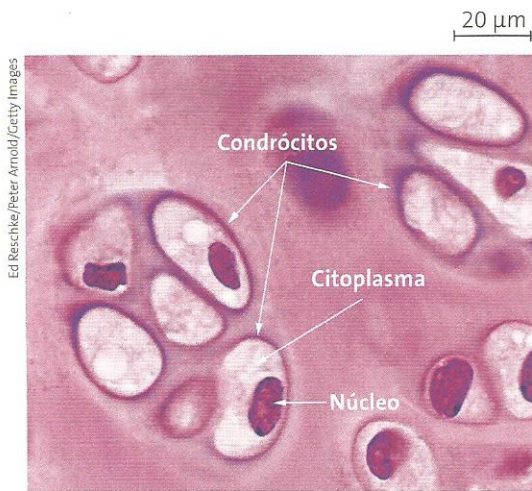


Figura 10.2. Fotomicrografia de corte histológico de tecido cartilaginoso humano corado. Nessa imagem há várias células chamadas condrócitos. Note o núcleo, no centro das células, e o citoplasma, onde se distinguem apenas algumas granulações. (Cores artificiais.)

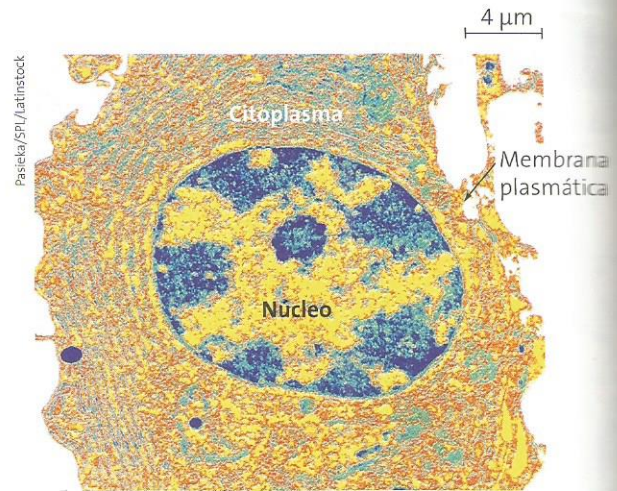


Figura 10.3. Eletromicrografia de transmissão de um condrócito. Compare a riqueza e a complexidade estrutural do citoplasma (entre o núcleo e a membrana plasmática) com a que se pode ver com o microscópio de luz. (Cores artificiais.)

Agora, analise mais detalhadamente esquemas da estrutura de células procarióticas, sendo uma de bactéria (Figs. 10.4 e 10.5) e outra de cianobactéria (Figs. 10.6 e 10.7).

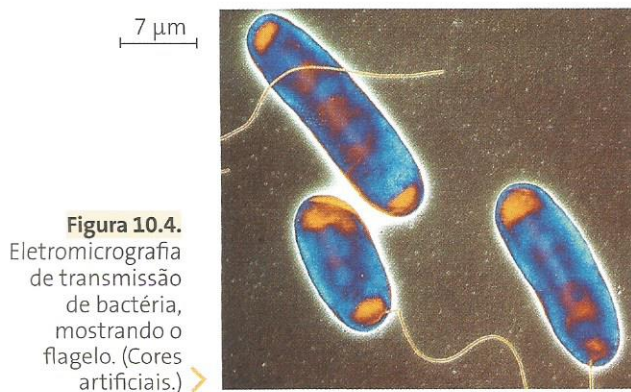


Figura 10.4. Eletromicrografia de transmissão de bactéria, mostrando o flagelo. (Cores artificiais.)

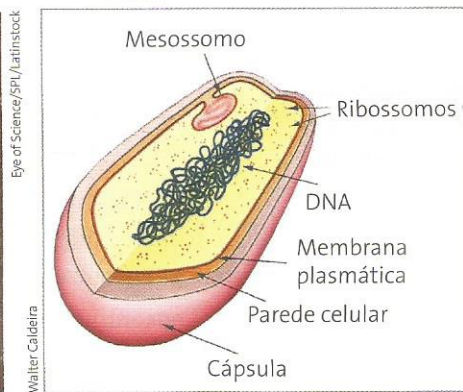


Figura 10.5. Esquema de célula de bactéria vista com parte removida, mostrando o mesossomo, os ribossomos e o DNA. Mede cerca de 3 μm de comprimento. (Cores-fantasia.)



Figura 10.6. Eletromicrografia de transmissão de uma cianobactéria, mostrando as membranas fotossintéticas no citoplasma. A célula mede cerca de 5 μm de comprimento.

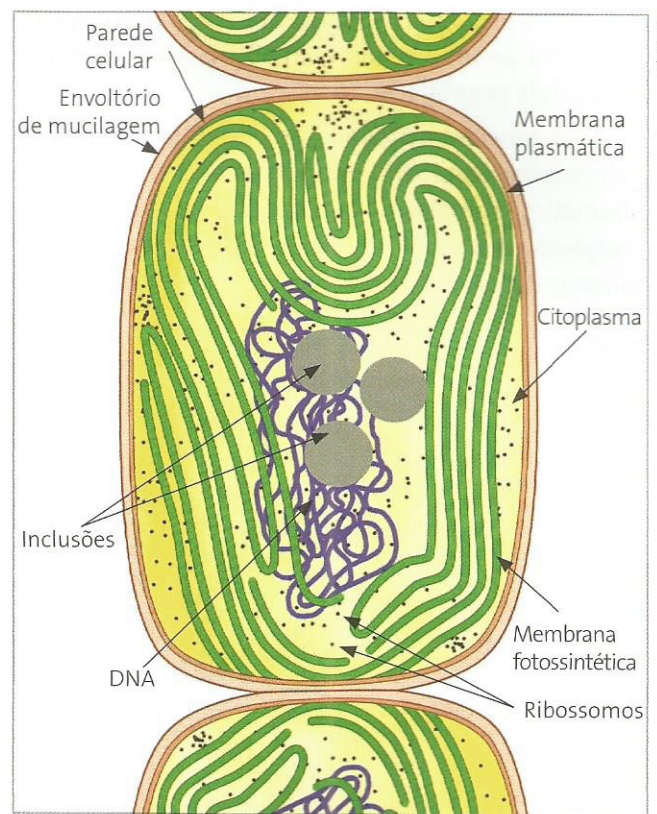


Figura 10.7. Esquema de uma cianobactéria vista em corte. A célula mede cerca de 5 μm de comprimento. (Cores-fantasia.)

O citoplasma das células procarióticas é muito mais simples do que o das eucarióticas. Ele é formado por uma matriz rica em água, com diversos íons e moléculas dissolvidos, mas não existem estruturas delimitadas por membranas. Pode haver, no entanto, membranas especiais no citoplasma dessas células. Essas membranas podem ser:

- mesossomo — invaginação da membrana plasmática para dentro do citoplasma; está presente em alguns tipos de bactéria;
- membranas fotossintéticas — estão presentes no citoplasma das cianobactérias; as moléculas de clorofila localizam-se nessas membranas, que, portanto, estão relacionadas com a fotossíntese. Essas membranas, no entanto, não formam um cloroplasto.

Imersos no citoplasma das células procarióticas estão os **ribossomos** — estruturas semelhantes a pequenos grãos, sem membrana delimitante. Eles são formados por proteínas associadas a um tipo de ácido nucleico denominado ácido ribonucleico ribossômico (**RNA_r**). Os ribossomos são muito importantes no processo de síntese proteica. Além deles, também pode haver **inclusões** citoplasmáticas, que são acúmulos de substâncias de reserva, subprodutos inertes do metabolismo celular, ou ainda grânulos de diversos pigmentos. Ribossomos e inclusões também ocorrem nas células eucarióticas.

Em uma região da matriz citoplasmática das células procarióticas encontra-se disperso o material genético, constituído por uma única molécula circular de DNA. Essa região da célula recebe o nome de **nucleoide**. Não existe uma membrana separando o nucleoide do restante do citoplasma.

Nas células eucarióticas, o citoplasma corresponde a toda a região situada entre a membrana plasmática e o envelope nuclear ou carioteca, estrutura membranosa que delimita o núcleo. O citoplasma é constituído por um fluido chamado citosol (ou citossol, ou hialoplasma, ou, ainda, citoplasma fundamental), composto basicamente de água, íons e substâncias necessárias à síntese de moléculas orgânicas, onde estão imersos os ribossomos e, em certos casos, as inclusões.

São características exclusivas das células eucarióticas, além do núcleo, o tipo de citoesqueleto e as organelas membranosas. O citoesqueleto dos eucariontes é responsável pela forma e sustentação interna da célula e pelo movimento do citoplasma. Recentemente descobriu-se uma tênue rede de fios proteicos no citoplasma de células procarióticas, que tem sido chamada de citoesqueleto procariótico. Ela difere, no entanto, do citoesqueleto dos eucariontes. Assim, o tipo de citoesqueleto dos eucariontes é exclusivo deles e é somente a ele que faremos referência nesta obra.

Análise os esquemas a seguir, que comparam a estrutura geral de uma célula animal (Fig. 10.8) com a de uma célula vegetal (Fig. 10.9).

As organelas membranosas presentes em praticamente todas as células eucarióticas são: retículo endoplasmático, complexo golgiense (antigo aparelho ou complexo de Golgi), lisossomos, peroxissomos e mitocôndrias. Os cloroplastos ocorrem apenas em células de

organismos eucariontes fotossintetizantes, e os vacúolos de suco celular ocorrem em plantas, certas algas e fungos.

As organelas membranosas representam cerca de 40% do volume total de uma célula eucariótica. Esse é, no entanto, um valor médio, variando de célula para célula em um mesmo indivíduo e de espécie para espécie. Essa porcentagem depende também da atividade metabólica da célula.

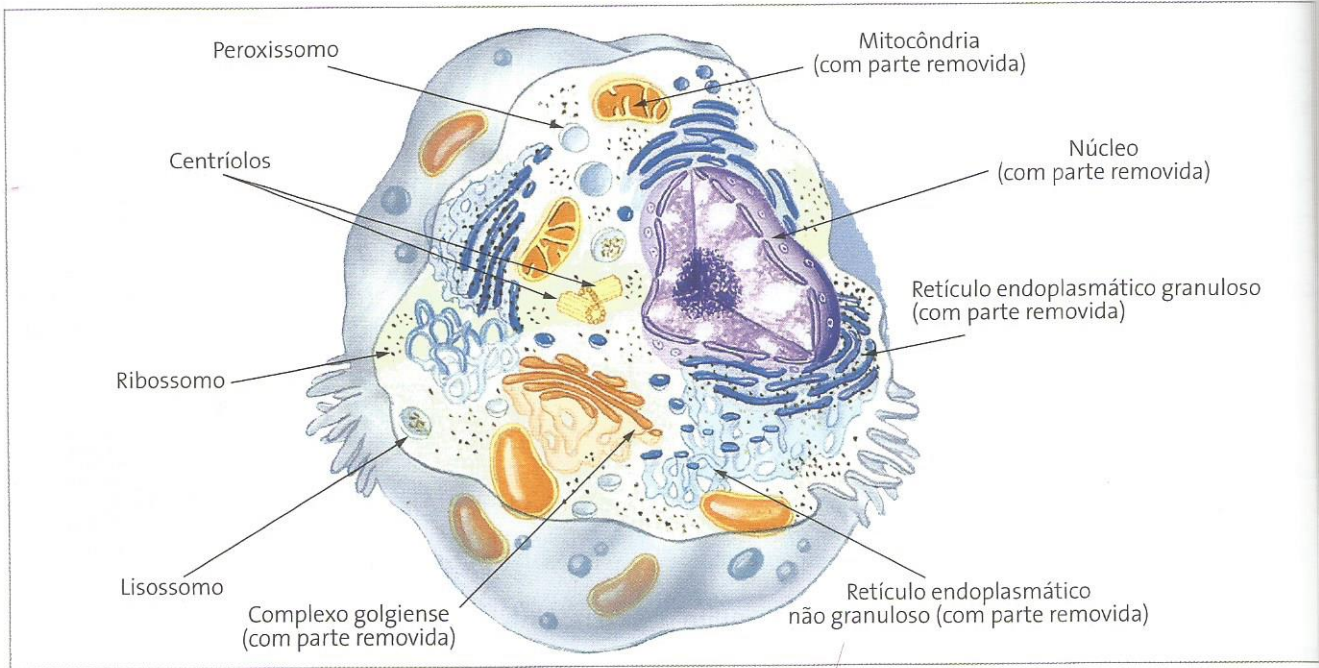


Figura 10.8. Esquema de célula eucariótica animal com parte da célula removida. Mede cerca de 20 μm de diâmetro. (Cores-fantasia.)

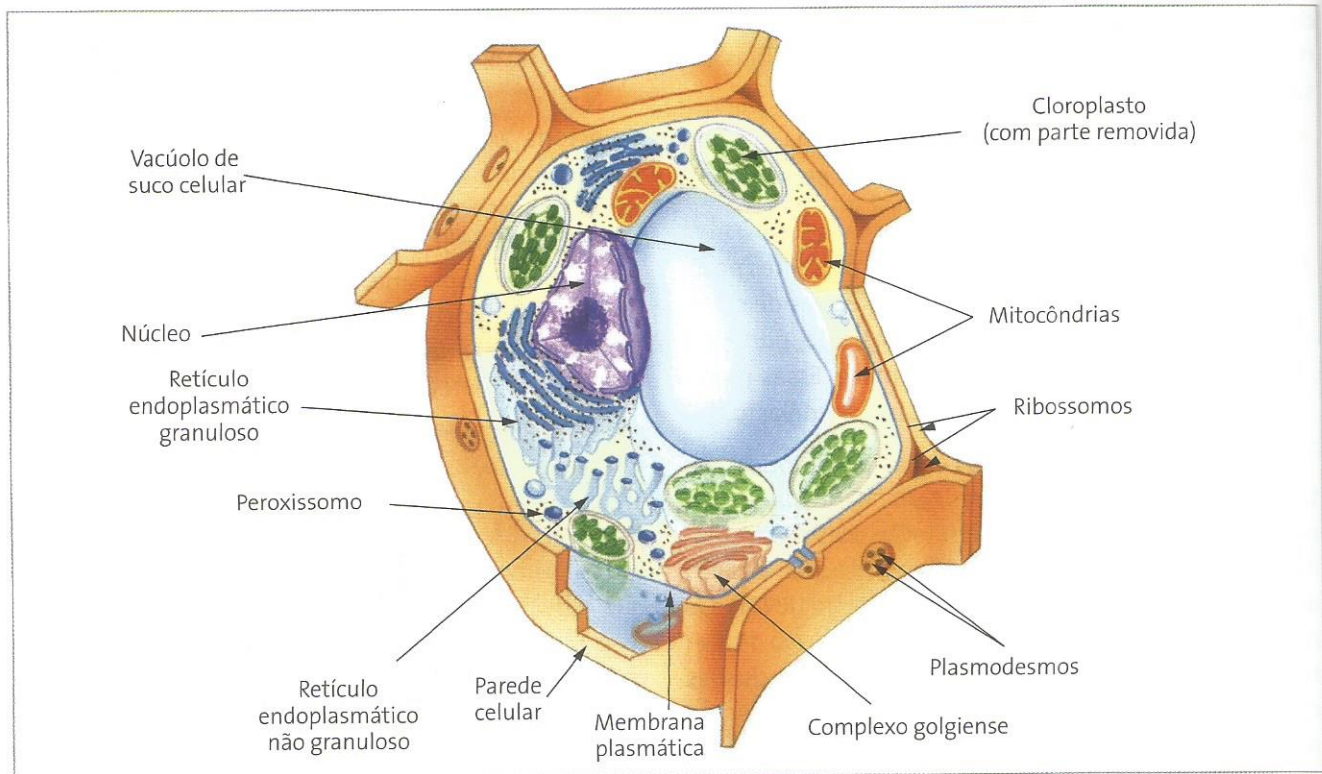


Figura 10.9. Esquema de célula eucariótica vegetal com parte removida. Mede cerca de 100 μm de comprimento. (Cores-fantasia.)

Despertando ideias

Construindo modelos de estrutura celular

O objetivo desta atividade é fazer com que você, juntamente com seu grupo de estudo, monte modelos tridimensionais de células vistas em corte espesso, evidenciando suas estruturas internas.

Esses modelos, depois de prontos, podem acompanhá-los durante todo o estudo do tema biologia celular. Isso facilitará a compreensão dos diferentes assuntos ligados às células, além de permitir que se recorde do que já foi estudado. A construção de modelos requer habilidade manual e criatividade na escolha dos materiais, além, é claro, de conhecimento sobre os diferentes tipos de célula a representar.

Conte com seus conhecimentos na área de Arte. Além disso, a construção desses modelos vai requerer conhecimentos de Matemática, pois deverão ser feitos cálculos de proporções das estruturas.

Este é um bom exemplo de interdisciplinaridade, pois Biologia, Arte e Matemática estão em interação.

Listamos a seguir quatro propostas, entre as quais seu grupo deverá trabalhar com uma. Para a elaboração dos modelos, procurem informações não apenas neste livro, mas também em outras fontes confiáveis de consulta.

As propostas são:

- **Proposta 1:** representar uma bactéria não fotossintetizante e uma bactéria fotossintetizante do grupo das cianobactérias.
- **Proposta 2:** representar um leucócito e uma hemácia.
- **Proposta 3:** representar uma célula animal genérica, sem especificar o tecido ao qual pertence.
- **Proposta 4:** representar uma célula vegetal genérica, sem especificar o tecido ao qual pertence.

Uma vez estabelecida a proposta a ser trabalhada, vocês deverão considerar o seguinte:

1. Em grupo, pesquisem como são as células da proposta escolhida, suas funções, tamanho real e estruturas que elas contêm. Com as medidas, calculem a ampliação adequada ao seu modelo, tomando cuidado para manter as proporções reais entre as estruturas.
2. Planeje, com seu grupo, como será a montagem. Vocês deverão fazer uma lista dos elementos que serão incluídos e dos materiais que serão usados para representá-los. Por exemplo: massa de modelar, grãos de feijão (simulando mitocôndrias, por exemplo), miçangas, macarrão, linhas e outros materiais.
3. Após a construção do modelo, seu grupo deve apresentá-lo para os demais colegas de classe, explicando o tipo de célula representado, cada estrutura celular e sua respectiva função. Analise, com seu grupo, a necessidade de aprimoramento do modelo.

Para facilitar o estudo do citoplasma, vamos analisá-lo sob o ponto de vista funcional (ou fisiológico), e não apenas sob o morfológico. Vamos considerar as principais funções citoplasmáticas e as estruturas envolvidas na execução dessas funções, tomando por base células eucarióticas:

- sustentação e movimentos celulares, que são desempenhados pelo citoesqueleto, centríolos, cílios e flagelos;
- síntese, armazenamento e transporte de macromoléculas, funções em que as organelas envolvidas

são os ribossomos, o retículo endoplasmático, o complexo golgiense, os lisossomos, os peroxissomos e os vacúolos;

- metabolismo energético das células, que corresponde aos processos de obtenção de energia (fotossíntese e quimiossíntese) e de liberação de energia (fermentação e respiração). Incluídos nesse tema estão o citosol, os cloroplastos e as mitocôndrias. Esses processos serão analisados com detalhes no próximo capítulo.

2. Citoesqueleto

A forma e a sustentação interna da célula eucariótica são dadas principalmente pelo citoesqueleto. Ele participa também dos movimentos citoplasmáticos (ciclose e movimento ameboide) e da formação das fibras responsáveis pela orientação e pelo deslocamento dos cromossomos na divisão celular (fusos mitótico e meiótico).

O **citoesqueleto eucariótico** é composto de três tipos de filamento proteico: os microtúbulos, os microfilamentos e os filamentos intermediários.

As características e funções desses filamentos estão resumidas na **figura 10.10**.

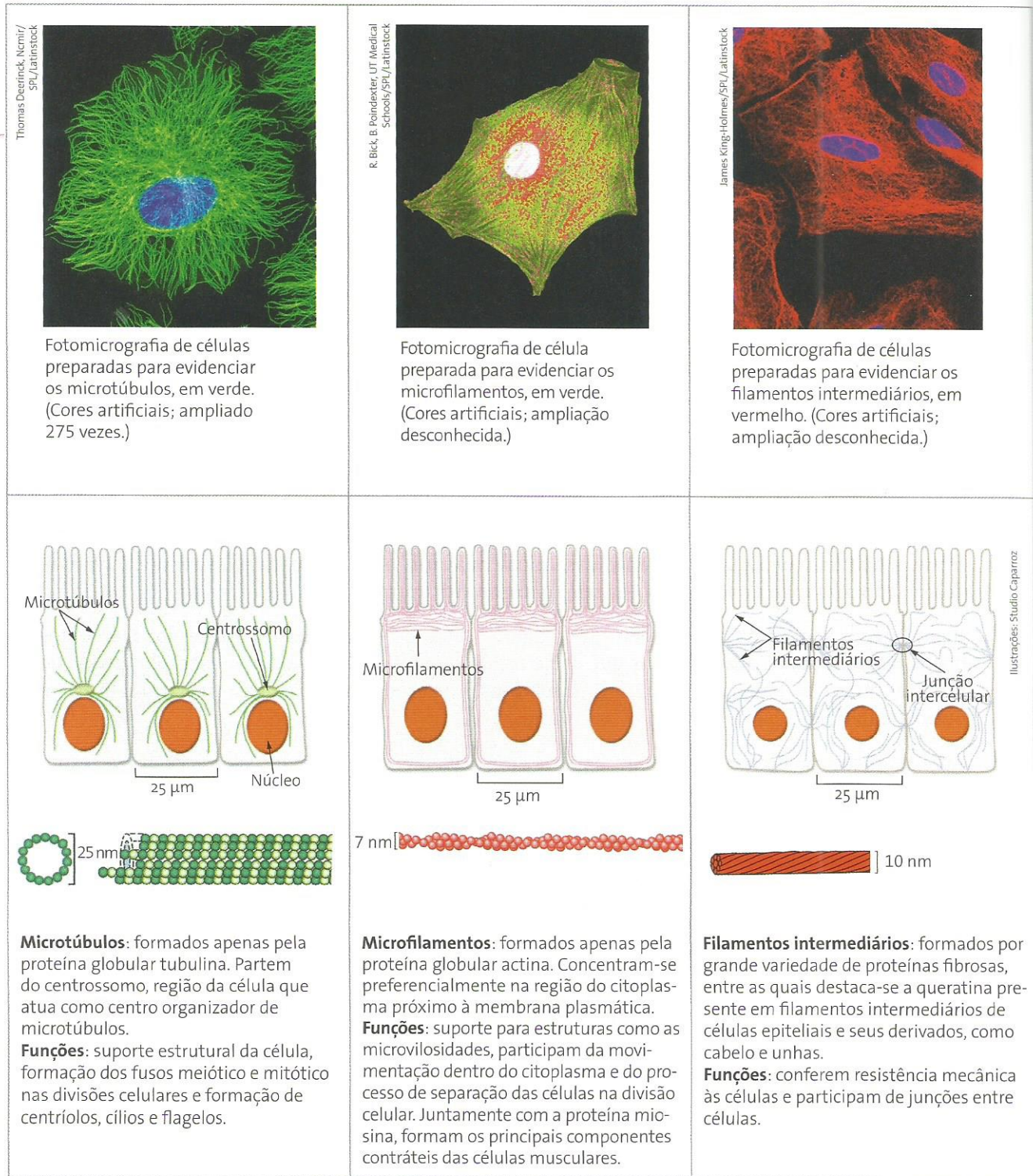


Figura 10.10. Fotomicrografias e esquemas de células evidenciando os filamentos proteicos. (Cores-fantasia.)

As proteínas que compõem os filamentos do citoesqueleto podem se dispersar no citosol e depois se reorganizar em novos filamentos. Esse processo é responsável por alterações na configuração do citoesqueleto. Essas alterações podem originar movimentos citoplasmáticos relacionados não só com o deslocamento de estruturas dentro da célula (ciclose) (Fig. 10.11), como também com a formação de pseudópodes (*pseudo* = falso; *podes* = pé) usados na locomoção (Fig. 10.12) e na fagocitose.

Ilustrações: Walter Caldeira

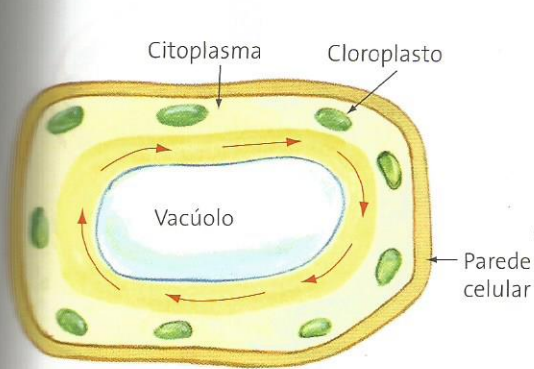


Figura 10.11. Esquema de célula vegetal em corte, com setas em vermelho indicando a ciclose. (Cores-fantasia.)

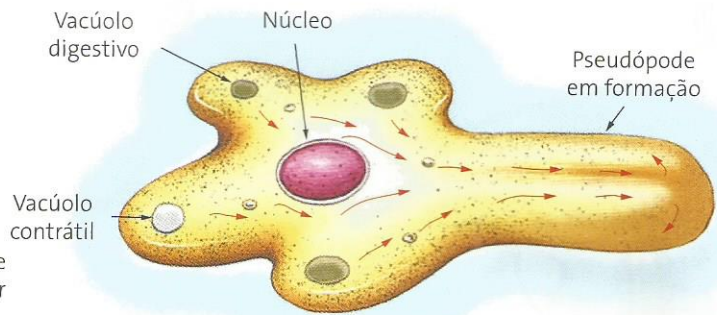


Figura 10.12. Esquema de formação de pseudópode em ameba. As setas em vermelho indicam o sentido das correntes citoplasmáticas. Estruturas celulares como núcleo e vacúolos são arrastadas por essas correntes. (Cores-fantasia.)

3. Centríolos, cílios e flagelos

Os centríolos ocorrem aos pares nas células da maior parte dos seres vivos. Eles se dispõem perpendicularmente entre si e localizam-se próximos ao núcleo em uma região denominada **centro celular** ou **centrossomo**. Dessa região partem os microtúbulos do citoesqueleto.

Nas células que não têm centríolos, como as dos pinheiros e das angiospermas, há, no entanto, o centrossomo. Cada centríolo é uma estrutura cilíndrica, composta de nove grupos de três microtúbulos proteicos (Fig. 10.13).

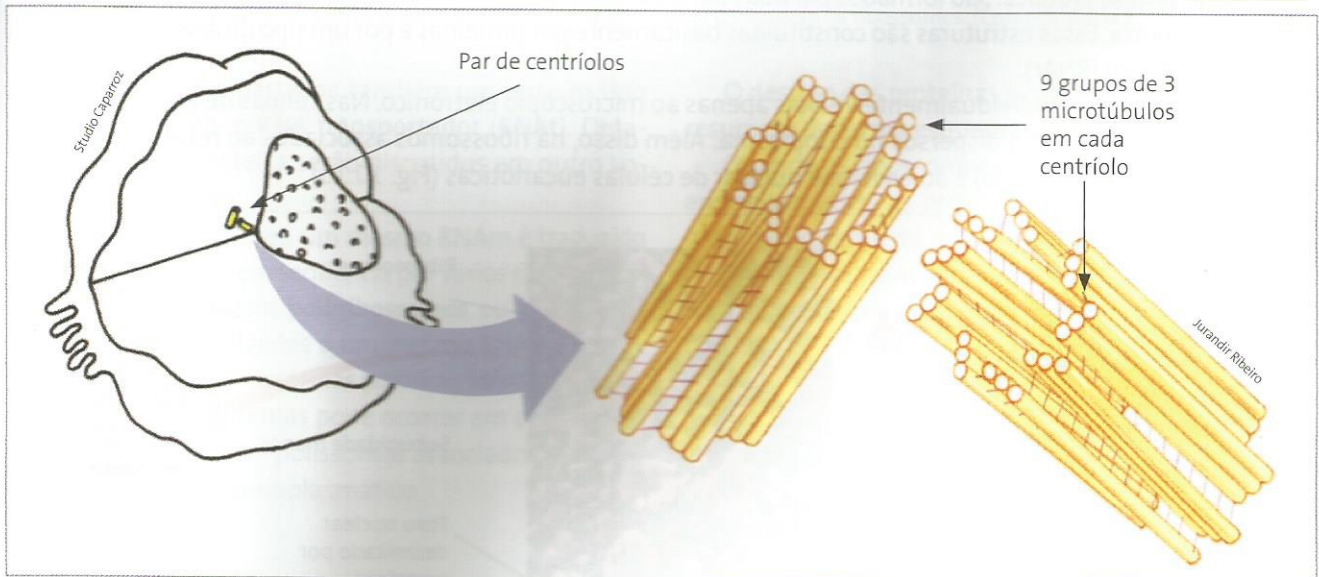


Figura 10.13. Esquema de célula animal com parte removida, destacando os centríolos. (Elementos representados em diferentes escalas. Cores-fantasia.)

Centríolos alongados e modificados dão origem a duas estruturas celulares: os cílios e os flagelos.

Os cílios e os flagelos têm a mesma estrutura interna. Os cílios, no entanto, são mais curtos e mais numerosos por célula do que os flagelos.

Nos eucariontes unicelulares, os cílios e os flagelos têm a função básica de promover o deslocamento em meio líquido ou mesmo de promover a movimentação do líquido circundante, de modo a propiciar a obtenção de alimento.

A parte basal dessas estruturas é chamada **cinetossomo** ou **corpúsculo basal**, que tem a mesma estrutura do centríolo. Desse cinetossomo, dois microtúbulos proteicos, de cada grupo de três, alongam-se, empurrando a membrana plasmática. São formados, ainda, dois microtúbulos centrais. Portanto, os cílios e os flagelos são compostos de nove grupos de dois microtúbulos periféricos e de um grupo de dois microtúbulos centrais (organização microtubular na base: 9 + 2) (Figs. 10.14).

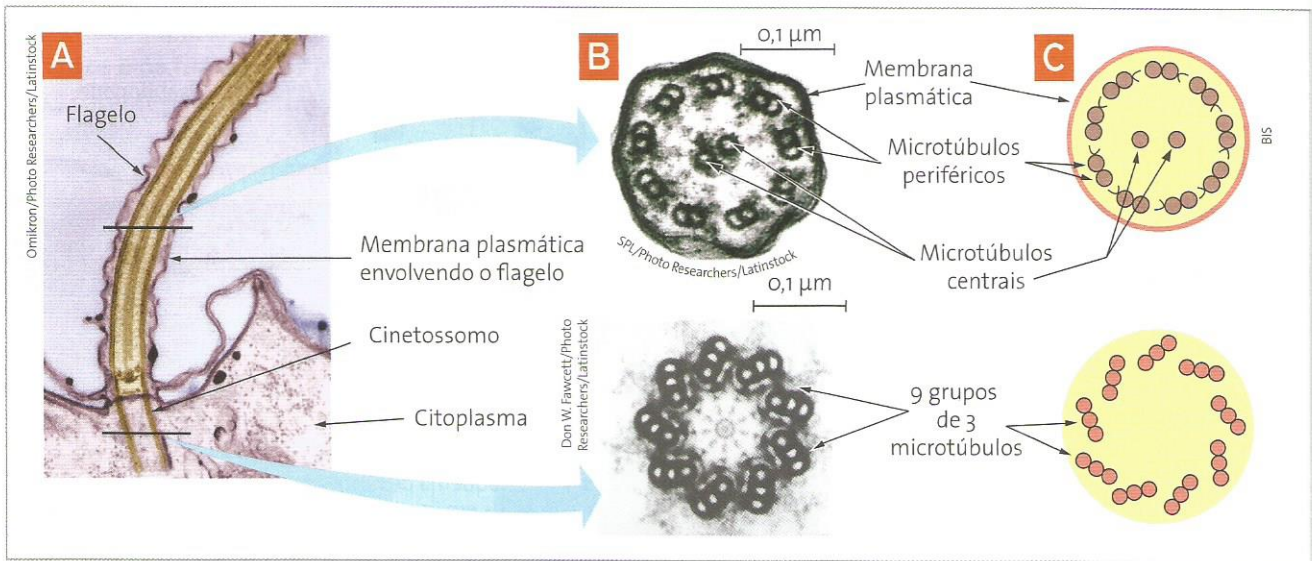


Figura 10.14. O flagelo e suas subunidades: **A** – Eletromicrografia de transmissão, colorida artificialmente, de um flagelo visto em corte longitudinal. Ampliação: 75000; **B** – Eletromicrografias de transmissão do flagelo e do corpúsculo basal em corte transversal; **C** – Esquemas da disposição dos microtúbulos proteicos vistos em cortes transversais. (Elementos representados em diferentes escalas. Cores-fantasia).

4. Ribossomos

Os ribossomos são estruturas encontradas tanto em células procarióticas como em eucarióticas e participam do processo de síntese proteica. São formados por duas partes arredondadas, com tamanhos diferentes, que se dispõem uma sobre a outra. Essas estruturas são constituídas basicamente por proteínas e por um tipo de ácido ribonucleico: o RNA ribossômico (RNAr).

Os ribossomos são individualmente visíveis apenas ao microscópio eletrônico. Nas células de eucariontes e de procariontes, eles ocorrem dispersos no citoplasma. Além disso, há ribossomos associados ao retículo endoplasmático granuloso (ou rugoso) e ao envelope nuclear de células eucarióticas (Fig. 10.15).

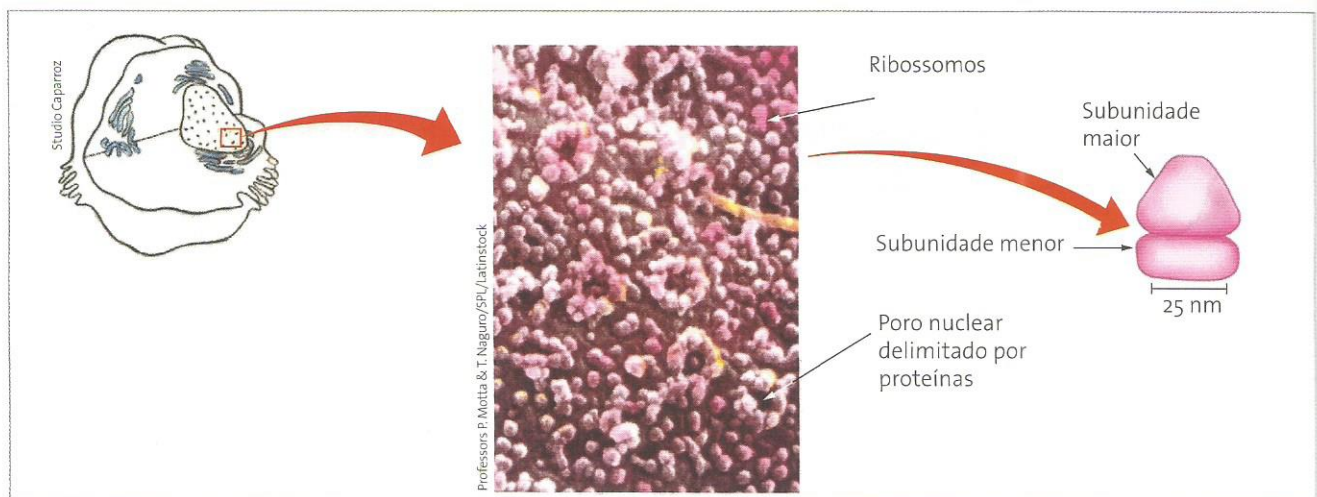


Figura 10.15. Esquema de célula animal com parte removida, destacando os ribossomos. (Elementos representados em diferentes escalas. Cores-fantasia.) Na eletromicrografia de varredura, no centro, podem-se observar os ribossomos aderidos ao envelope celular. (Colorida artificialmente, ampliação desconhecida.)

Para a síntese de proteínas ocorrer, o ribossomo deve associar-se a uma molécula de outro tipo de ácido nucleico, o ácido ribonucleico mensageiro (RNAm), que contém a informação genética para a síntese de determinada proteína.

O ribossomo associa-se a esse RNAm e desloca-se sobre ele, traduzindo a sua informação. À medida que o ribossomo se desloca, a proteína vai sendo formada, associada à subunidade maior (Fig. 10.16).

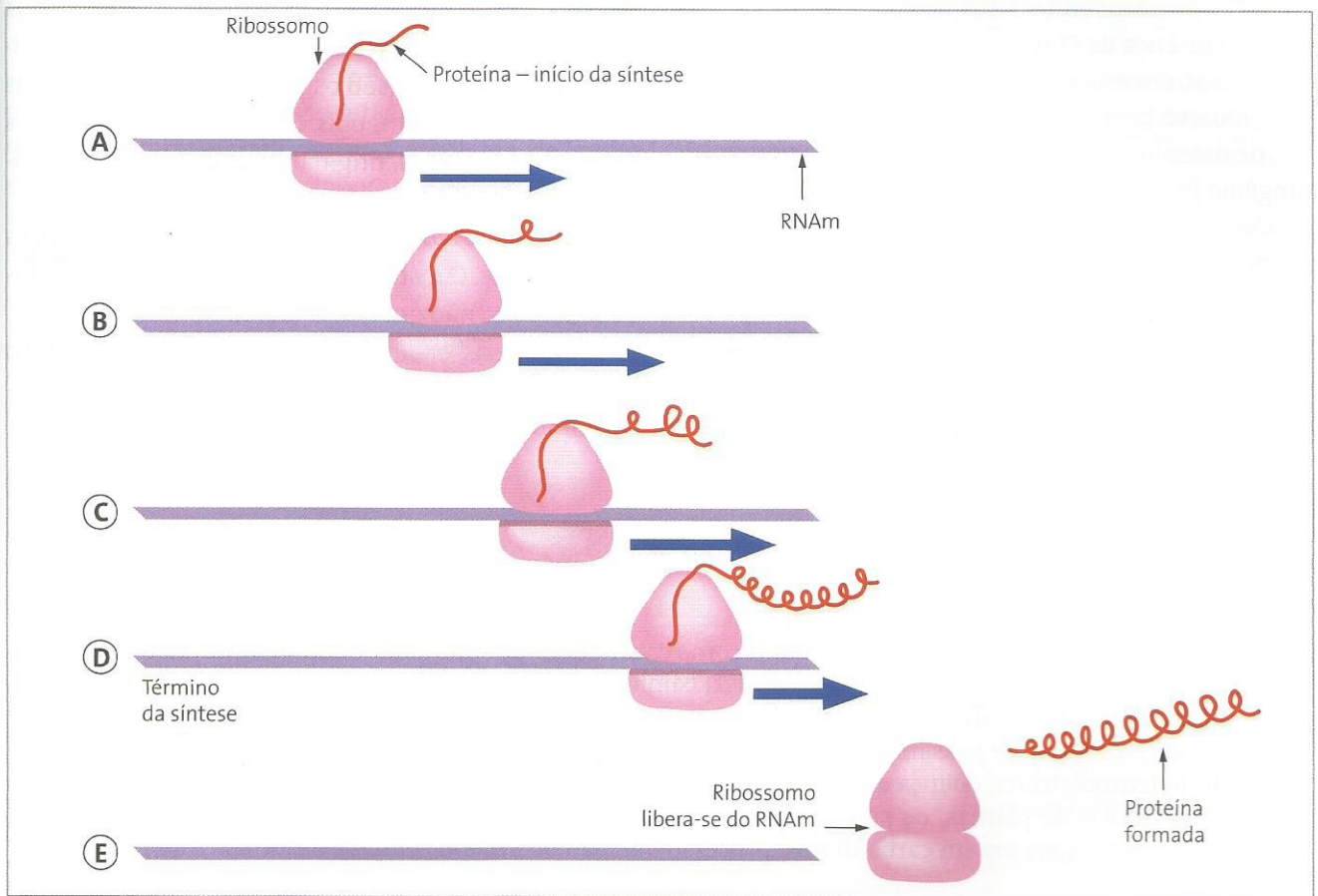


Figura 10.16. Esquema simplificado da síntese de proteínas, da qual participam os ribossomos. (Cores-fantasia.)

Desse processo participa também um terceiro tipo de ácido nucleico: o RNA transportador (RNAt). Detalhes da síntese proteica serão discutidos em outro volume desta coleção.

Na maioria das vezes, um mesmo RNAm é traduzido simultaneamente e em sequência por vários ribossomos. Nesse caso, fala-se em **polirribossomos** ou **polissomos** (vários ribossomos ligados a um mesmo RNAm). Assim, são formadas várias moléculas proteicas idênticas.

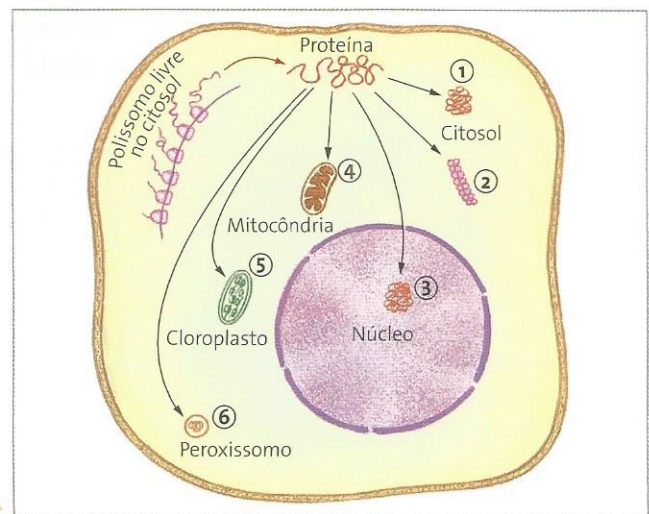
A síntese de proteínas pode ocorrer em polissomos livres no citosol ou em polissomos associados às membranas do retículo endoplasmático.

O destino das proteínas sintetizadas no citosol está resumido de forma esquemática na figura 10.17.

Quando os ribossomos estão associados ao retículo endoplasmático, as proteínas que eles produzem penetram diretamente no retículo. O destino dessas proteínas envolve transporte por meio de vesículas, como será discutido mais adiante nesse capítulo.

Figura 10.17. Esquema de uma célula vegetal hipotética mostrando possíveis destinos de proteínas sintetizadas por polissomos no citosol. (Elementos representados em diferentes escalas; cores-fantasia.)

1. enzima livre no citosol;
2. proteína que fará parte do citoesqueleto;
3. proteína nuclear (poderá fazer parte dos cromossomos);
4. enzimas que farão parte de etapas da respiração no interior da mitocôndria;
5. enzimas que farão parte de etapas da fotossíntese no interior do cloroplasto;
6. enzimas que serão armazenadas no interior do peroxissomo.



5. Peroxissomos

Os peroxissomos são organelas membranosas, de contorno arredondado, cuja principal função é a oxidação na presença de O_2 de certas substâncias orgânicas nas células, em especial os ácidos graxos. Apesar de ser um processo benéfico para as células, ocorre a formação de um subproduto muito tóxico: o peróxido de hidrogênio (H_2O_2 , a água oxigenada).

Como é extremamente tóxico, esse composto deve ser degradado rapidamente. Sua decomposição é feita por uma enzima contida nos peroxissomos, denominada **catalase**, originando água e oxigênio.



Os peroxissomos podem atuar também na desintoxicação do organismo em relação a certas substâncias, como o etanol, presente em bebidas alcoólicas. Nesse caso, são os peroxissomos das células do fígado que atuam, pois contêm enzimas capazes de quebrar o etanol, originando produtos menos tóxicos.

Cerca de 25% do álcool ingerido é degradado pelos peroxissomos. O restante é degradado pelo retículo endoplasmático não granuloso (agranular ou liso).

As diversas enzimas contidas nos peroxissomos são produzidas por ribossomos livres no citosol e incorporadas a eles.



Falando de SAÚDE

PEROXISSOMOS E DOENÇAS

Certas enzimas dos peroxissomos atuam como catalisadoras das primeiras reações envolvidas na síntese da classe mais abundante de fosfolípidios da bainha de mielina das células nervosas.

Essa bainha é responsável pelo bom funcionamento das células nervosas. Deficiências nessas enzimas e desordens que possam ocorrer nos peroxissomos levam a doenças neurológicas graves, como a adrenoleucodistrofia, doença que foi tema do filme *Óleo de Lorenzo*, produzido em 1992.

Nas células de plantas, os peroxissomos recebem o nome de **glioxissomos**, pois são capazes de converter ácidos graxos em carboidratos, processo que não ocorre em células de animais e de fungos.

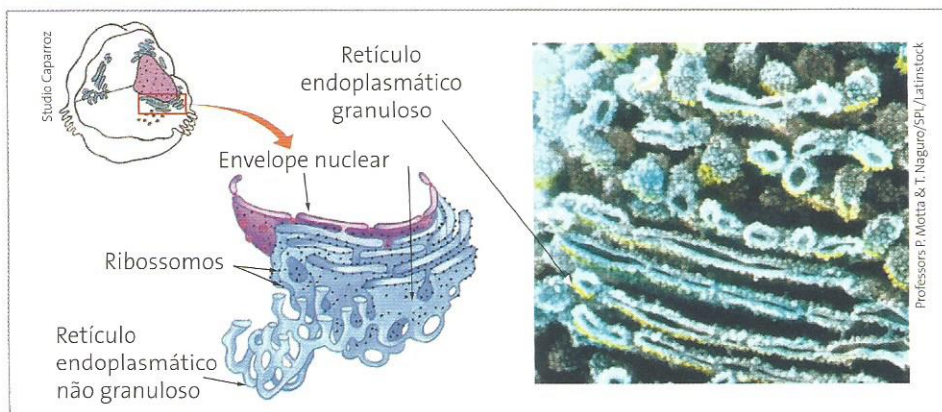
6. Retículo endoplasmático

O retículo endoplasmático é composto de canais delimitados por membranas. Esses canais comunicam-se com o envelope nuclear.

O retículo endoplasmático pode ser considerado uma rede de distribuição, levando o material de um ponto qualquer até o ponto de utilização. O retículo endoplasmático desempenha, portanto, importante papel no transporte de substâncias dentro da célula.

Existem dois tipos ou duas regiões (Fig. 10.18).

- retículo endoplasmático não granuloso (liso ou agranular), com sistemas de túbulos mais cilíndricos e sem ribossomos aderidos à membrana;
- retículo endoplasmático granuloso (granular ou rugoso), com sistemas de túbulos achatados e ribossomos aderidos à face da membrana voltada para o citosol, o que lhe confere aspecto granular.



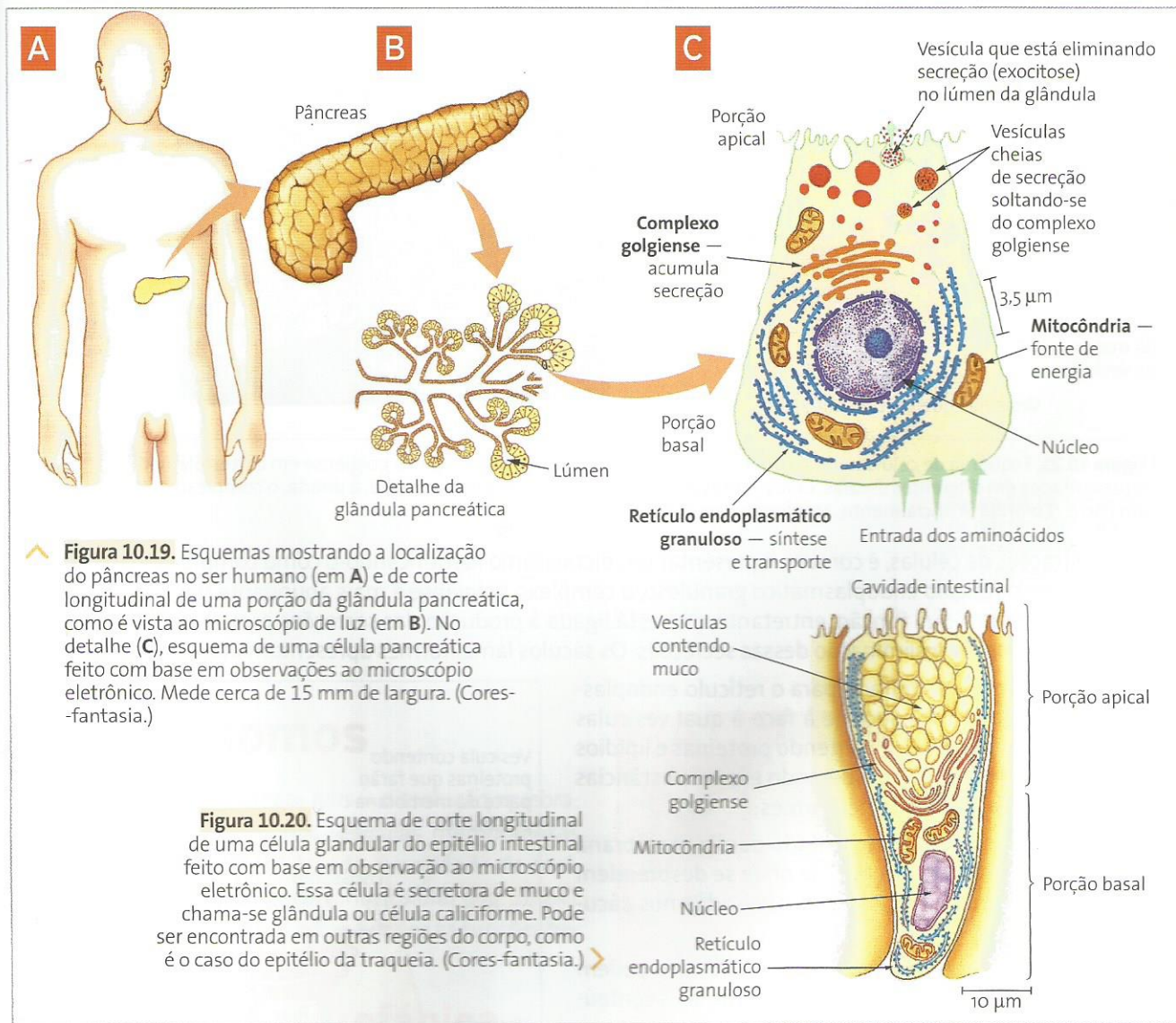
◀ **Figura 10.18.** Esquema de célula animal com parte removida, destacando os retículos endoplasmáticos granuloso e não granuloso. (Elementos representados em diferentes escalas. Cores-fantasia.) Na eletromicrografia de varredura, à direita, podem-se observar os canais delimitados por membranas que formam o retículo endoplasmático. (Cores artificiais, ampliação desconhecida.)

O retículo **não granuloso** participa principalmente da síntese de esteroides, fosfolipídios e outros lipídios, como o colesterol. Assim como os peroxissomos, atua também na degradação do álcool ingerido em bebidas alcoólicas. É abundante em células do fígado e das gônadas.

A principal função do retículo **granuloso** é a síntese de proteínas, que poderão ou não ser enviadas para o exterior das células. Esse retículo é também denominado **ergastoplasma**, palavra originada do grego *ergozomai*, que significa elaborar, sintetizar.

É muito desenvolvido em células que têm função secretora, como as células do pâncreas (Fig. 10.19), que secretam enzimas digestivas e hormônios, e as células caliciformes da parede do intestino, que secretam muco (proteínas associadas a polissacarídeos).

Nesses tipos celulares, o núcleo e o retículo endoplasmático granuloso se dispõem na metade basal da célula. A porção apical apresenta principalmente vesículas secretoras, que eliminam seus conteúdos para fora da célula por exocitose (Fig. 10.20).



Falando de SAÚDE

O RETÍCULO ENDOPLASMÁTICO E A TOLERÂNCIA AO ÁLCOOL

Álcool, sedativos e outras drogas, quando ingeridos em excesso ou com frequência, induzem a proliferação do retículo não granuloso e de suas enzimas. Isso aumenta a tolerância do organismo à droga, o que significa que doses cada vez mais altas são necessárias para que ela tenha o mesmo efeito no organismo.

Esse é um alerta importante para que possamos entender parte dos problemas decorrentes da ingestão de bebidas alcoólicas e do uso de medicamentos sem prescrição médica.

7. Complexo golgiense

Em 1898, o citologista italiano Camillo Golgi descreveu uma região do citoplasma que ficava corada por sais de ósmio e de prata. Ele supôs que ali deveria haver uma estrutura diferenciada, que foi posteriormente confirmada por microscopia eletrônica e denominada complexo golgiense em homenagem ao cientista.

Nas células animais, o complexo golgiense normalmente localiza-se próximo ao núcleo e ao retículo endoplasmático granuloso (Fig. 10.21) e é composto de vários conjuntos de sáculos lameliformes (cisternas), que formam um número variável de pilhas. Cada pilha recebe o nome de **dictiossomo** ou **golgiossomo**.

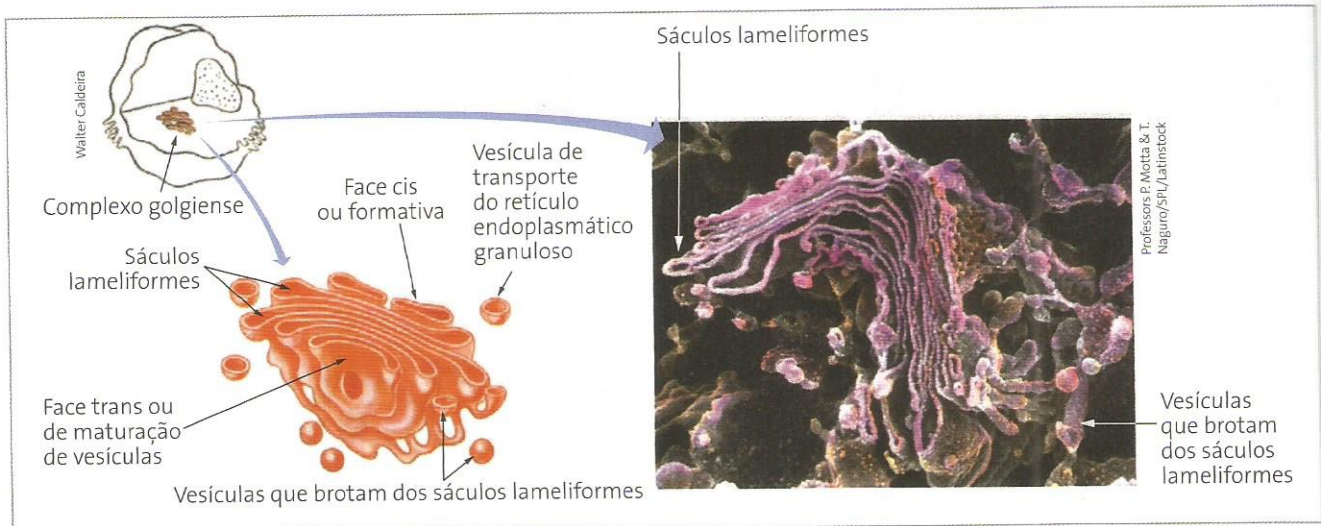


Figura 10.21. Esquema de célula animal com parte removida, destacando o complexo golgiense em corte. (Elementos representados em diferentes escalas. Cores-fantasia.) Na eletromicrografia de varredura, à direita, o complexo golgiense visto em corte. (Colorida artificialmente, ampliação desconhecida.)

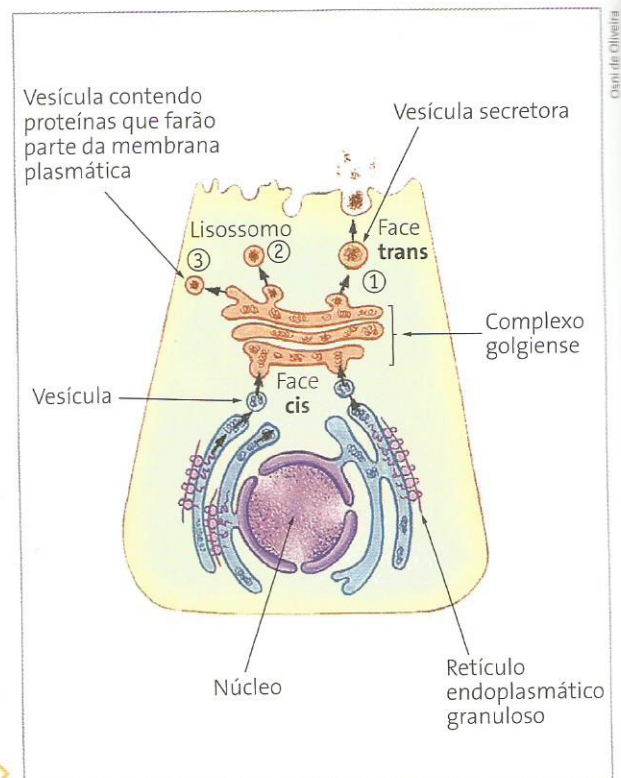
Nas ilustrações de células, é comum representar um dictiossomo identificando-o como complexo golgiense.

Assim como o retículo endoplasmático granuloso, o complexo golgiense é mais abundante nas células animais com função secretora. Sua função, entretanto, não está ligada à produção das secreções proteicas, mas sim à concentração, modificação e eliminação dessas secreções. Os sáculos lameliformes apresentam duas faces distintas:

- face **cis** ou formativa: voltada para o retículo endoplasmático granuloso; corresponde à face à qual vesículas desprendidas do retículo e contendo proteínas e lipídios nele sintetizados se unem, liberando essas substâncias para dentro dos sáculos lameliformes;
- face **trans** ou de maturação: voltada para a membrana plasmática; corresponde à face de onde se desprendem vesículas contendo substâncias processadas nos sáculos lameliformes.

As vesículas que saem dos sáculos lameliformes podem seguir três caminhos principais, dependendo de seus conteúdos. Acompanhe o processo na figura 10.22 e em sua legenda.

Figura 10.22. Esquema mostrando os destinos das vesículas que brotam do retículo endoplasmático e do complexo golgiense. **1.** Vesículas contendo secreções celulares fundem-se à membrana plasmática e lançam seus conteúdos para fora da célula (exocitose). É o caso das enzimas digestivas produzidas e eliminadas por células do sistema digestório; ocorre também com o muco que reveste e lubrifica epitélios que envolvem cavidades internas do corpo humano. **2.** Vesículas com enzimas que atuarão na digestão intracelular permanecem no interior da célula, correspondendo aos lisossomos primários. **3.** Vesículas contendo proteínas que farão parte da membrana plasmática fundem-se a essa membrana, incorporando nela as proteínas contidas nas vesículas. Na membrana plasmática também existem proteínas produzidas nos polissomos do citosol. (Elementos representados em diferentes escalas; cores-fantasia.)



Nos sáculos lameliformes são formados muitos dos polissacarídeos, como a hemicelulose, presente na parede celular das células vegetais, a pectina, presente na lamela média dessas células, e as glicosaminoglicanas, que se encontram na matriz extracelular dos tecidos animais.

Nos espermatozoides, o complexo golgiense dá origem a uma estrutura denominada **acrossomo**, que contém enzimas importantes para a penetração do espermatozoide no óvulo (Fig. 10.23).

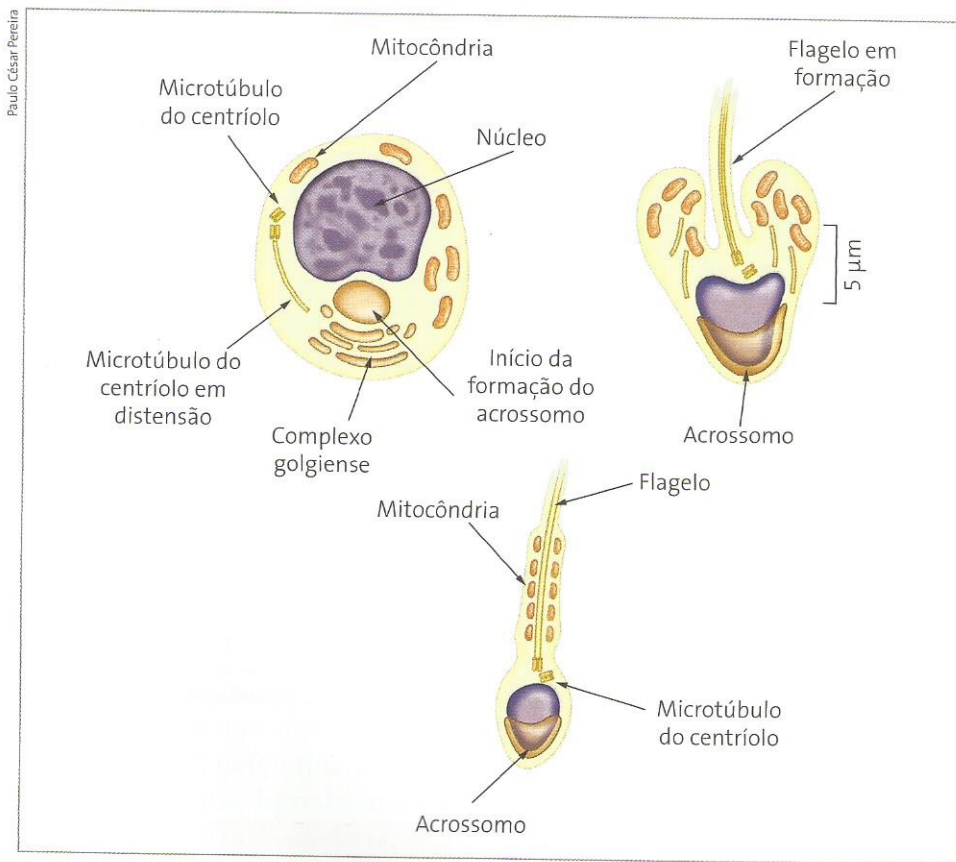


Figura 10.23. Esquema da diferenciação do espermatozoide, com detalhe para a formação do acrossomo. (Cores-fantasia.)

8. Lisossomos

Os lisossomos (do grego: *lysis* = dissolução, quebra; *sôma* = corpo) são pequenas vesículas membranosas arredondadas que contêm grande quantidade de enzimas responsáveis pela digestão intracelular (Fig. 10.24). Devido a isso, os lisossomos estão ligados às funções heterofágica e autofágica.

8.1. Função heterofágica

As partículas alimentares que penetram na célula por fagocitose ou pinocitose ficam no interior de vacúolos alimentares (fagossomos ou pinossomos). A esses vacúolos se fundem os lisossomos primários, formando vacúolos digestivos (ou lisossomos secundários). Nestes ocorre a digestão. Havendo resíduos, eles são temporariamente armazenados no interior dessas estruturas, que passam a ser chamadas vacúolos ou corpos residuais. Em seguida, os resíduos podem ser eliminados da célula por clasmocitose (Fig. 10.25).

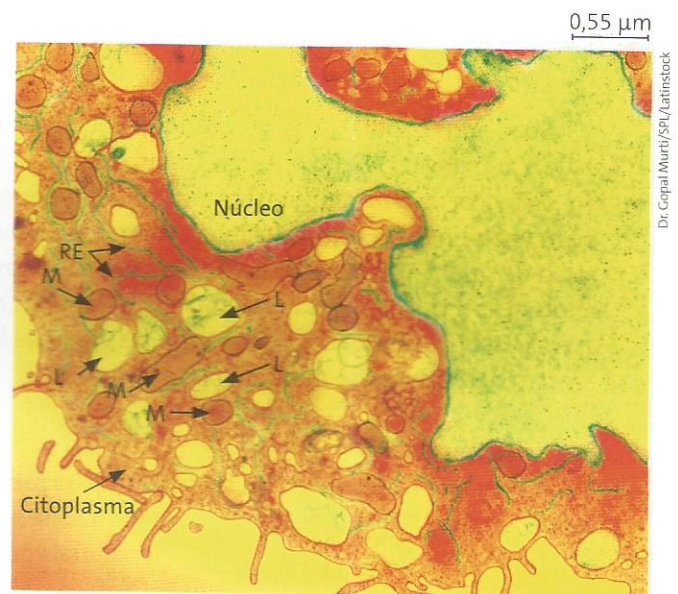


Figura 10.24. Eletromicrografia de transmissão, colorida artificialmente, de um macrófago, tipo celular que realiza fagocitose, mostrando vários lisossomos (estruturas amareladas — L), mitocôndrias (estruturas marrons — M) e retículo endoplasmático (canais esverdeados — RE). Os macrófagos são células importantes nos mecanismos de defesa, fagocitando elementos estranhos ao nosso corpo.

8.2. Função autofágica

Em muitas células normais, a função autofágica ocorre por um processo de digestão de estruturas citoplasmáticas que não estão mais realizando suas funções, o que contribui para a renovação do material citoplasmático (Fig. 10.25).

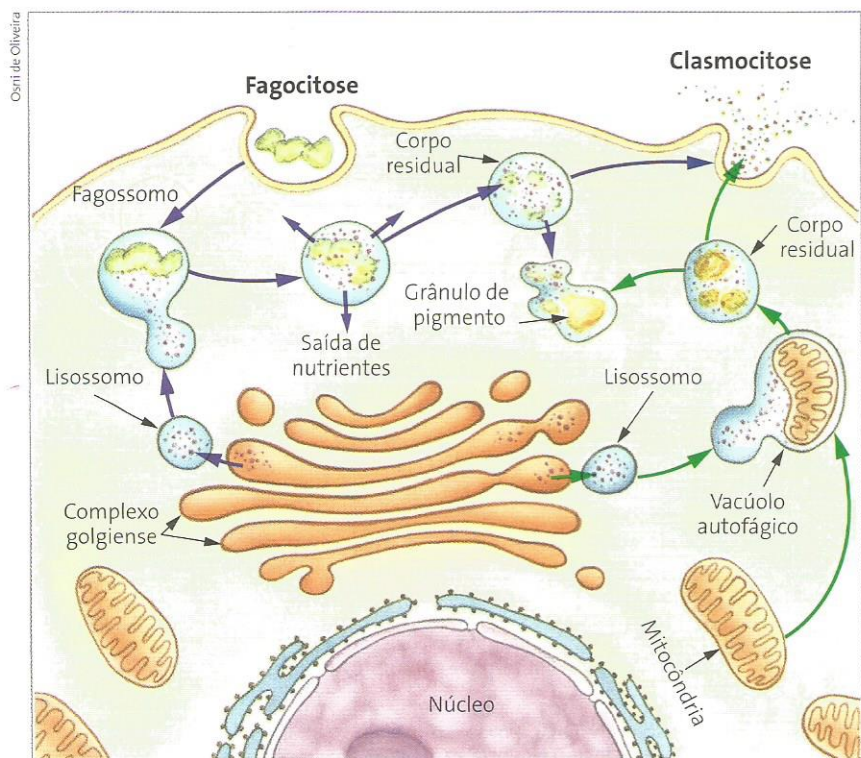


Figura 10.25. Esquema com resumo das funções autofágica (setas verdes) e heterofágica (setas azuis) dos lisossomos. Depois que o processo de digestão se completa, forma-se o corpo residual. Dependendo do tipo de célula, o conteúdo do corpo residual pode ser eliminado por clasmocitose ou pode ser retido indefinidamente no citoplasma como um grânulo de pigmento. Esses grânulos aumentam em número à medida que o organismo envelhece. (Elementos representados em diferentes escalas; cores-fantasia.)



Falando de SAÚDE

LISOSSOMOS E DOENÇAS HUMANAS

Silicose

Sob certas condições anômalas ou patológicas, a membrana do lisossomo pode perder sua estabilidade, romper-se e liberar as enzimas no interior da célula, destruindo-a.

Isso ocorre, por exemplo, em uma doença denominada silicose, frequente em indivíduos que trabalham em minas ou com britadeiras, sem equipamentos de proteção adequados. Nesses casos há inspiração de grande quantidade de pó de sílica, um dos principais componentes das rochas. Nos pulmões, células especiais de defesa (macrófagos) fagocitam os cristais e são destruídas devido ao efeito da sílica, que acarreta a ruptura dos lisossomos. As enzimas liberadas afetam outras células do pulmão, levando à formação de um tecido de cicatrização fibroso. Com isso, há diminuição da capacidade pulmonar.

Artrite reumatoide

A liberação de enzimas dos lisossomos para fora da célula também ocorre em certas doenças inflamatórias – como a artrite reumatoide –, nas quais se acredita haver liberação dessas enzimas para o espaço extracelular, causando deterioração dos materiais que formam as articulações.

Doença de Tay-Sachs

A doença de Tay-Sachs é hereditária e decorre principalmente do mau funcionamento das enzimas dos lisossomos das células nervosas do cérebro. Essa deficiência provoca lesões graves e irreversíveis, determinando retardo mental e morte ainda na infância.

A autofagia é também responsável pela transformação de um tipo celular em outro. É o que ocorre no processo de formação das hemácias (ou **eritrócitos**), células desprovidas de núcleo e de organelas, mas que se originam de **eritroblastos** — células da medula óssea vermelha que apresentam essas estruturas. Nesse processo de transformação, o núcleo é eliminado da célula e os lisossomos dos eritroblastos digerem, por autofagia, as estruturas citoplasmáticas, eliminando os resíduos por exocitose (Fig. 10.26). Formam-se, então, as hemácias, que penetram na corrente sanguínea.

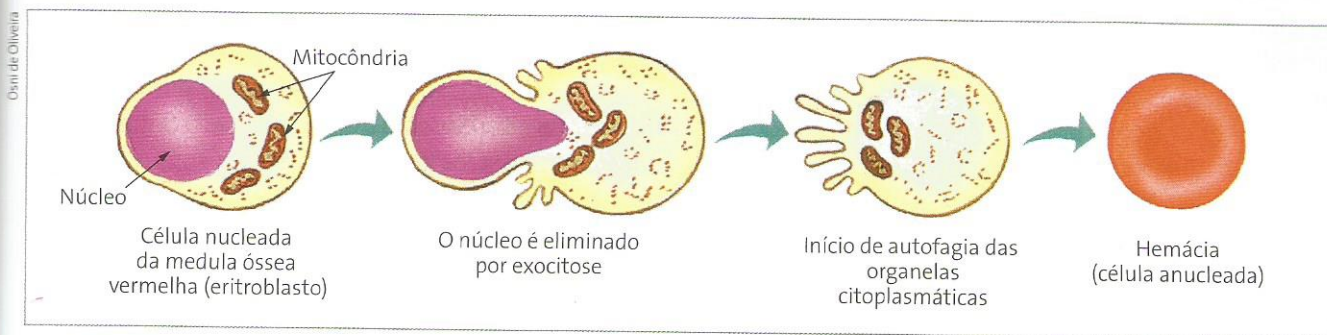


Figura 10.26. Esquema das modificações sofridas por células que darão origem às hemácias (glóbulos vermelhos do sangue), que são células anucleadas. Uma hemácia mede cerca de $7 \mu\text{m}$ de diâmetro. (Elementos representados em diferentes escalas; cores-fantasia.)

Falando de BIOTECNOLOGIA

PROTEOSSOMOS

Além dos lisossomos, as células possuem complexos proteicos chamados **proteossomos**, ou **proteassomos**, que digerem proteínas e enzimas defeituosas, sem função ou em excesso nas células (Fig. 10.27). A ubiquitina, molécula chamada de “beijo da morte”, marca as proteínas que precisam ser digeridas, ligando-se a elas. Assim marcadas, essas proteínas indesejáveis são conduzidas até os proteossomos, onde são destruídas; a ubiquitina é liberada novamente no citosol.

Os proteossomos também destroem proteínas virais, impedindo a reprodução de vírus nas células. Eles diferem dos lisossomos, pois estes são organelas membranosas em forma de vesículas com funções de digestão intracelular de organelas ou de material que entra na célula.

As moléculas de ubiquitina têm sido importantes para o desenvolvimento de medicamentos que possam combater o câncer e doenças degenerativas.



Figura 10.27. Esquema do mecanismo de digestão de proteínas indesejáveis na célula. (Elementos representados em diferentes escalas; cores-fantasia.)

9. Vacúolo de suco celular

O vacúolo de suco celular ou vacúolo central é delimitado por uma membrana lipoproteica chamada **tonoplasto**. Essa organela é exclusiva das células de plantas e de certas algas e fungos. Nas células jovens de plantas, os vacúolos são numerosos e pequenos, e à medida que a célula cresce eles se fundem em um único, grande e bem desenvolvido vacúolo central.

No interior do vacúolo há uma solução aquosa de várias substâncias, destacando-se sais, carboidratos e

proteínas. Os vacúolos de suco celular são importantes nos fenômenos osmóticos e, quando contêm pigmentos, como as antocianinas, são os principais responsáveis pela coloração azul, violeta, vermelha e púrpura de flores e folhas.

A cor das folhas depende também dos pigmentos presentes nos cloroplastos, que contêm principalmente o pigmento clorofila (verde), e nos cromoplastos, que contêm outros tipos de pigmento.



Despertando ideias

Separando e identificando pigmentos

Vamos realizar uma atividade prática visando separar e identificar os pigmentos presentes nas folhas.

Material

- Álcool 70% (20 mL);
- 1 folha verde;
- 1 papel de filtro de café;
- 1 lápis;
- 1 pequeno recipiente de 50 mL.

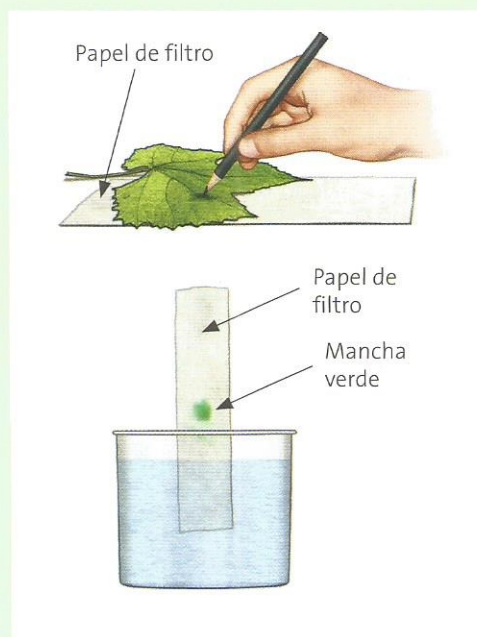
Procedimento

1. Coloque a folha sobre o papel de filtro e passe o lápis sobre um mesmo local, sem furar a folha.
2. Gire a folha e passe o lápis em outro local, mas sempre sobre a mesma região do papel de filtro. Repita esse procedimento até que o papel de filtro fique com uma mancha verde. Depois, recorte uma tira e coloque-a no recipiente com álcool, como mostrado na figura 10.28. Assegure-se de que o papel entre em contato com o álcool, mas que a mancha verde não fique mergulhada nele.
3. Deixe em repouso por 30 minutos e observe.

Discussão

1. Descreva o que aconteceu.
2. O que você acabou de fazer chama-se cromatografia, uma técnica empregada para separar substâncias através da distância que percorrem em um meio, no caso o papel de filtro. O álcool sobe no papel por capilaridade e dissolve os pigmentos da folha. Os formados por moléculas de maior massa “correm” menos, enquanto os mais leves sobem mais alto no papel. Assim, conseguimos separar pigmentos mais leves dos mais pesados. Quais cores de pigmento você observou e qual delas foi a mais abundante? Explique seus resultados.
3. Retome esta atividade quando formos tratar da relação dos pigmentos com a fotossíntese, na página 322.

Figura 10.28. Esquema de etapas do procedimento do experimento. >



Studio Caparroz

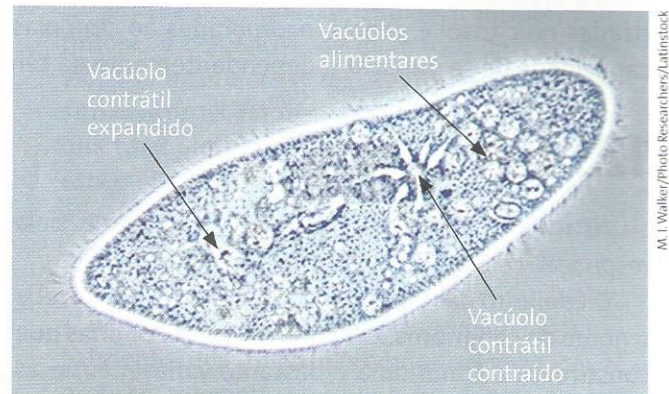
10. Vacúolo pulsátil

Acabamos de comentar sobre o vacúolo das plantas e já citamos outros tipos de estruturas que também podem ser chamadas de vacúolos: aquelas relacionadas aos processos de digestão na célula. Agora vamos falar de um tipo muito especial de vacúolo: o **vacúolo pulsátil** ou **contrátil**. Eles ocorrem em alguns seres unicelulares eucariontes, como paramécios e amebas, que vivem em um meio cuja concentração é menor do que a do interior da célula. Com isso, muita água penetra em seus corpos por osmose.

Os vacúolos pulsáteis recolhem do interior da célula a água que entrou em excesso. Quando cheios, eles descarregam essa água para fora da célula através de pequenos orifícios.

Figura 10.29. Fotomicrografia de *Paramecium caudatum*. Mede cerca de 300 μm de comprimento. >

A forma dos vacúolos e o número deles por célula variam nos diferentes grupos de protistas. Veja na fotomicrografia abaixo como são, por exemplo, os vacúolos contráteis de um paramécio (Fig. 10.29).



11. Plastos

Os plastos são estruturas encontradas somente em células de plantas e de alguns protistas e podem ser classificados em três tipos:

- cromoplastos (do grego: *chrôma* = cor) — contêm como pigmentos os carotenoides, mas não clorofila; não realizam fotossíntese e são responsáveis pela coloração amarelada, alaranjada e avermelhada de flores, folhas velhas, alguns frutos e raízes;
- leucoplastos (do grego: *leukós* = branco) — são incolores, pois não contêm pigmentos. Alguns arma-

zenam amido (**amiloplastos**), outros armazenam óleos e proteínas;

- cloroplastos — contêm os pigmentos clorofila e carotenoides. Será neles que deteremos a nossa atenção.

Os cloroplastos são organelas importantes que participam do processo da fotossíntese. Existem cloroplastos de diversas formas e em número variável por célula.

Os cloroplastos das células de plantas, quando examinados em cortes ao microscópio eletrônico, mostram-se formados por três componentes principais: o envelope, os tilacoides e o estroma (Fig. 10.30).

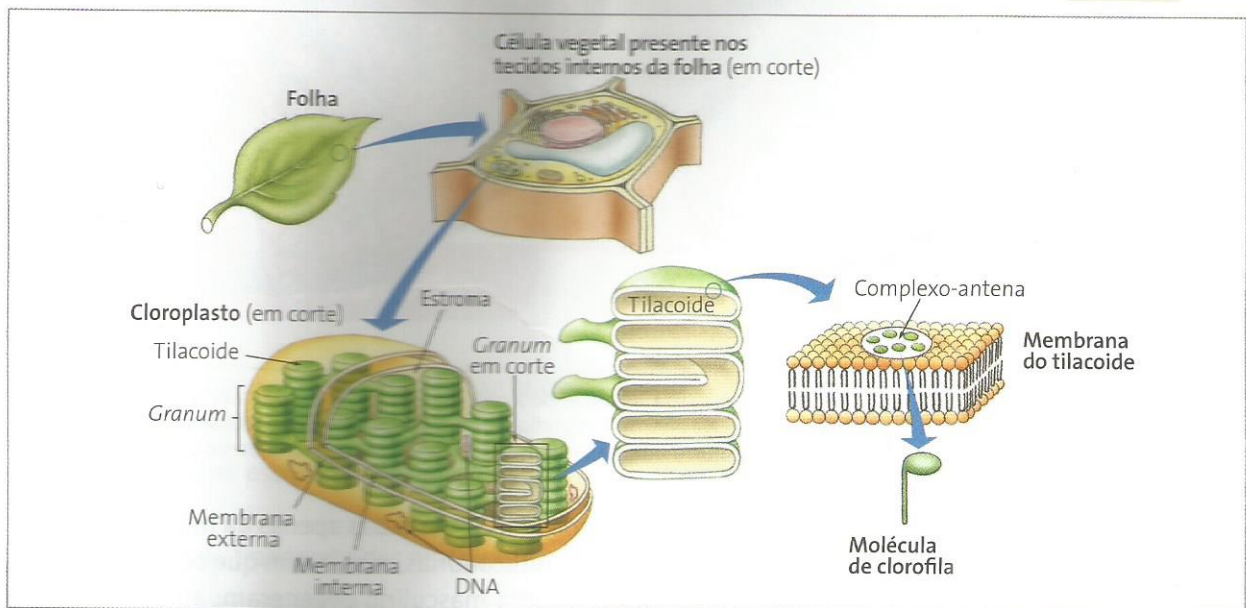


Figura 10.30. Esquemas de folha, célula vegetal e cloroplasto com suas estruturas internas. (Elementos representados em diferentes escalas; cores-fantasia.)

O **envelope** delimita o cloroplasto e é formado por duas membranas: uma externa e outra interna.

Os **tilacoides** são vesículas que contêm as moléculas de clorofila. Essas moléculas organizam-se em conjuntos chamados complexo-antena, que captam a energia luminosa. Os tilacoides organizam-se formando estruturas semelhantes a pilhas de moedas. Cada pilha recebe o nome de *granum*, e o conjunto delas recebe o nome de *grana*. As diversas pilhas podem comunicar-se entre si.

O **estroma** corresponde à região do cloroplasto entre o envelope e os tilacoides. No estroma há ribossomos, DNA e RNA relacionados com a síntese de algumas das proteínas dos cloroplastos. Muitas outras são sintetizadas no citosol e depois incorporadas ao cloroplasto. Os cloroplastos, assim como as mitocôndrias, têm a capacidade de se duplicar independentemente da célula.

12. Mitocôndrias

As mitocôndrias são organelas responsáveis pela respiração celular aeróbia.

O conjunto das mitocôndrias de uma célula recebe o nome de condrioma. O número de mitocôndrias que constituem o condrioma é bastante variável entre as células de um mesmo indivíduo, sendo maior nas que têm maior atividade metabólica.

Em geral, a mitocôndria apresenta a forma de um bastonete. É formada por duas membranas lipoproteicas: uma externa, lisa, e outra interna, que apre-

senta invaginações, formando as **cristas mitocondriais** (Fig. 10.31).

A membrana interna delimita a **matriz mitocondrial**, rica em enzimas que participam de etapas da respiração celular. Imersos nessa matriz também podem ser encontrados: grânulos densos, que representam principalmente acúmulos de íons cálcio e magnésio; ribossomos chamados mitorribossomos, menores que os ribossomos citoplasmáticos; e moléculas de DNA e RNA.

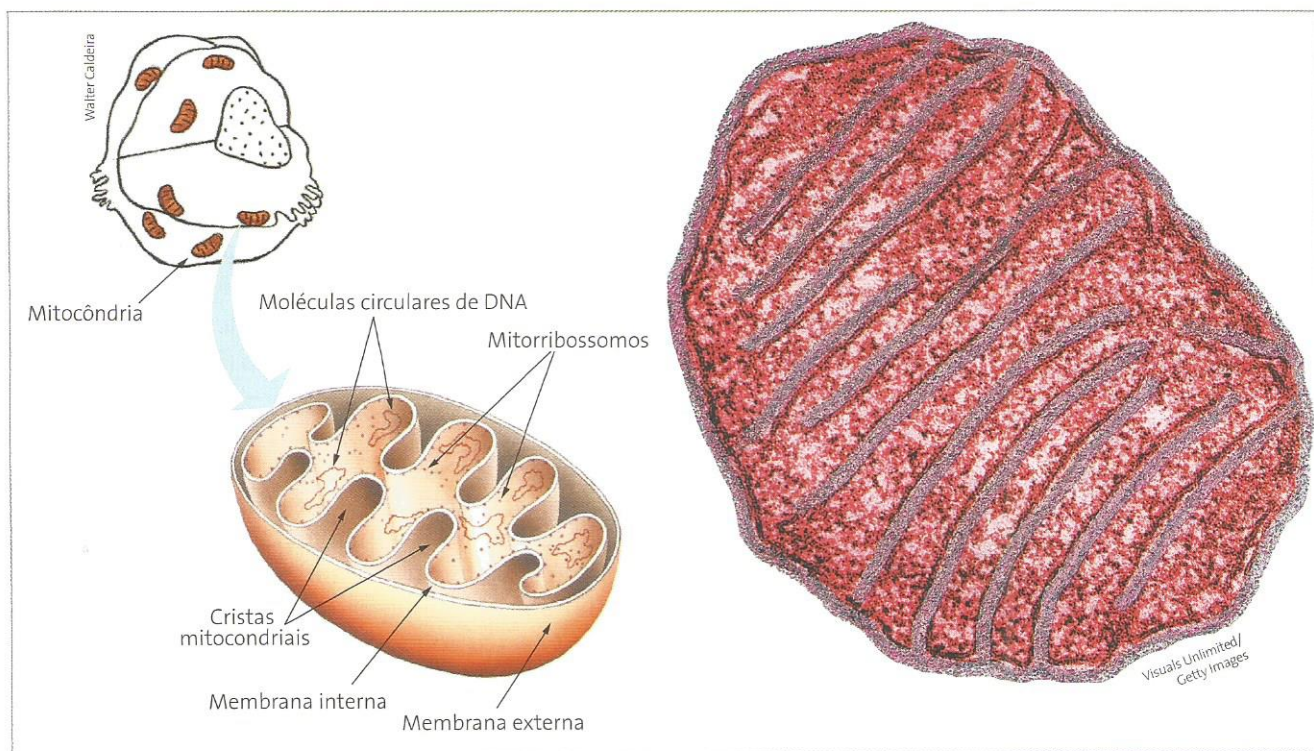


Figura 10.31. Esquema de célula animal com parte removida, destacando a mitocôndria, em corte transversal. (Elementos representados em diferentes escalas. Cores-fantasia.) Na eletromicrografia de varredura, à direita, corte transversal no qual é possível observar duas membranas, uma externa e outra interna, com invaginações. A mitocôndria mede cerca de 1 μm de comprimento. (Colorida artificialmente, ampliação desconhecida.)

Geralmente, as células do corpo dos animais contêm mitocôndrias herdadas apenas da mãe, como ocorre na espécie humana. O gameta feminino e o masculino possuem mitocôndrias, mas, assim que ocorre a fecundação e se forma a célula-ovo, as mitocôndrias provenientes do gameta masculino degeneram; apenas as mitocôndrias do gameta feminino permanecem na célula. Assim, as mitocôndrias são herdadas da mãe e não do pai, e essa informação tem sido usada em testes para identificar a maternidade de pessoas.