

Citologia e envoltórios celulares

Thinkstock/Getty Images



Figura 9.1. A fotografia mostra parte de um equipamento que revolucionou o conhecimento científico: o microscópio. Desde os primeiros, inventados por volta de 1595, até os modernos aparelhos que nos permitem ver imagens cada vez mais detalhadas, houve um enorme avanço nas descobertas sobre a estrutura dos seres vivos em nível microscópico. Foi com a ajuda de um microscópio que hoje sabemos que as células são as estruturas básicas de toda forma de vida, à exceção dos vírus.



Pense nisso

- Existem vários tipos de microscópio usados para estudo das células. Você conhece alguns deles? Exemplifique-os.
- É sempre recomendável temperar saladas na hora da refeição ou somente um pouco antes dela, pois, se temperamos com muita antecedência, as verduras murcham. Na sua opinião, por que isso acontece?
- Explique, usando um exemplo, o que queremos dizer quando afirmamos que uma solução é mais concentrada do que outra.
- Como as substâncias químicas que existem nas células entram e saem delas?

1. Introdução

Ao estudarmos a origem e a evolução dos seres vivos, falamos em origem e evolução da célula. Afinal, com exceção dos vírus, os seres vivos são formados por células, e a compreensão de como eles surgiram e evoluíram passa pela compreensão de como a célula surgiu e evoluiu. O primeiro ser vivo que surgiu no planeta Terra era, muito provavelmente, uma célula.

Vamos agora entrar no universo celular e procurar compreender a estrutura e o funcionamento das células, o que é fundamental para que possamos entender a intrincada rede de interações necessárias para a manutenção da vida.

A área da Biologia que estuda a célula é a **citologia** (do grego: *cito* = célula; *logos* = estudo). Esse estudo só foi possível a partir do momento em que o ser humano começou a construir aparelhos com lentes que permitiam grande aumento da imagem. Esses aparelhos, chamados microscópios (do grego: *mikrós* = pequeno; *skopeo* = ver, enxergar), possibilitam o conhecimento e o estudo de estruturas invisíveis a olho nu.

Embora existam células visíveis a olho nu, como você pode ver na figura 9.2, a maioria delas é microscópica.

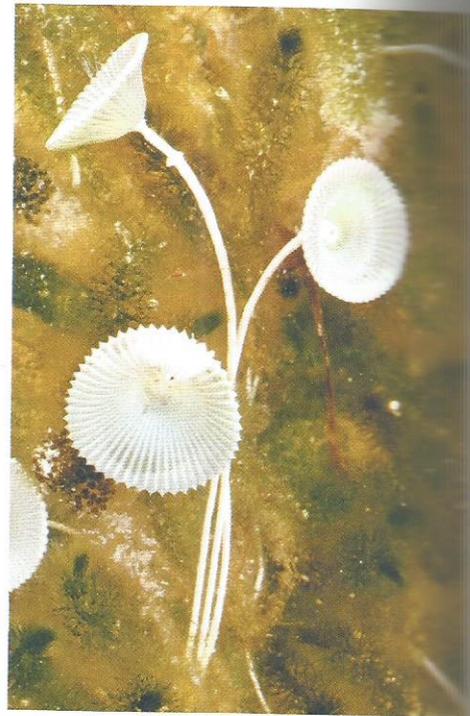


Figura 9.2. Fotografia de alga marinha unicelular, do gênero *Acetabularia*. Uma única célula forma o pedúnculo e o "chapéu". Mede cerca de 4 cm de altura.

2. Um pouco de história

O físico inglês Robert Hooke (1635-1703) atuou em vários campos da ciência, tais como Física, Astronomia e Geometria. Ele era habilidoso na construção de instrumentos e tinha interesse por microscópios. Esses aparelhos foram inventados por volta de 1595, pelos holandeses fabricantes de óculos Zacharias Jansen e seu pai Hans Jansen. Hooke construiu seus próprios microscópios, introduzindo novidades técnicas que permitiram formação de imagens de melhor qualidade. Ele construiu tanto microscópios com uma só lente de aumento, chamados microscópios simples, como também microscópios com duas lentes de aumento associadas e unidas por um tubo, chamados microscópios compostos: uma lente voltada para o objeto (lente objetiva) e outra para o olho do observador (lente ocular, Fig. 9.3).

Esse microscópio de Hooke permitia a ampliação das imagens dos objetos em estudo em cerca de 40 vezes.

Na obra *Micrographia* (1665), Hooke publicou diversos desenhos representando suas observações ao microscópio. Vamos comentar apenas suas observações com os cortes de cortiça, que ele estava analisando com o objetivo de compreender suas propriedades físicas de leveza, fluabilidade e elasticidade. Ele descreveu que a estrutura da cortiça era reticulada com uma infinidade de diminutas câmaras preenchidas por ar e que essas câmaras eram pequenas caixas ou **células** distintas umas das outras (Fig. 9.4). A palavra célula vem do latim *cella*, que significa pequeno compartimento ou recinto, termo usado para designar os pequenos aposentos dos religiosos nos mosteiros e conventos.

Science Museum, London/Diomedea



Figura 9.3. Fotografia do microscópio de Robert Hooke. O aparelho, feito à mão com couro e aplicações em ouro por Christopher Cock, em Londres, está atualmente exposto no National Museum of Health and Medicine (Museu Nacional de Saúde e Medicina) em Washington, DC – Estados Unidos.



Figura 9.4. Fotografia do desenho de Robert Hooke publicado em sua obra *Micrographia* (1665): estrutura em cavidades ou células vista em cortes finos de cortiça.

Fig

3.

O
de at
tos, e
lhes c
micro
por lu
nismo
micro
obser

Apesar de ter usado a palavra célula, Hooke não estava se referindo à unidade básica, estrutural e fisiológica dos seres vivos, como nós entendemos a célula hoje. Hooke não cogitou que estava vendo as paredes das células vegetais. Esse entendimento só surgiu mais tarde.

Por volta de 1668, o comerciante holandês Anton van Leeuwenhoek (1632-1723) construiu vários microscópios e, ao se deparar com a obra *Micrographia*, de Hooke, se interessou em analisar diversos materiais com seus aparelhos. Ele construiu um microscópio simples, com cerca de 10 cm de comprimento, e que necessitava de muita luz para iluminar o objeto, mas que permitia aumento de cerca de 200 vezes (Fig. 9.5).

Além dessa sua grande capacidade de produzir boas lentes de aumento, Leeuwenhoek era cuidadoso e muito curioso, observando tudo o que pudesse ser colocado sob suas lentes. Como não sabia desenhar, contratou

um desenhista para ilustrar o que ele estava observando e passou a descrever em detalhes tudo o que via. Seu trabalho com os seres microscópicos foi muito importante para a época. A partir de 1673, Leeuwenhoek começou a enviar cartas com suas descobertas para a Royal Society of London, e em 1678 Hooke foi consultado para confirmar as informações desse comerciante desconhecido dos cientistas. Após a confirmação de Hooke, os trabalhos de Leeuwenhoek passaram a ser publicados na famosa revista científica *Philosophical Transactions of the Royal Society*.

Além de Leeuwenhoek, outros pesquisadores fizeram observações microscópicas, como Nehemiah Grew (1641-1712) e Marcelo Malpighi (1628-1694), descrevendo “bolhas”, “poros”, “células”, “bexigas” em diversos tecidos vegetais.

O estudo do mundo microscópico avançou muito, e no século 19 consolidou-se a área da citologia.

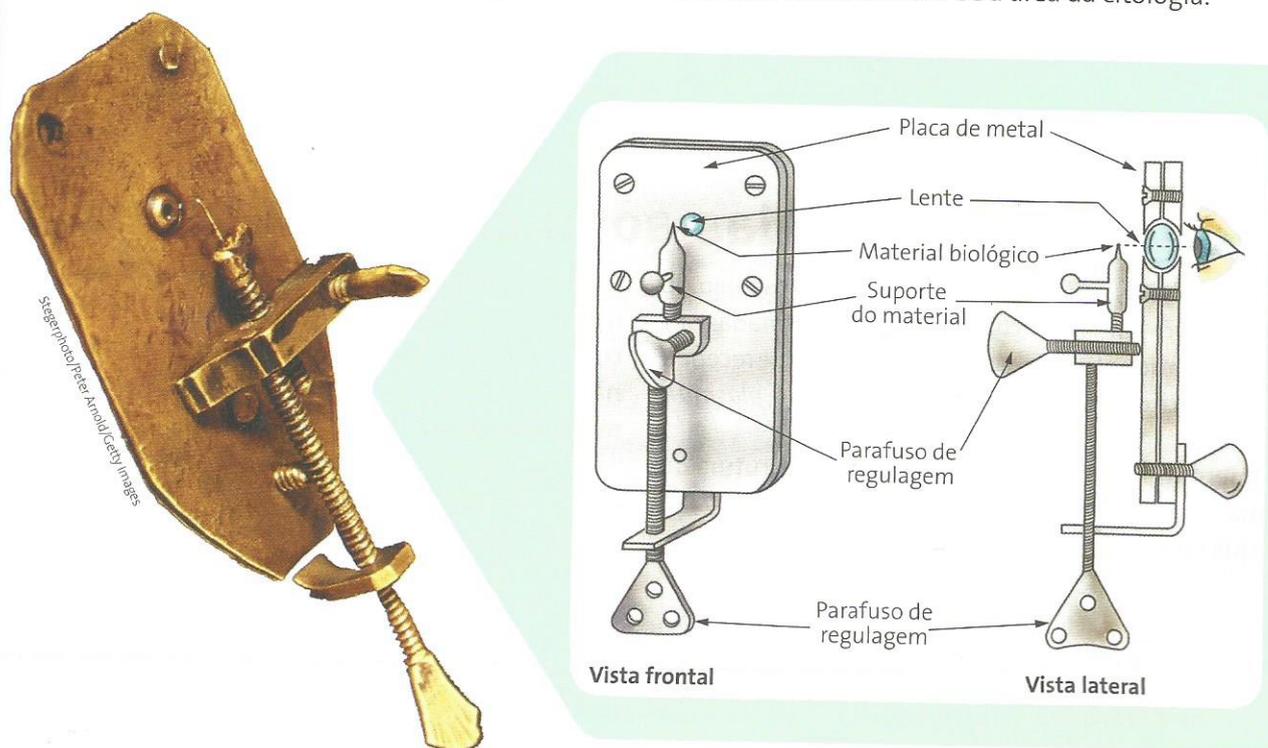


Figura 9.5. Fotografia e esquema do microscópio simples, com uma só lente de aumento, usado por Leeuwenhoek.

3. Atuais microscópios de luz

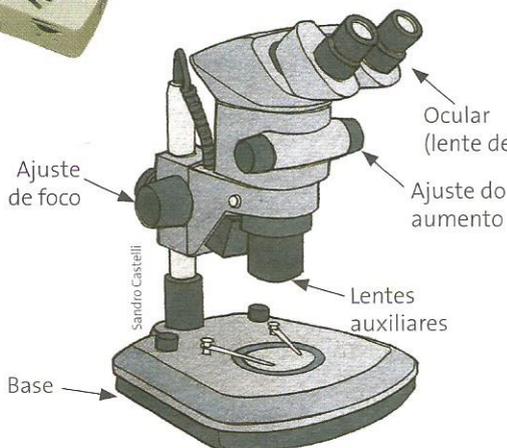
Os atuais microscópios de luz permitem aumentos de até cerca de 2000 vezes. Mesmo com esses aumentos, entretanto, não é possível observar todos os detalhes da estrutura celular. Na figura 9.6 é mostrado um microscópio estereoscópico (vulgarmente conhecido por lupa). É empregado para observar estruturas e organismos maiores do que os normalmente observados em microscópios como o da figura 9.7 e permite também a observação de objetos opacos.

O microscópio mostrado na figura 9.7 permite aumentos maiores do que os microscópios estereoscópicos, mas os objetos a serem analisados devem ser translúcidos, isto é, devem permitir a passagem de luz.

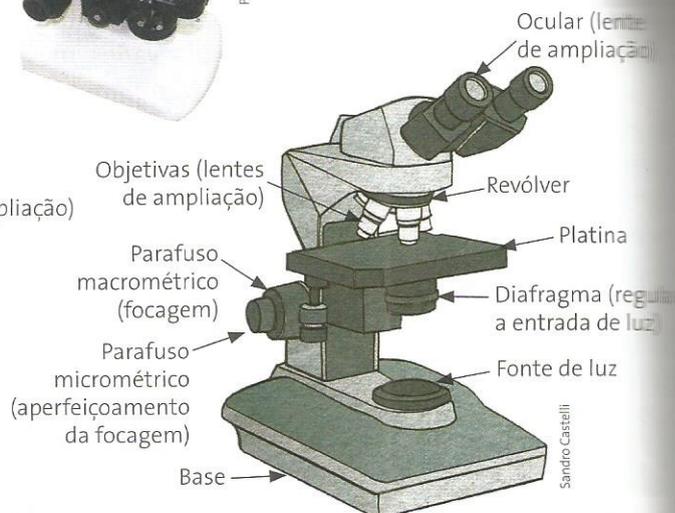
O aumento da imagem que vemos ao microscópio composto é dado pela multiplicação do aumento da ocular pelo aumento da objetiva. Por exemplo, um microscópio composto com ocular 10 vezes e objetiva 40 vezes possibilita ampliação de 400 vezes.



Paulo S. Bernarde
Figura 9.6.
 Fotografia e esquema de microscópio estereoscópico.



Paulo S. Bernarde
Figura 9.7.
 Fotografia e esquema de microscópio biológico.



4. Células observadas ao microscópio de luz

As primeiras análises de células ao microscópio de luz (ML) permitiram concluir que elas são formadas por uma massa de natureza viscosa, gelatinosa, que recebeu o nome de **citoplasma** (do grego: *kritos* = célula; *plásma* = fluido).

Imersa no citoplasma observa-se uma estrutura de forma variável, mas geralmente arredondada ou ovalada, que recebeu o nome de **núcleo**.

Observando que o citoplasma não se mistura com o meio, a não ser que a célula seja rompida, os cientistas concluíram que ele é delimitado por uma membrana, não visível ao microscópio de luz, que foi denominada **membrana plasmática**.

Ao microscópio de luz também é possível observar outros componentes imersos no citoplasma, como os cloroplastos das células das plantas.

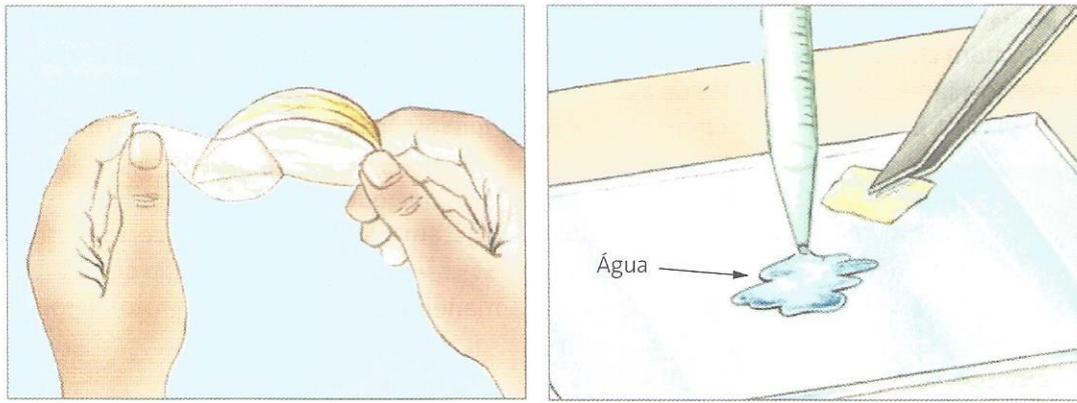
PREPARAÇÃO DE CÉLULAS PARA OBSERVAÇÃO AO MICROSCÓPIO DE LUZ

A observação de células ao microscópio de luz pode ser feita a partir de preparações simples, como as descritas a seguir, usando como exemplo células de plantas.

Para a montagem da preparação são necessários os seguintes materiais: lâminas e lamínulas para microscopia, que são placas de vidro muito finas e delicadas; pinça; papel absorvente; conta-gotas; e o material biológico que se deseja observar.

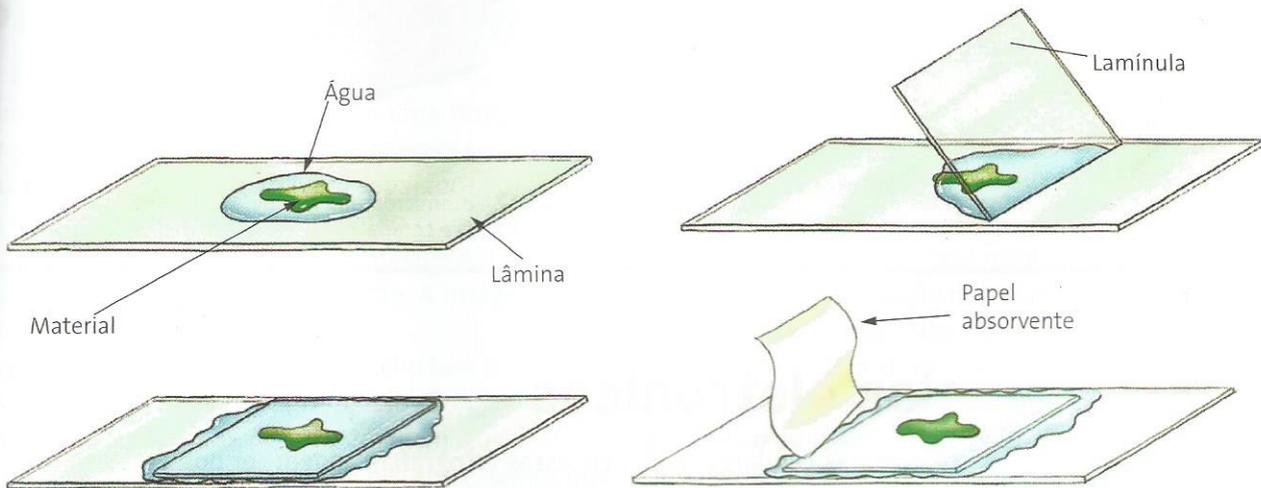
Além desses materiais, pode-se usar alguns corantes específicos, com o objetivo de tornar as estruturas celulares mais evidentes. Como exemplo desses corantes, há o azul de metileno, que evidencia bem o núcleo das células, e o vermelho neutro, que evidencia bem o vacúolo central, típico das células vegetais.

Um bom material para observar ao microscópio é a epiderme da cebola. Para isso, retira-se a casca da cebola e separa-se uma de suas camadas suculentas. Cada camada corresponde a uma folha modificada com função de reserva de nutrientes. Cada folha é delimitada por uma película fina, a epiderme da cebola, tecido de revestimento formado por uma só camada de células. Retira-se um pedaço dessa película com o auxílio de uma pinça. Esse pedaço pode ser, então, colocado sobre a lâmina juntamente com uma gota de água (para isso, usa-se o conta-gotas) (Fig. 9.8).



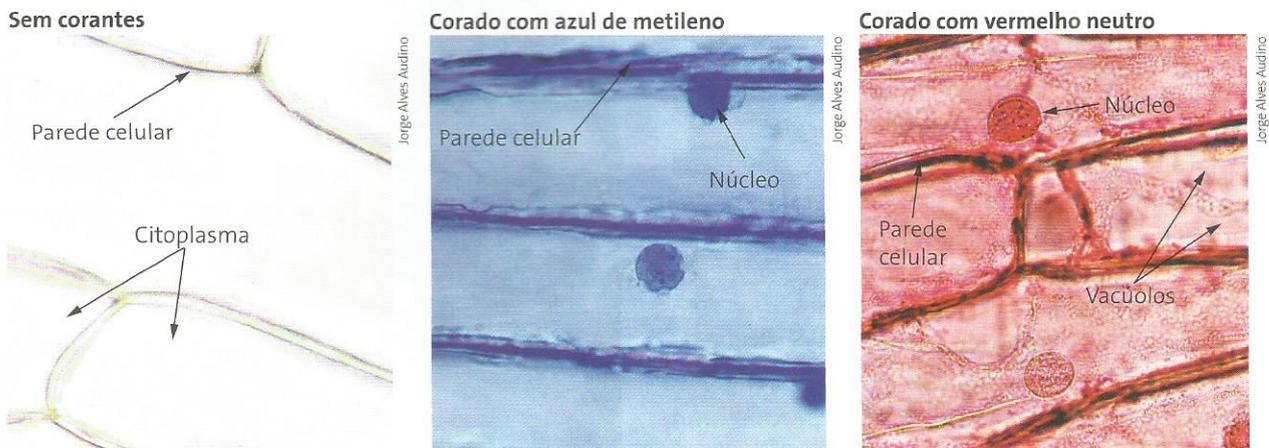
▲ **Figura 9.8.** Esquema da preparação de lâmina para a observação, ao microscópio de luz, de células da epiderme da cebola.

Para proteger o material a ser observado das delicadas lentes objetivas do microscópio, cobre-se o material com uma lamínula: primeiro, encosta-se a lamínula inclinada de modo que sua borda toque na borda da gota de água. Depois, deixa-se a lamínula cair lentamente sobre o material. Isso evita a formação de bolhas que dificultam a observação. Caso haja excesso de água, pode ser removida com papel absorvente (Fig. 9.9).



▲ **Figura 9.9.** Esquema do procedimento de preparação de um material entre lâmina e lamínula para ser analisado ao microscópio de luz.

O material assim preparado é levado para observação ao microscópio de luz. Outras preparações semelhantes a essa podem ser feitas usando corantes. Veja fotografias que mostram como essas preparações ficam ao microscópio com aumento de $400\times$ (Fig. 9.10).



▲ **Figura 9.10.** Fotomicrografias de epiderme de cebola observadas ao microscópio óptico, ampliadas em $400\times$.

Outro material interessante para observar ao microscópio é a elódea. As folhas da elódea são bem finas e delicadas e apresentam cloroplastos bastante evidentes. Para fazer essa observação, retira-se uma folha da planta, colocando-a sobre a lâmina com uma gota de água. Em seguida, cobre-se a preparação com lamínula do mesmo modo como explicado anteriormente. O que se observa ao microscópio com ampliação de 400× pode ser visto na figura 9.11.

Preparações de células para observação ao microscópio de luz podem ser feitas como descrito, usando células vivas de plantas e corantes chamados vitais, que não matam as células, mas em certos casos há necessidade de fixar as células e usar corantes que não são vitais. Nesses casos, as células não são observadas vivas. O estudo de células animais é feito, em geral, dessa outra maneira, caso mostrado na fotomicrografia a seguir (Fig. 9.12).

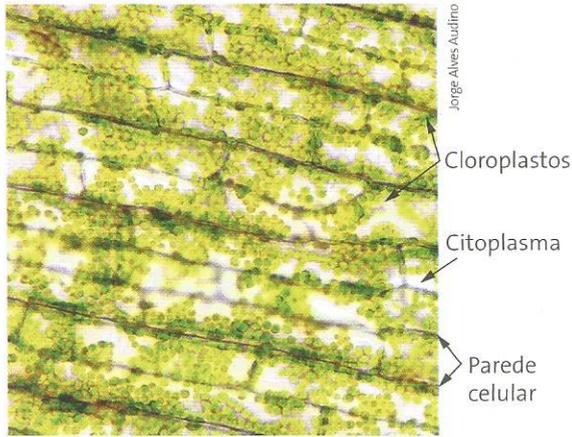


Figura 9.11. Fotomicrografia de células da folha da elódea observadas ao microscópio óptico, ampliadas em 400×.

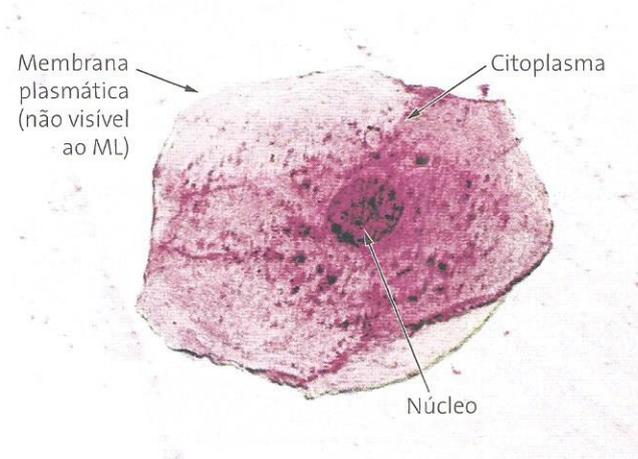


Figura 9.12. Fotomicrografia de célula do epitélio bucal humana fixada e corada. Mede cerca de 25 µm de diâmetro.

5. Microscópios eletrônicos

O estudo detalhado das estruturas celulares veio com o advento dos microscópios eletrônicos (ME), que permitem observar as células com aumentos muito maiores. Isso é possível porque os microscópios eletrônicos utilizam feixes de elétrons para analisar o objeto a ser estudado, em substituição aos feixes de luz.

Os microscópios eletrônicos podem ser **de transmissão** ou **de varredura**. Os de transmissão são empregados para analisar estruturas cortadas em fatias muito finas. Já os de varredura (Fig. 9.13) são empregados para analisar a superfície do corpo dos seres vivos, das células e até mesmo das moléculas.

O material a ser analisado ao ME deve ser devidamente fixado e corado com sais de metais pesados que propiciam contrastes nas estruturas das células, tornando-as menos permeáveis aos feixes de elétrons. As estruturas mais coradas são vistas em preto ou cinza-escuro e as menos coradas, em tons de cinza-claro.

A imagem é vista em uma tela e pode ser impressa como fotografia. Como são sempre em preto e bran-

co, essas fotografias podem ser posteriormente colorizadas artificialmente, buscando-se evidenciar ainda mais as estruturas celulares.

As fotografias obtidas com o uso dos diferentes tipos de microscópios são chamadas **micrografias**. Quando tiradas pelo microscópio de luz, fala-se em micrografia de luz ou fotomicrografia. Quando tiradas pelo microscópio eletrônico, fala-se em micrografia eletrônica ou eletromicrografia.

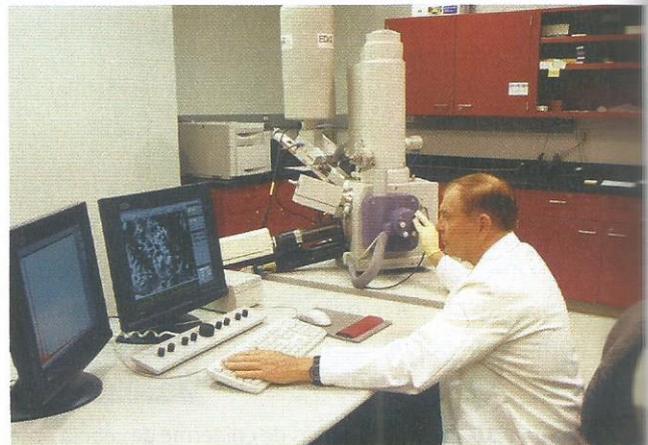


Figura 9.13. Fotografia de microscópio eletrônico de varredura.

Observe a seguir micrografias de células obtidas por microscópio de luz (Fig. 9.14), microscópio eletrônico de transmissão (Fig. 9.15) e microscópio eletrônico de varredura (Fig. 9.16).

A maior parte das informações que vamos discutir nesta unidade, bem como os esquemas e modelos de células e de suas estruturas, é fruto de estudos ao microscópio eletrônico.

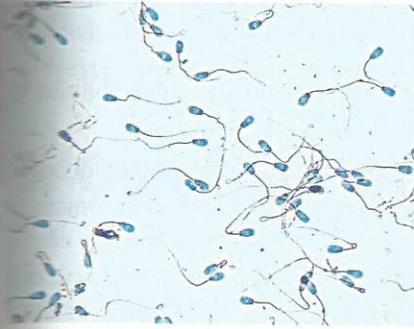


Figura 9.14. Fotomicrografia de espermatozoides, colorizada artificialmente. Cada espermatozoide mede cerca de $65\ \mu\text{m}$ de comprimento.



Figura 9.15. Eletromicrografia de transmissão, colorizada artificialmente, de um espermatozoide em corte ultrafino.

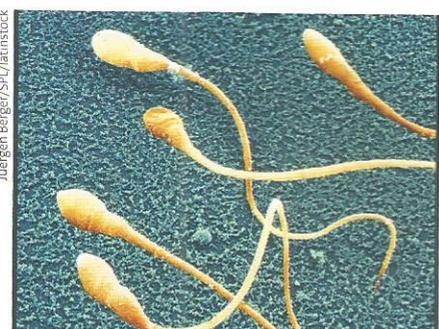


Figura 9.16. Eletromicrografia de varredura, colorizada artificialmente, de espermatozoides.

6. Poder de aumento e de resolução

É importante salientar a diferença entre poder de aumento e poder de resolução. Se uma fotografia for ampliada e analisada a olho nu, a imagem terá aumentado, mas os pontos da imagem separados por menos de $0,1\ \text{mm}$ continuarão aparecendo como um ponto só, borrado. Isso significa que ampliamos a imagem, mas não melhoramos sua definição. A imagem ficou ampliada, mas borrada (Fig. 9.17).

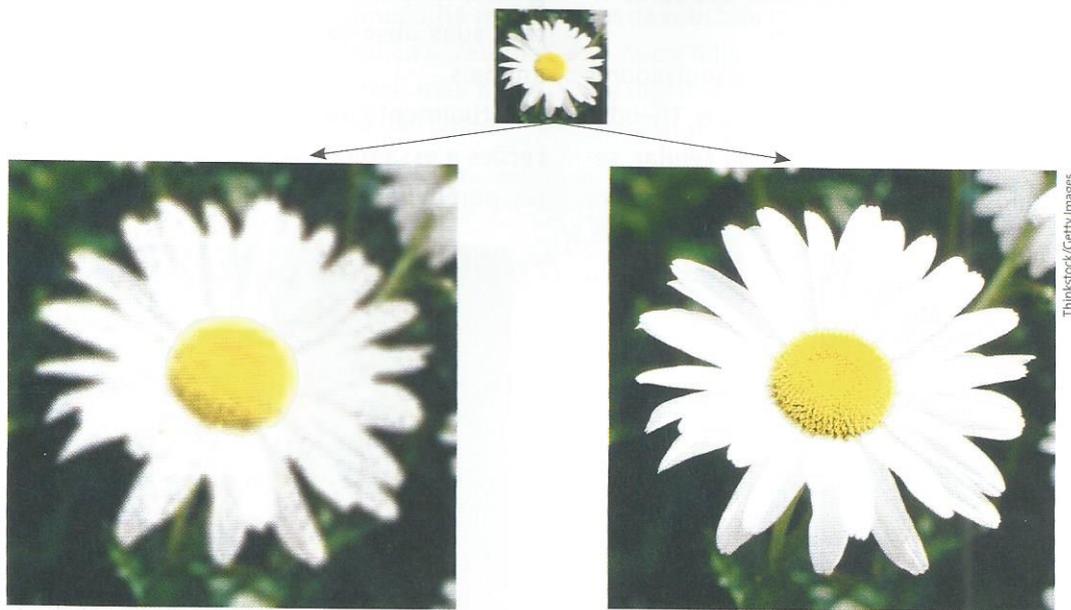
Esse fato ocorre porque nosso olho tem o limite de resolução da ordem de $0,1\ \text{mm}$. Isso significa que, se olharmos dois pontos de uma imagem que estejam separados um do outro por uma distância menor que $0,1\ \text{mm}$, eles aparecerão como um ponto único. Para

distinguir estruturas que se apresentam separadas umas das outras por menos de $0,1\ \text{mm}$, há necessidade de instrumentos que tenham maior poder de aumento e também de resolução.

Assim, além de produzir imagens ampliadas, os microscópios precisam ter boa resolução.

O limite de resolução dos microscópios de luz é de cerca de $0,0002\ \text{mm}$. Não é possível construir microscópios de luz com desempenho melhor do que esse, pois o fator limitante é o comprimento de onda da luz.

Com o advento do microscópio eletrônico, o poder de resolução foi aumentado para cerca de 100 mil vezes em relação ao olho humano.



Ampliação de 4 vezes sem aumento da resolução.

Ampliação de 4 vezes com aumento da resolução.

Figura 9.17. Fotografias de margarida demonstrando o efeito do aumento e do poder de resolução.

7. Medidas usadas no estudo das células

Como a grande maioria das células é pequena, as estruturas que elas contêm são menores ainda. Para medi-las foram estabelecidas unidades de medida apropriadas.

De acordo com o **Sistema Internacional de Unidades (SI)**, o metro é a unidade básica de comprimento e, em função dele, derivamos as demais unidades de comprimento. As principais subdivisões do metro empregadas em citologia são:

- milímetro (mm) = metro dividido por mil = 0,001 m;
- micrômetro (μm) = metro dividido por milhão = 0,000001 m;
- nanômetro (nm) = metro dividido por bilhão = 0,000000001 m.

Veja na figura 9.18 quais são os limites de resolução do olho humano, dos microscópios de luz e dos eletrônicos.

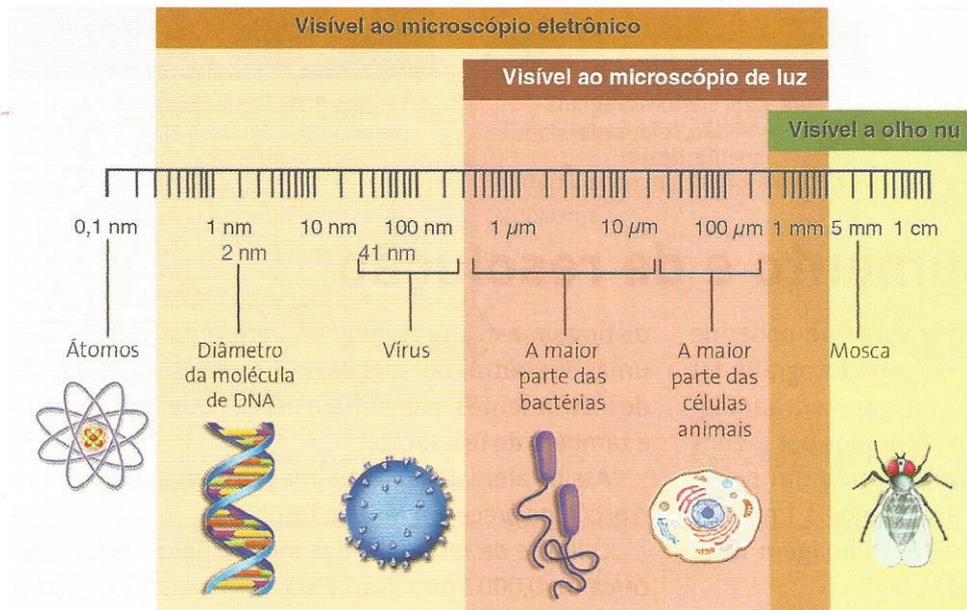


Figura 9.18. Esquema mostrando os limites de resolução do olho humano, do microscópio de luz e do microscópio eletrônico, assim como as dimensões de alguns organismos e estruturas. (Elementos representados em diferentes escalas; cores-fantasia.)

8. A teoria celular

Após os trabalhos de Hooke, outros cientistas se interessaram pelo estudo microscópico dos seres vivos, desenvolvendo, assim, a citologia.

No final da década de 1830, dois pesquisadores alemães, Matthias Schleiden (Fig. 9.19) e Theodor Schwann (Fig. 9.20), formularam a **teoria celular**, segundo a qual todos os seres vivos são formados por

células. As células são, portanto, as unidades morfológicas e funcionais dos seres vivos. Schleiden concentrou suas observações nas plantas, e Schwann, nos animais.

Atualmente, sabe-se que os vírus são as únicas exceções a essa teoria, pois não são formados por células, porém dependem delas para sua reprodução.



Algo-Images/latinstock

Figura 9.19. Matthias Jakob Schleiden (1804-1881).



Hulton Archive/Getty Images

Figura 9.20. Theodor Schwann (1810-1882).

Neste livro, estudaremos as células a partir de sua superfície, procurando, primeiramente, entender as estruturas que as delimitam, protegem e permitem trocas entre o meio intracelular (*intra* = dentro) e o extracelular (*extra* = fora). Vamos tratar, portanto, das membranas e outros envoltórios celulares e dos processos de troca entre as células e o meio. Passaremos, depois, para o estudo do citoplasma, onde ocorrem outros importantes processos fisiológicos. Finalmente, estudaremos o núcleo, responsável pela coordenação da fisiologia celular e das divisões celulares.

Neste capítulo, iniciaremos o estudo dos envoltórios celulares.

9. Os envoltórios celulares

As células encontram-se individualizadas, separadas do meio pelos envoltórios. Estes devem ter características que, enquanto separam o interior da célula do meio externo, também propiciam trocas de substâncias com o meio. Sem trocar substâncias com o meio, a célula não pode se manter viva, pois precisa receber nutrientes e oxigênio e eliminar resíduos de seu metabolismo.

Vamos ver, então, quais são esses envoltórios.

9.1. Membrana plasmática

O envoltório celular presente em todas as células é a membrana plasmática (ou plasmalema, ou membrana celular, ou membrana citoplasmática). Essa membrana é lipoproteica, constituída principalmente de fosfolípidios e proteínas.

O modelo de estrutura da membrana plasmática aceito atualmente foi proposto em 1972 pelos cientistas S. J. Singer e G. Nicolson e denomina-se **modelo do mosaico fluido** (Fig. 9.21).

Segundo esse modelo, existem duas camadas de fosfolípidios que formam um revestimento fluido, delimitando a célula, e imersos nessa camada há moléculas de proteínas. A membrana plasmática apresenta **permeabilidade seletiva**: ela é permeável, mas não a tudo, ocorrendo seleção do que pode ou não passar.

Os tipos de proteína das membranas celulares variam de célula para célula e determinam as funções específicas das membranas.

São vários os tipos de proteínas integrantes de membranas ou apenas associadas a elas, funcionando de maneiras diversas, com maior ou menor especificidade.

Além das proteínas responsáveis pelo controle da passagem de certas substâncias através da membrana, chamadas transportadoras, há aquelas que fixam outras moléculas à membrana, as que atuam como enzimas, catalisando reações específicas, e outras ainda que respondem pela percepção de estímulos do ambiente, passando a informação para o interior da célula. As proteínas de membrana podem variar não só de um tipo de célula para outro, mas também de uma parte para outra da mesma célula.

Não cabe aqui tratar de toda a variedade proteica das membranas. Vamos nos restringir ao estudo de dois tipos de proteínas transportadoras: as de canal (porinas) e as carreadoras. As moléculas dessas proteínas atravessam toda a bicamada fosfolipídica da membrana e respondem por grande parte das trocas controladas de substâncias entre o citoplasma e o meio externo.

Mais adiante, ao tratarmos dos mecanismos de passagem de partículas através da membrana plasmática, voltaremos a mencionar essas proteínas.

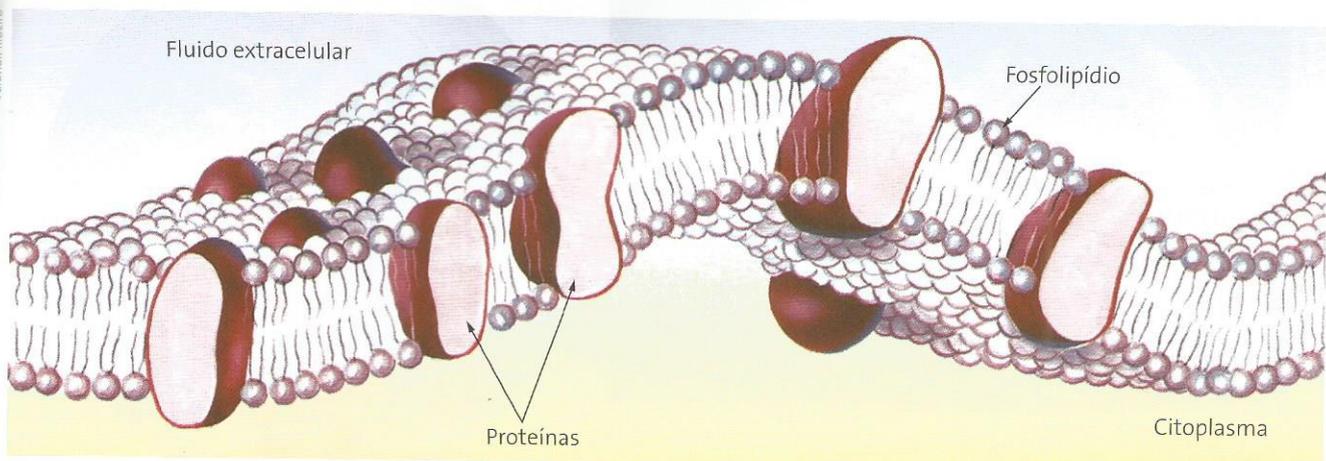


Figura 9.21. Modelo do mosaico fluido da estrutura da membrana plasmática representada em corte. (Elementos representados em diferentes escalas; cores-fantasia.)



MEMBRANAS E BOLHAS DE SABÃO

A natureza lipoproteica da membrana plasmática lhe confere uma série de propriedades físico-químicas importantes para a manutenção das reações químicas que ocorrem dentro das células e que são fundamentais para a vida. Antes de apresentarmos o funcionamento dessa membrana, vamos procurar entender uma de suas características: a fluidez. Para tanto, a bolha de sabão será usada como um modelo simplificado.

Uma característica interessante da molécula de sabão é que ela se assemelha à molécula de fosfolípídio no que se refere à estrutura: ela também apresenta uma cabeça hidrofílica e uma cauda hidrofóbica (Fig. 9.22).

Quando em água, as moléculas de sabão formam aglomerados esféricos chamados **micelas**, pois todas as extremidades hidrofílicas ficam em contato com a água e as hidrofóbicas ficam voltadas para dentro (Fig 9.23).

Caso existam gotículas de gordura na água, as moléculas de sabão as envolvem de modo que fiquem com as caudas hidrofóbicas em contato com a gordura e as cabeças hidrofílicas voltadas para a água. Graças a essa propriedade, o sabão é empregado para se lavar roupas ou objetos engordurados, pois ele facilita a eliminação da gordura.

Vamos pensar agora no que acontece em uma bolha de sabão. Cada bolha está envolta por ar e também contém ar em seu interior. Como as moléculas presentes no ar são principalmente hidrofóbicas, as moléculas de sabão arranjam-se de modo a formar uma membrana com duas camadas, assim como acontece com as membranas celulares. A diferença é que no caso da membrana da bolha, em cada uma das duas camadas, as caudas hidrofóbicas das moléculas de sabão ficam voltadas para o ar. Entre uma camada e outra há uma delicada película de água, para onde as cabeças hidrofílicas se voltam (Fig. 9.24).

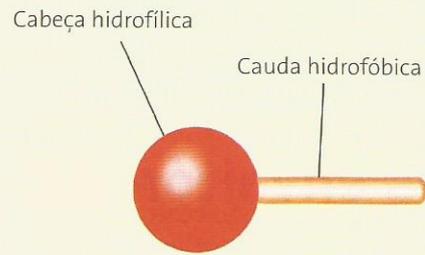


Figura 9.22. Representação esquemática da molécula de sabão, evidenciando a cabeça hidrofílica e a cauda hidrofóbica, que é única, diferentemente dos fosfolípidios, que têm cauda dupla. (Elementos representados fora de escala; cores-fantasia.)

Ilustrações: Walter Caldeira

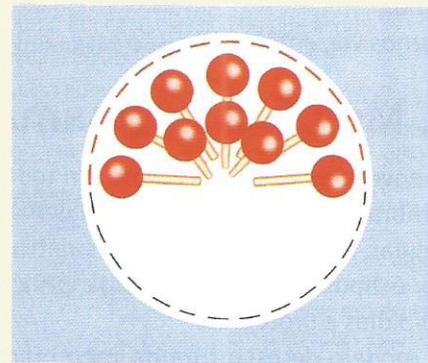


Figura 9.23. Esquema de uma micela. (Elementos representados fora de escala; cores-fantasia.)

Luis Marcelo Totem

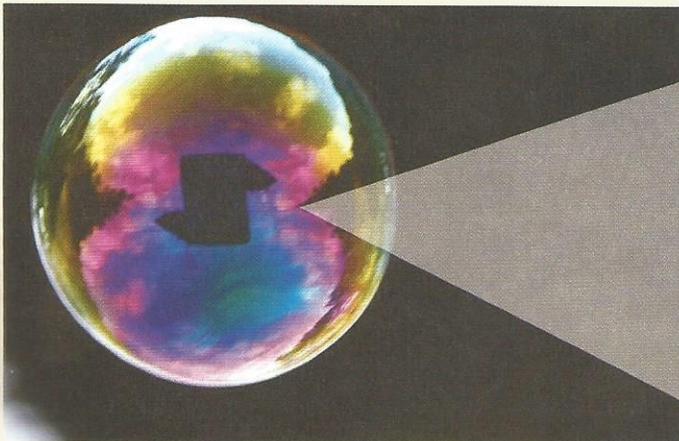
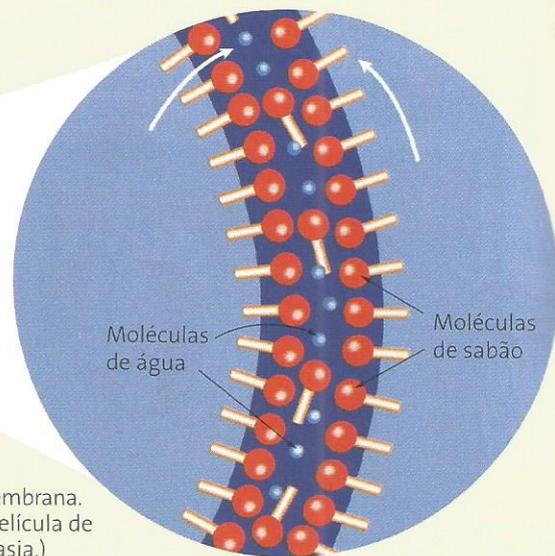


Figura 9.24. Fotografia de uma bolha de sabão e esquema de sua membrana. Note que entre as duas camadas de moléculas de sabão há uma película de água. (Elementos representados em diferentes escalas; cores-fantasia.)



Uma vez formada a bolha, a tendência é a perda da água por evaporação. Como a água está protegida entre duas camadas que apresentam superfícies hidrofóbicas, a evaporação é mais lenta, mas acaba ocorrendo e a bolha se rompe.

A natureza fluida da membrana da bolha é evidenciada pelos fluxos coloridos e iridescentes.

Quando falamos que a membrana plasmática é fluida, estamos nos referindo a processo semelhante. A fluidez da membrana celular resulta do fato de as moléculas de fosfolipídios se deslocarem com mais facilidade lateralmente do que transversalmente (Fig. 9.25).



Figura 9.25. Deslocamento transversal (A) e deslocamento lateral (B) de moléculas de fosfolipídios nas camadas da membrana plasmática. A movimentação transversal ocorre de forma mais lenta do que a lateral. (Cores-fantasia.)

9.2. Envoltórios externos à membrana plasmática

A membrana plasmática é fluida e, como tal, trata-se de uma estrutura delicada. Ao longo da evolução dos seres vivos, surgiram modificações na superfície das células que trouxeram como vantagem maior resistência da membrana sem interferir na sua permeabilidade. Esses envoltórios são, em geral, resistentes e impermeáveis. Por serem vantajosas, essas modificações persistiram ao longo do tempo e estão presentes nas células de muitos organismos que vivem hoje em nosso planeta.

Esses envoltórios são:

- glicocálice (ou glicocálix), presente nas células animais e de muitos protistas;
- parede celular, presente na maioria das bactérias, nas cianobactérias, em alguns protistas, nos fungos e nas plantas.

Glicocálice

O glicocálice (do grego: *glykys* = doce; do latim: *calyx* = envoltório) é formado por uma camada frouxa de glicídios, associados aos lipídios e às proteínas da membrana (Fig. 9.26).

Além de proporcionar resistência à membrana plasmática, o glicocálice tem outras funções:

- constitui uma barreira contra agentes físicos e químicos do meio externo;

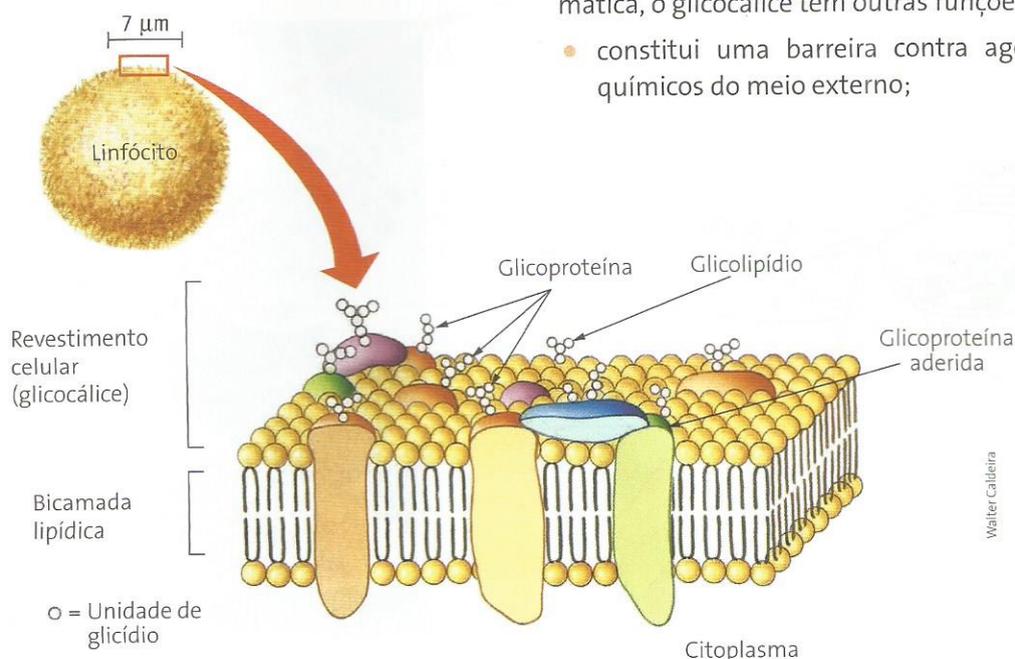


Figura 9.26. Esquema simplificado, feito com base em microscopia eletrônica, de um setor da membrana plasmática de um linfócito, uma célula animal, mostrando o glicocálice. (Cores-fantasia.)

- confere às células a capacidade de se reconhecerem, uma vez que células diferentes têm glicocálice formado por glicídios diferentes e células iguais têm glicocálice formado por glicídios iguais;
- forma uma malha que retém nutrientes e enzimas ao redor das células, de modo que mantenha nessa região um meio externo adequado.

Parede celular

A parede celular é uma estrutura mais rígida que o glicocálice. Assim, as células que apresentam parede celular têm menor possibilidade de modificar sua forma. Dentro de certos limites é uma estrutura permeável, não exercendo controle sobre as substâncias que penetram na célula ou que dela saem.

Nas bactérias e nas cianobactérias, a parede celular é formada basicamente por uma substância típica desses procariontes: o peptidoglicano (ou peptoglicano, ou peptideoglicano), molécula grande constituída por moléculas menores de açúcares associadas a aminoácidos.

Em algumas bactérias existe, além da parede celular, outro envoltório externo: a cápsula. Essas bactérias são chamadas capsuladas (Fig. 9.27). A espessura e a composição química dessas cápsulas variam de espécie para espécie.

Nas plantas, a parede celular é formada principalmente por celulose e, por isso, é também conhecida como parede celulósica.

Em uma célula vegetal jovem, a parede celular é muito fina e chama-se parede celular primária. Todo o espaço delimitado por essa parede primária denomina-se lúmen celular e é ocupado pelo protoplasma, a parte viva da célula, que compreende a membrana plasmática, o citoplasma e o núcleo.

Na célula adulta, a parede celular pode apresentar espessamentos, devido a novos depósitos de materiais, e recebe o nome de parede celular secundária. Como essa parede é formada pela deposição de material por dentro, o lúmen celular fica reduzido. A união entre as células vegetais é feita pela lamela média, composta de pectato de cálcio e magnésio.

É característica das células vegetais a presença de pontos de contato entre células vizinhas, onde não há deposição de celulose, e por onde o citoplasma de uma célula continua no da outra. Através dessas pontes citoplasmáticas, denominadas plasmodesmos, há intercâmbio de material entre as células (Fig. 9.28).

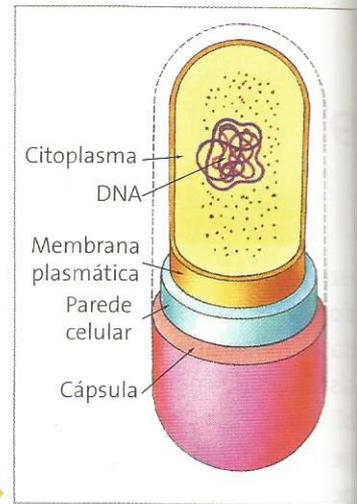


Figura 9.27. Esquema de bactéria, com parte da célula removida. Mede cerca de 2 μm de comprimento. (Cores-fantasia.)

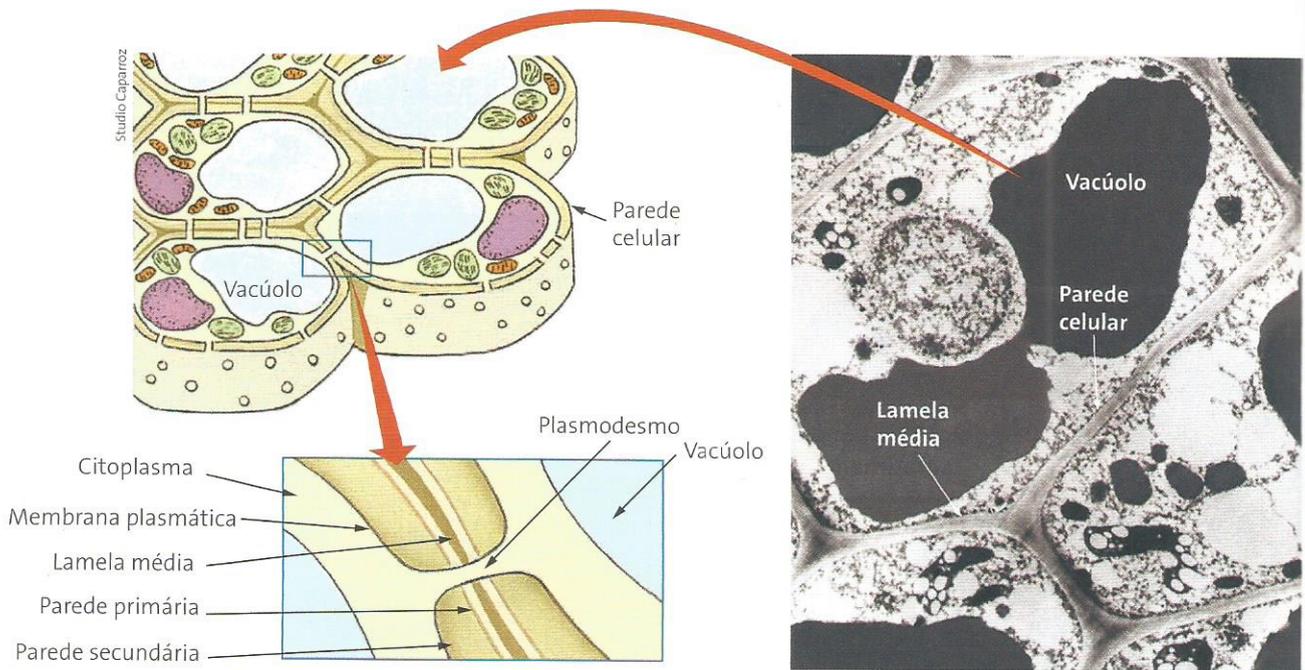


Figura 9.28. À direita, eletromicrografia de transmissão de células vegetais, evidenciando parede celular e lamela média (setas). Cada célula mede cerca de 75 μm de comprimento. Na ilustração em corte, à esquerda, esquema de células vegetais. No detalhe, um plasmodesmo. (Cores-fantasia.)

Entre os seres unicelulares eucariontes, muitos apresentam parede celular cuja composição química varia nos diferentes grupos. Em geral, a parede celular pode ser basicamente de sílica ou de celulose. Os fungos apresentam parede celular constituída basicamente por quitina.

10. Processos de troca entre a célula e o meio externo

Os processos de troca entre a célula e o meio externo podem ser agrupados em três categorias (Fig. 9.29):

- **processos passivos** – ocorrem através da membrana plasmática, sem gasto de energia, tendendo a igualar a concentração da célula com a do meio externo (a favor do gradiente de concentração);
- **processos ativos** – ocorrem através da membrana plasmática, com gasto de energia, mantendo alguma diferença de concentração entre a célula e o meio externo (contra o gradiente de concentração);

- **processos mediados por vesículas** – ocorrem quando vesículas são utilizadas para a entrada de partículas ou microrganismos na célula ou para a eliminação de substâncias da célula. O processo de entrada chama-se **endocitose** e o de saída, **exocitose**.

Para entender os processos passivos e ativos, precisamos ter algum conhecimento sobre concentração de soluções. Vamos falar brevemente sobre isso, tema que também é discutido na disciplina de Química, porém com mais detalhes.

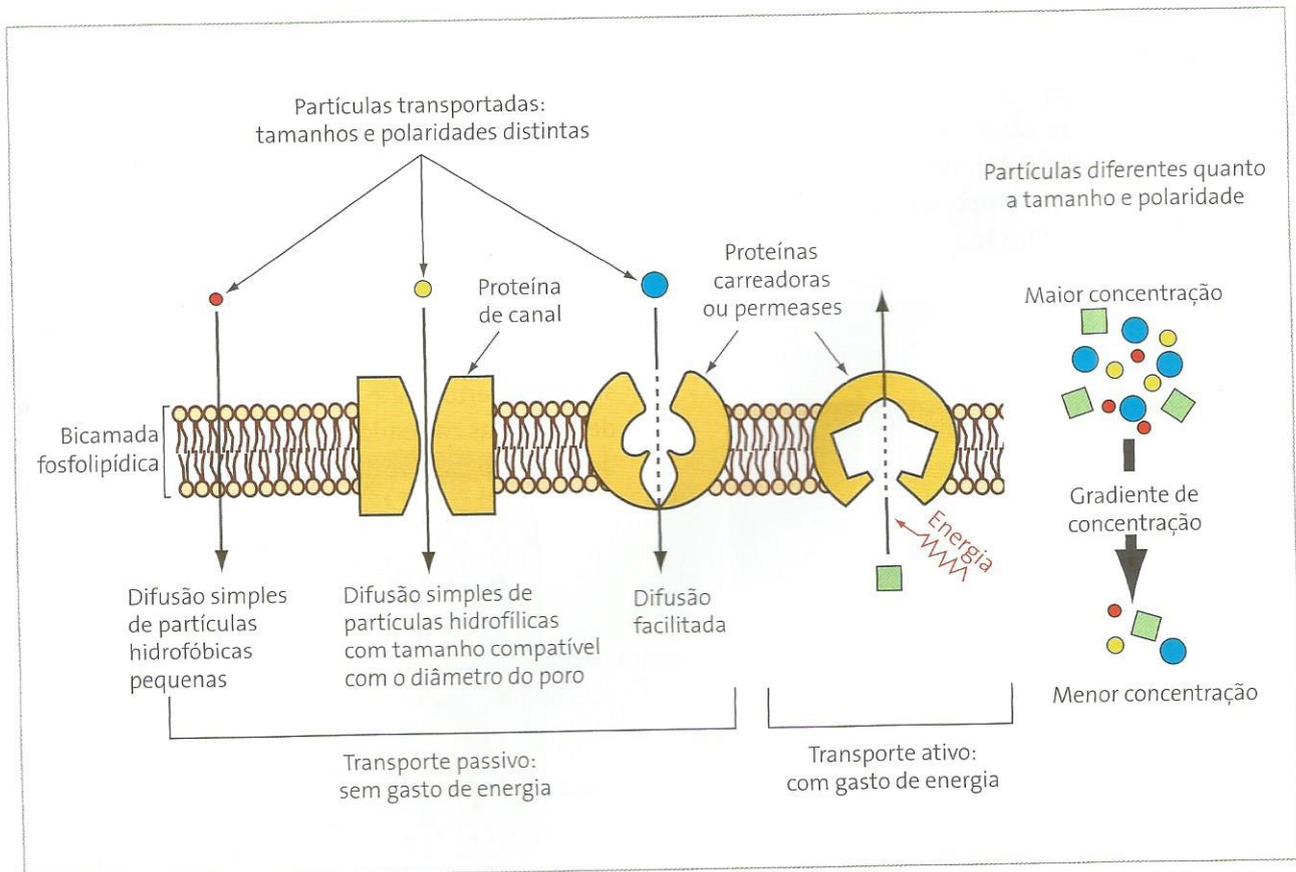


Figura 9.29. Esquema da passagem de partículas do soluto (moléculas ou íons) através da membrana plasmática: difusão simples, difusão facilitada e transporte ativo. (Cores-fantasia.)

10.1. Concentração de uma solução

Moléculas dissolvidas em qualquer líquido formam uma **solução**. As moléculas dissolvidas recebem o nome de **soluto** (por exemplo: açúcares, íons, aminoácidos) e o líquido recebe o nome de **solvente** (por exemplo: água). Esses conceitos são os mesmos usados em Química.

A quantidade de soluto dissolvida em uma determinada quantidade de solvente nos dá um valor que chamamos concentração da solução. A concentração de uma solução é tanto maior quanto mais soluto estiver dissolvido em uma mesma quantidade de solvente.

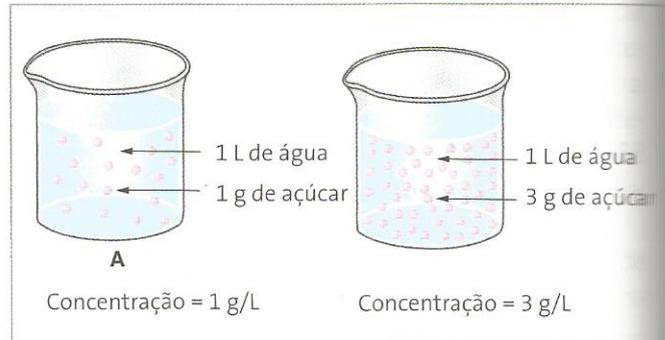
Observe a figura 9.30. Nesse exemplo, a quantidade de açúcar (soluto) dissolvida em 1 litro de água (solvente) é menor no frasco A. Assim, a concentração da solução A é menor que a concentração da solução B.

Quando duas soluções têm a mesma concentração, elas são chamadas **isotônicas** ou isosmóticas (*iso* = igual). Quando a concentração é diferente, a mais

concentrada é chamada **hipertônica** ou hiperosmótica (*hiper* = muito) e a menos concentrada é chamada **hipotônica** ou hiposmótica (*hipo* = pouco).

Como se pode notar, só é possível dizer que uma solução é hipo, hiper ou isosmótica em relação a outra solução.

Figura 9.30. Esquema de duas soluções de água e açúcar (●), com concentrações diferentes. (Elementos representados em diferentes escalas; cores-fantasia. Moléculas não são visíveis dessa maneira.)



10.2. Difusão

A difusão corresponde ao movimento de partículas (moléculas ou íons) de onde elas estão mais concentradas para onde estão menos concentradas, tendendo a homogeneizar sua distribuição. Veja a seguir o que acontece quando se coloca gotas de corante em um frasco com água (Fig. 9.31), sem que o líquido seja agitado: depois de certo tempo, o corante se distribui na água (Fig. 9.32) por difusão.

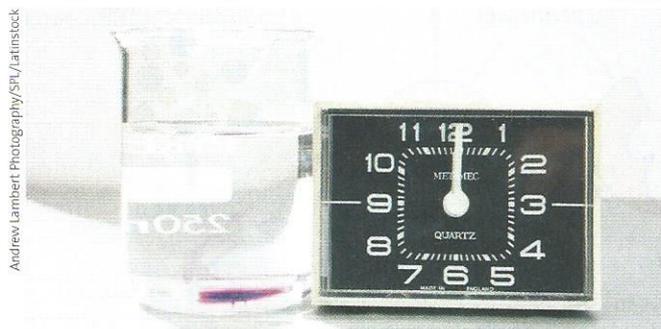


Figura 9.31. Início da experimentação: corante colocado no fundo de um recipiente com água. Montagem deixada em repouso, sem agitação.

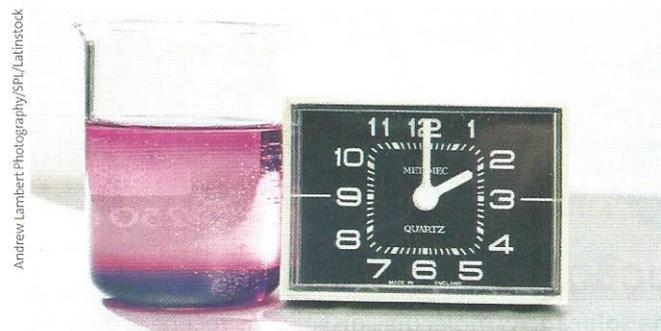


Figura 9.32. Duas horas depois: o corante encontra-se disperso por todo o volume de água.

Através da membrana plasmática há difusão de pequenas moléculas, como as de oxigênio e as de gás carbônico, como exemplificado na figura 9.33.

A difusão pode ocorrer também através de canais proteicos (porinas), no caso de partículas hidrofílicas, que não possuem afinidade com a bicamada de fosfolípidios. O tamanho das partículas que podem passar por esses canais vai depender do diâmetro desses poros. A partir de certo tamanho das partículas, a difusão vai ficando cada vez mais lenta, até que os poros proteicos tornam-se inviáveis para passagem. Nesses casos, e até certo limite, uma alternativa é a participação de proteínas carreadoras facilitadoras, num outro tipo de processo passivo: a difusão facilitada.

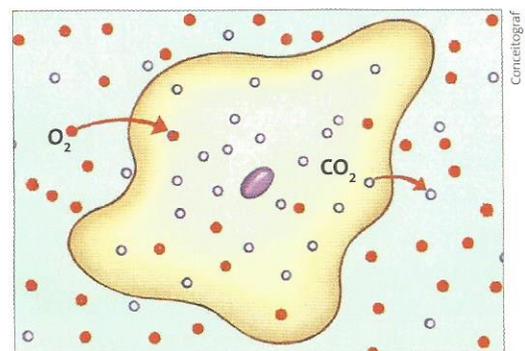


Figura 9.33. Esquema do processo de difusão de O_2 e CO_2 na célula. À medida que a célula realiza a respiração, vai consumindo o oxigênio que está dentro dela e produzindo o gás carbônico. Com isso, dentro da célula a concentração de oxigênio diminui e a de gás carbônico aumenta, o que estabelece uma diferença de concentração desses gases em relação ao meio externo. Fora da célula, o teor de oxigênio é maior, e esse gás entra na célula por difusão. Dentro da célula, o teor de gás carbônico fica maior, e esse gás sai da célula por difusão. (Cores-fantasia; moléculas não são visíveis dessa maneira.)

10.3. Osmose

Osmose é um caso especial de difusão no qual as moléculas de água passam através de membranas semipermeáveis. Também nesse caso, as concentrações em ambos os lados da membrana tendem ao equilíbrio. O solvente (água) difunde-se de modo a diluir o lado mais concentrado. Por isso, na osmose, a água difunde-se em maior quantidade da solução hipotônica para a hipertônica.

A bicamada lipídica é pouco permeável à água, que atravessa lentamente essa membrana. A passagem da água através da membrana plasmática é mais rápida do que o esperado porque ela não ocorre apenas pela bicamada fosfolipídica. Hoje se sabe que as células possuem proteínas especiais, chamadas aquaporinas, que formam verdadeiros canais de passagem para moléculas de água. A descoberta das aquaporinas valeu o Prêmio Nobel de Química de 2003 a dois médicos norte-americanos, Peter Agre e Roderick Mackinnon (Fig. 9.34).

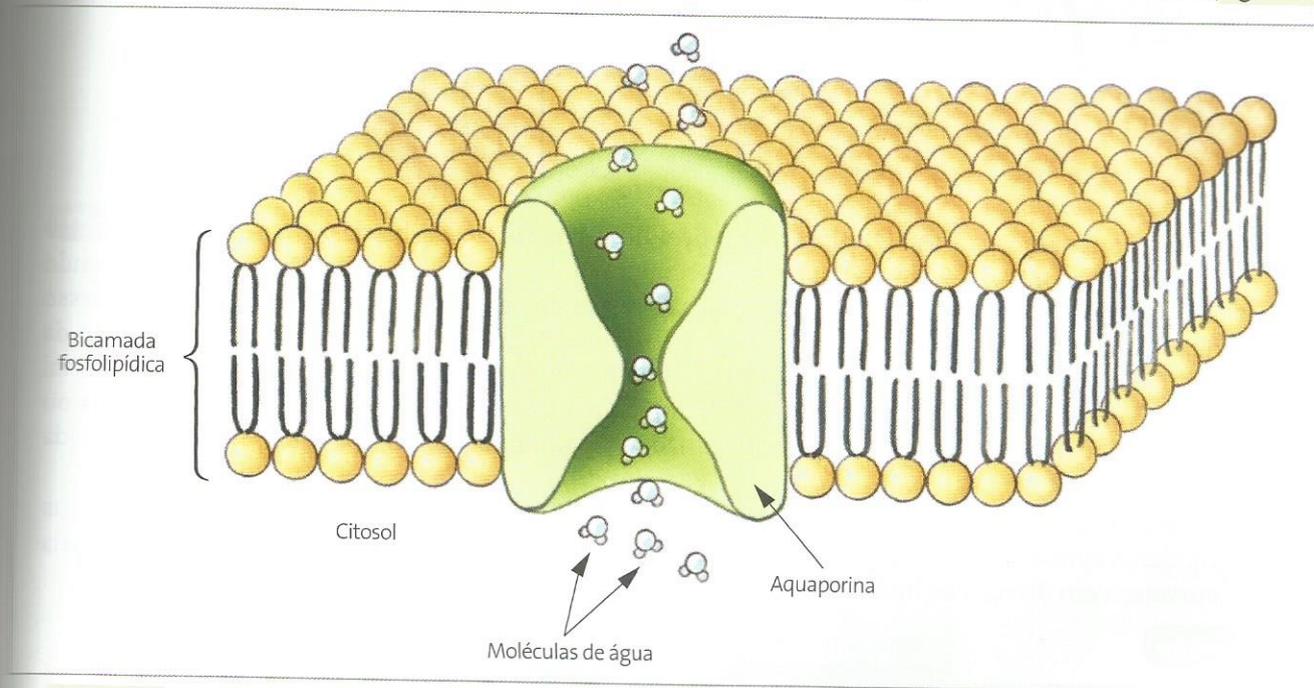


Figura 9.34. Esquema de aquaporina em membrana plasmática, representada em corte. (Elementos representados em diferentes escalas; cores-fantasia.)



Despertando ideias

1. Realizando experimento

Objetivo

Perceber os efeitos do processo de osmose na sustentação de tecidos vegetais, observando modificações na consistência de fatias de batata quando elas são imersas em soluções de diferentes concentrações.

Materiais

- 4 fatias de batata com cerca de 0,5 cm de espessura, cortadas em tiras com cerca de 3 cm de largura e 7 cm de comprimento;
- 1 garrafa de água mineral;
- 3 copos de vidro iguais;
- 4 palitos de madeira;
- sal de cozinha;
- caneta ou lápis;
- saquinho plástico.

Procedimento

1. Espete um palito de madeira no topo de cada uma das tiras de batata para facilitar a manipulação, como mostra a figura 9.35. Com caneta ou lápis, faça uma marca no palito da primeira tira (T1), duas marcas no da segunda tira (T2) e três marcas no da terceira tira (T3). A quarta tira poderá ser identificada por não ter marca nenhuma no palito.

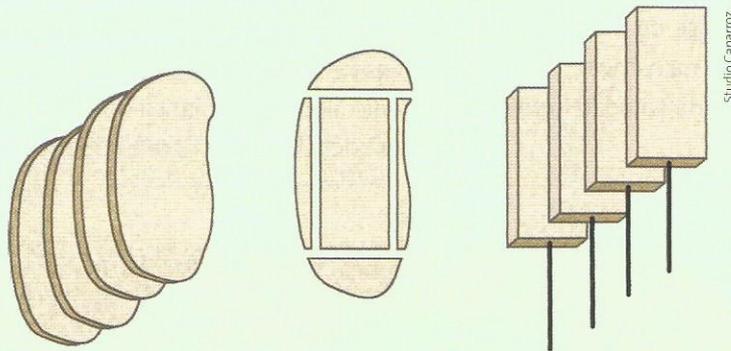


Figura 9.35. Representação da preparação das tiras de batata para o experimento.

2. Adicione água aos copos até atingir um nível de 2 cm abaixo da borda. O copo 1 permanecerá apenas com a água; à água do copo 2 acrescente uma colher de sopa de sal de cozinha, mexendo bem até dissolver tudo; no copo 3 adicione sal, mexendo sempre, até que permaneça um excesso depositado no fundo (nesse caso, dizemos que a solução salina está saturada). Faça a imersão da tira T1 no copo 1, da T2 no copo 2 e da T3 no copo 3, marcando esse momento como horário inicial (tempo zero). Todas as tiras deverão estar completamente imersas, com os palitos fora da água ou da solução. A quarta tira deverá ser embrulhada no saquinho plástico, para não secar, e guardada na sombra.
3. Após cerca de 25 minutos, retire as tiras dos copos pelos palitos e avalie a batata considerando sua rigidez e consistência. Para isso, apoie as tiras na abertura dos respectivos copos e observe a sua curvatura em direção ao interior do copo.

Discussão

1. Qual é a função da quarta tira nesta atividade?
2. Qual é o comportamento das tiras de batata em cada um dos copos? Elas ficam todas da mesma forma? Elabore uma explicação para essa observação.
3. Descreva o comportamento das tiras de batata ao colocá-las apoiadas na boca dos copos. Compare-as com a tira que ficou no saquinho plástico. Faça uma ilustração representando cada uma das observações.
4. Que relação pode ser estabelecida entre a concentração do meio líquido e o estado da fatia de batata? Explique o que observou em termos dos efeitos da osmose nas células do vegetal.
5. Proponha, junto com seu grupo de estudos, outro experimento usando o conceito de osmose. Proponha uma pergunta, formule hipóteses e descreva como poderia ser o teste de hipótese.

2. Interpretando experimentos

Objetivo

Estudar o efeito de pressão osmótica.

1. Um tubo em U, com uma membrana semipermeável instalada, foi preenchido com água destilada, conforme mostra a ilustração A (Fig. 9.36). Após várias horas, o nível da água nos dois braços do tubo em U permaneceu inalterado.

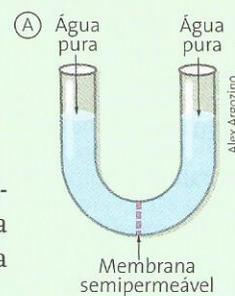


Figura 9.36. Representação da montagem experimental com água pura.

2. Na montagem anterior, substituiu-se a água destilada de um dos braços pelo mesmo volume de uma solução de água e açúcar (veja a ilustração B). Após um tempo, foi se acentuando um desnível, com deslocamento de água de um braço para o outro. Em certo momento, o sistema estabilizou-se e o desnível ficou constante (ilustração C – Fig. 9.37).

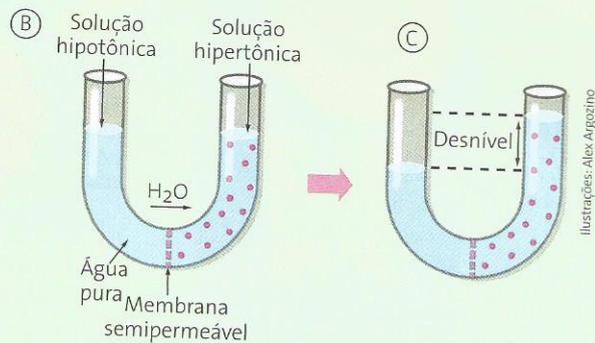


Figura 9.37. Representação do experimento após a adição de solução de água e açúcar.

Ilustrações: Alex Argozino

Discussão

1. Qual é a diferença entre a situação A e a situação C? Explique por que surge o desnível na situação C.
2. Uma nova variável foi adicionada ao experimento: em um dos braços acoplou-se um pistão. A ele foi aplicada uma força constante de modo a impedir o surgimento do desnível. Dessa forma, atingiu-se o equilíbrio representado na ilustração D (Fig. 9.38).

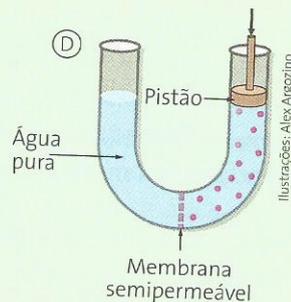


Figura 9.38. Representação do experimento com pistão acoplado ao braço com solução de água e açúcar.

Ilustrações: Alex Argozino

3. Em Física, estudamos que uma força aplicada sobre uma determinada área resulta em pressão. No caso desse experimento, a força aplicada ao pistão é transmitida à solução pela área da superfície de contato entre o pistão e a solução, exercendo pressão sobre a solução. Essa pressão equivale, em valor, à pressão osmótica e pode ser medida por um aparelho chamado osmômetro. Considerando essa nova situação, responda: se as soluções separadas pela membrana semipermeável tivessem a mesma concentração, a força a ser aplicada no pistão para manter as duas colunas de água no mesmo nível seria igual, maior ou menor do que a mostrada na ilustração D? Se a solução de água com açúcar fosse mais hipertônica do que é, como deveria ser essa força?

Soluções de concentrações diferentes separadas por uma membrana semipermeável desenvolvem uma pressão osmótica. O valor dessa pressão depende da diferença entre as concentrações dessas soluções e será tanto maior quanto maior for essa diferença.

Observe a figura 9.39, que representa o que ocorre com hemácias quando submetidas a soluções de diferentes concentrações.

Quando uma célula se encontra em meio com concentração igual à de seu interior (meio isotônico), ela apresenta aparência normal. Em meio hipertônico, a célula perde água e, em meio hipotônico, há entrada de água na célula, provocando aumento de seu volume. No caso da célula animal, a entrada excessiva de água pode levar à ruptura da membrana e morte da célula. No caso das células vegetais, a parede celular, que delimita a célula, impede sua ruptura.

Osmose em célula animal — hemácia

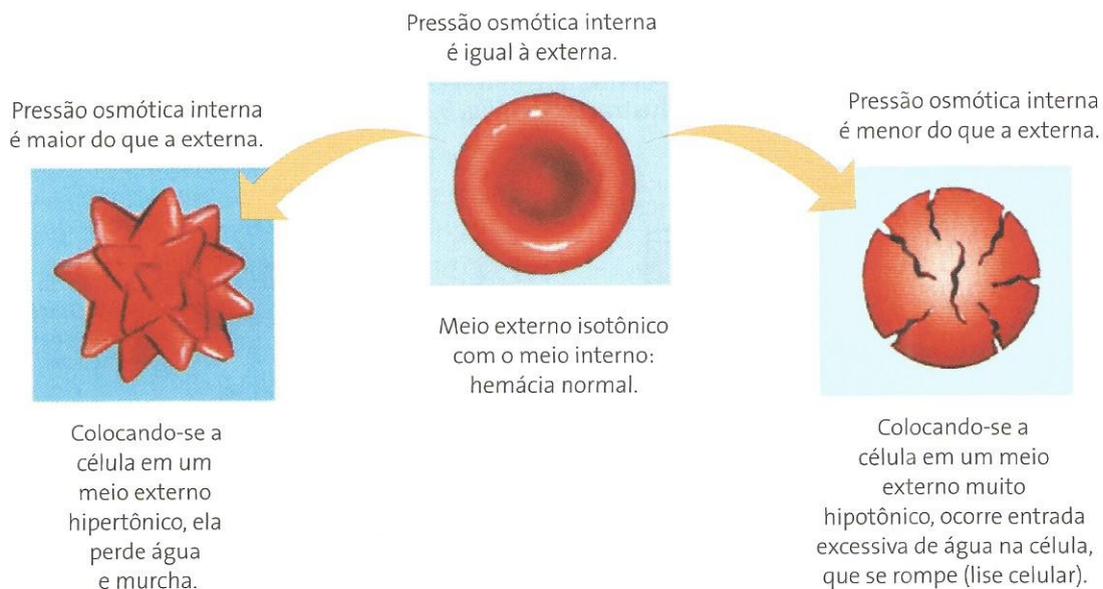


Figura 9.39. Esquema dos efeitos da osmose em uma hemácia. (Cores-fantasia.)



Falando de QUÍMICA

OSMOSE REVERSA

[...]

A **osmose reversa**, como o próprio nome diz, acontece em sentido contrário ao da osmose. Nela, o solvente se desloca no sentido da solução mais concentrada para a menos concentrada, isolando-se, assim, o soluto.

O processo de osmose reversa tem sido usado com o intuito de “potabilizar” a água por meio da dessalinização. A osmose reversa se dá por influência da pressão osmótica que se aplica sobre a superfície na qual se encontra a solução hipertônica, o que impede de o solvente, no caso a água, ser transportado para o meio mais concentrado. Isso permite que a água chamada doce vá sendo isolada do sal. Tal processo passou a ser usado pelos cientistas por volta da década de 60.

Atualmente, a osmose reversa é considerada uma saída para o problema previsto da escassez vindoura de água. E no presente momento, a ausência de água potável em diversas regiões do globo estimula a utilização desta técnica.

As principais aplicações da osmose reversa são as seguintes:

- na dessalinização de águas salobras. Tem sido usado no nordeste do Brasil como solução para a problemática da seca nessa região;
- na indústria, é utilizada na fabricação de alguns tipos de bebidas, como certas águas minerais;
- na área da saúde, recebe destaque, principalmente, nos processos de hemodiálise;
- na agropecuária utiliza-se a osmose reversa na dessedentação de animais, na irrigação e hidroponia. Embora neste setor ainda haja pouca difusão da técnica;
- atua ainda em outras áreas distintas como geração de energia e biotecnologia.

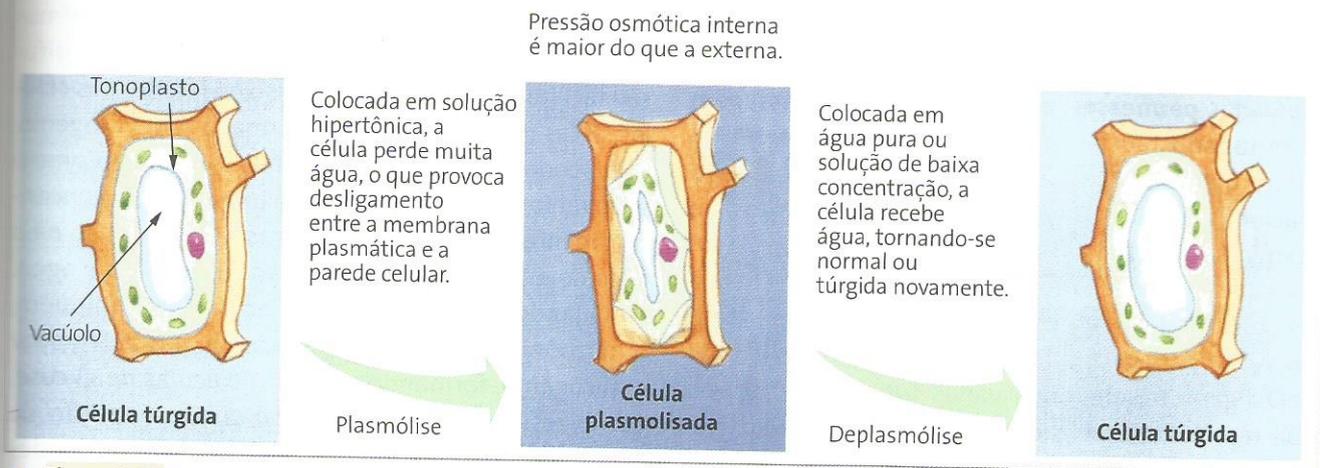
[...]

JIVAGO, D. Osmose reversa. *Portal Infoescola*. Disponível em: <www.infoescola.com/fisico-quimica/osmose-reversa>. Acesso em: jan. 2014.

No citoplasma das células vegetais adultas existe uma região central relativamente grande, que é preenchida por uma organela denominada **vacúolo**. Ele abriga uma solução aquosa de várias substâncias e é delimitado pelo **tonoplasto**, uma membrana lipoproteica semipermeável. Desse modo, a água que sai da célula vegetal provém principalmente do vacúolo.

Observe agora o que ocorre com células vegetais (Fig. 9.40).

Osmose em célula vegetal



Osni de Oliveira

Figura 9.40. Esquema dos efeitos da osmose em uma célula vegetal. (Cores-fantasia.)

Colocando-se uma célula vegetal túrgida – completamente cheia de água – em uma solução hipertônica, a célula perde água para o meio. Há diminuição do volume do citoplasma, o que reduz a pressão que ele exercia sobre a parede celular. Quando essa pressão é nula, ou seja, a parede celular não fica pressionada nem para fora nem para dentro, diz-se que a célula está **flácida**. A perda do turgor resulta no murchamento da planta. Se a concentração do meio for muito maior que a da célula, ela perderá mais água, o que pode acabar provocando a separação da membrana plasmática da

parede celular. O citoplasma e a membrana plasmática acompanham a contração do vacúolo e separam-se da membrana celulósica. Esse processo denomina-se **plasmólise** e ocorre em células vegetais.

O processo inverso à plasmólise é a **deplasmólise**, em que a célula plasmolisada, ao ser colocada em água pura ou em solução de baixa concentração, volta a ficar túrgida. A célula não sofre ruptura como acontece com as hemácias do experimento anterior, pois possui parede celular muito resistente, estrutura ausente nas células animais.



Falando de COTIDIANO

POR QUE SALADAS NÃO DEVEM SER TEMPERADAS MUITO ANTES DE SEREM CONSUMIDAS?

Você já deve ter temperado saladas usando basicamente vinagre ou limão, sal e azeite.

Por experiência própria, deve ter observado que, se temperar com antecedência, as verduras murcham. Isso acontece porque ao temperar a salada estamos submetendo as células das verduras a um meio hipertônico, especialmente devido ao sal. Assim, as células perdem água para o meio, por osmose, e murcham (Figs. 9.41 e 9.42).



Figura 9.41. Fotografia de salada sem tempero ou recém-temperada.



Figura 9.42. Fotografia de salada temperada há algum tempo.

Fotografias: Rita Barreto

10.4. Difusão facilitada

A difusão facilitada também é um processo passivo, que ocorre através das membranas lipoproteicas. Nesse tipo de difusão, algumas proteínas da membrana, chamadas **permeases**, atuam facilitando a passagem de certas substâncias que, por difusão simples, demorariam muito tempo para passar. Esse processo está relacionado ao transporte de alguns aminoácidos, de vitaminas e de alguns íons, como o cálcio, o cloro, o sódio e o potássio e de moléculas, como a glicose. Será a esse transporte de glicose que deteremos nossa atenção. Analise a figura 9.43.

O fígado desempenha várias funções, entre elas a de reservatório de glicose, importante combustível para nossas atividades. As células do fígado armazenam glicose sob a forma de glicogênio, que é uma molécula longa formada por várias moléculas de glicose.

Quando a concentração de glicose é maior fora das células do que dentro delas, o hormônio insulina estimula a entrada de moléculas de glicose na célula por difusão facilitada. Se estão em excesso no interior das células, essas moléculas são transformadas em glicogênio, que, sendo insolúvel, não tem efeito osmótico. Como o glicogênio não está dissolvido, não aumenta a concentração interna das células do fígado e, assim, não há o risco de elas incharem por entrada excessiva de água.

Quando os níveis de glicose no sangue diminuem, o hormônio glucagon estimula as células a degradar o glicogênio, formando muitas moléculas de glicose. Como resultado desse processo, a concentração de glicose dentro das células fica maior do que fora delas. Nessa situação, a glicose é transportada para fora das células por difusão facilitada.

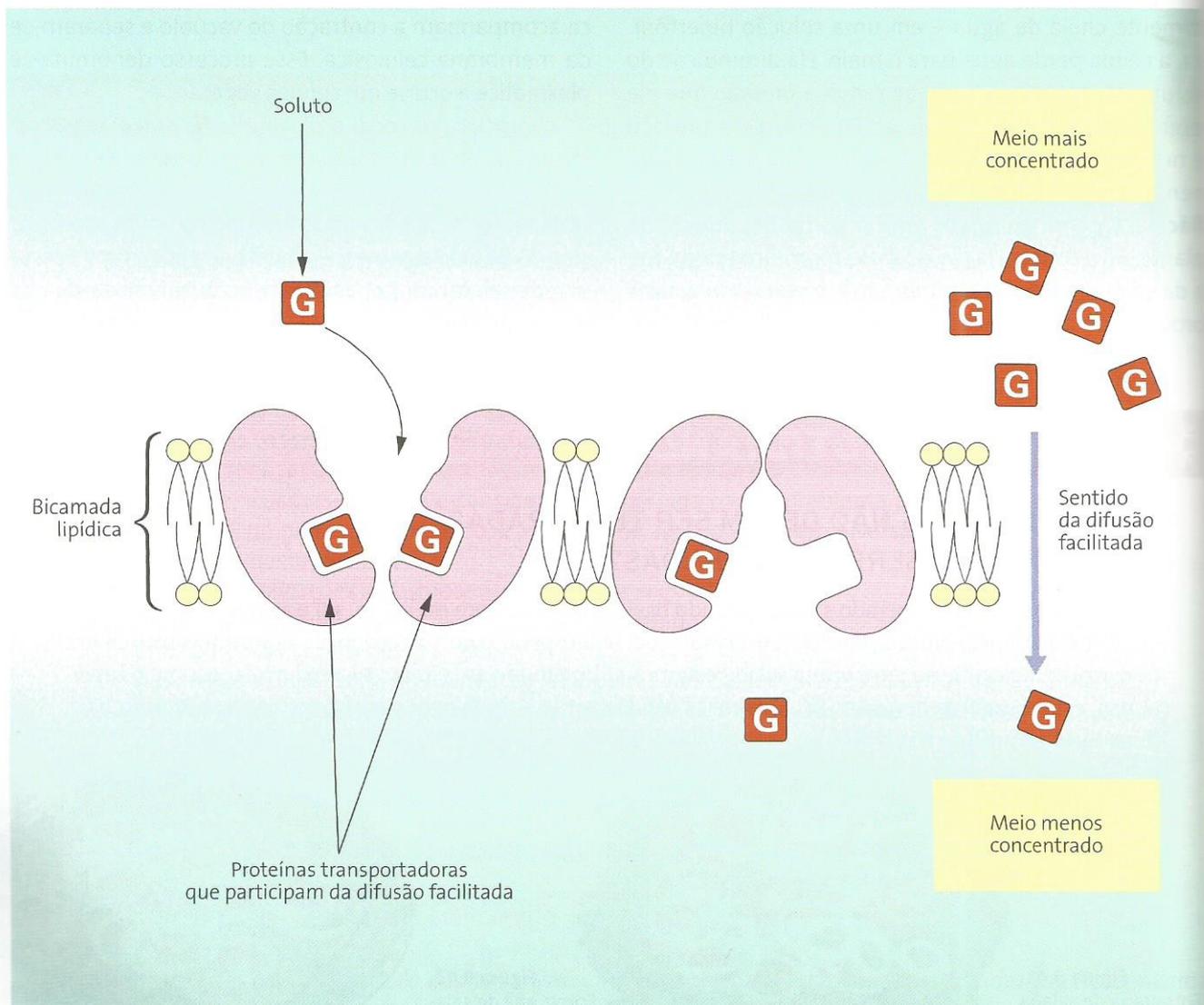


Figura 9.43. Esquema da difusão facilitada da glicose (G) em células do fígado: as proteínas transportadoras alteram suas conformações movendo o soluto (glicose) através da membrana, de acordo com o gradiente de concentração. A membrana está representada em corte. (Elementos representados em diferentes escalas; cores-fantasia.)



EXEMPLO DA IMPORTÂNCIA CLÍNICA DO TRANSPORTE ATRAVÉS DE MEMBRANA

A **fibrose cística** é uma doença caracterizada pela secreção anormal de muco, principalmente pelas células do sistema respiratório. Esse muco é espesso e viscoso e, por ser dificilmente eliminado das vias aéreas, acaba acarretando infecções pulmonares frequentes (Fig. 9.44).

Essa doença pode levar o indivíduo à morte ainda na infância, embora já existam tratamentos que prolonguem a vida dos pacientes.

Na membrana plasmática das células existe uma proteína que realiza o transporte de íons cloro. A causa da fibrose cística está relacionada com a presença de um tipo anormal dessa proteína, que deixa de fazer o transporte desses íons de forma adequada. Isso acarreta alterações na concentração normal dos íons cloro dentro da célula, o que leva à produção de muco espesso.

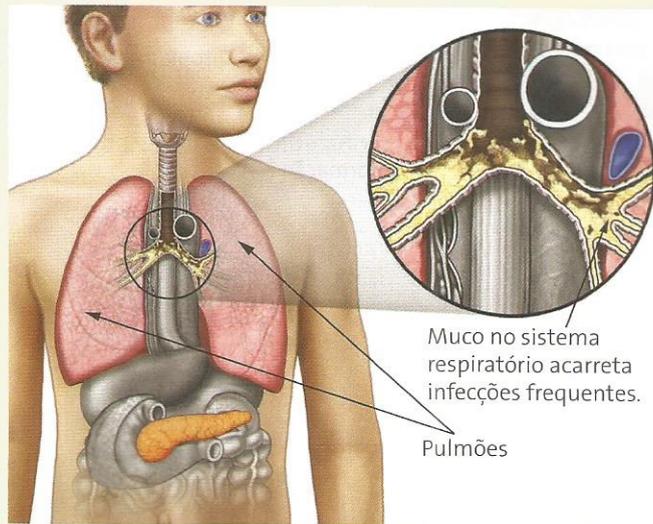


Figura 9.44. Características de fibrose cística: excesso de muco no sistema respiratório.

10.5. Bomba de sódio e potássio – processo ativo

Os processos ativos são os que ocorrem através da membrana plasmática ou de qualquer outra membrana da célula graças ao fornecimento de energia do metabolismo celular. Esses processos são caracterizados pelo movimento de soluto **contra o gradiente de concentração**, ou seja, da solução menos concentrada para a mais concentrada. São sempre realizados por permeases (proteínas carreadoras) presentes na membrana plasmática.

Medindo-se a concentração de dois importantes íons para a célula – Na^+ e K^+ –, verifica-se que há maior concentração de íons Na^+ no líquido extracelular do que no meio intracelular. Já com os íons K^+ acontece o contrário: sua concentração é maior dentro da célula do que fora dela.

Esses íons atravessam normalmente a membrana celular pelo processo de difusão facilitada. Assim, se não houvesse um processo ativo capaz de manter essa diferença de concentração, sódio e potássio tenderiam a igualar suas concentrações fora e dentro da célula. Porém, é fundamental para o metabolismo celular manter essa diferença de concentrações. É importante

haver íons K^+ em alta concentração na célula, pois eles são necessários na síntese de proteínas e em algumas etapas da respiração. Entretanto, a alta concentração desses íons no meio intracelular pode trazer problemas osmóticos, pois a célula torna-se hipertônica. O bombeamento de Na^+ para fora da célula contribui, então, para a regulação osmótica.

O processo ativo que permite a manutenção da concentração diferencial desses íons é chamado **bomba de sódio e potássio** (Fig. 9.45).

Utilizando energia, os íons Na^+ (que penetram na célula por difusão facilitada) são levados para o meio extracelular e os íons K^+ (que saem da célula por difusão facilitada) são levados para o meio intracelular.

A bomba de sódio e potássio é importante ainda na produção de diferença de cargas elétricas nas membranas celulares. Nas células animais, a maioria das membranas celulares tem uma diferença de potencial elétrico de cada lado da membrana, o que é chamado potencial de membrana. Geralmente, o lado citoplasmático da membrana plasmática tem potencial negativo em relação ao exterior. Essa diferença é mantida pela bomba de sódio e potássio, pois, para cada três íons Na^+ bombeados para fora da célula, apenas dois íons K^+ são bombeados para dentro dela (relação de 3 : 2).

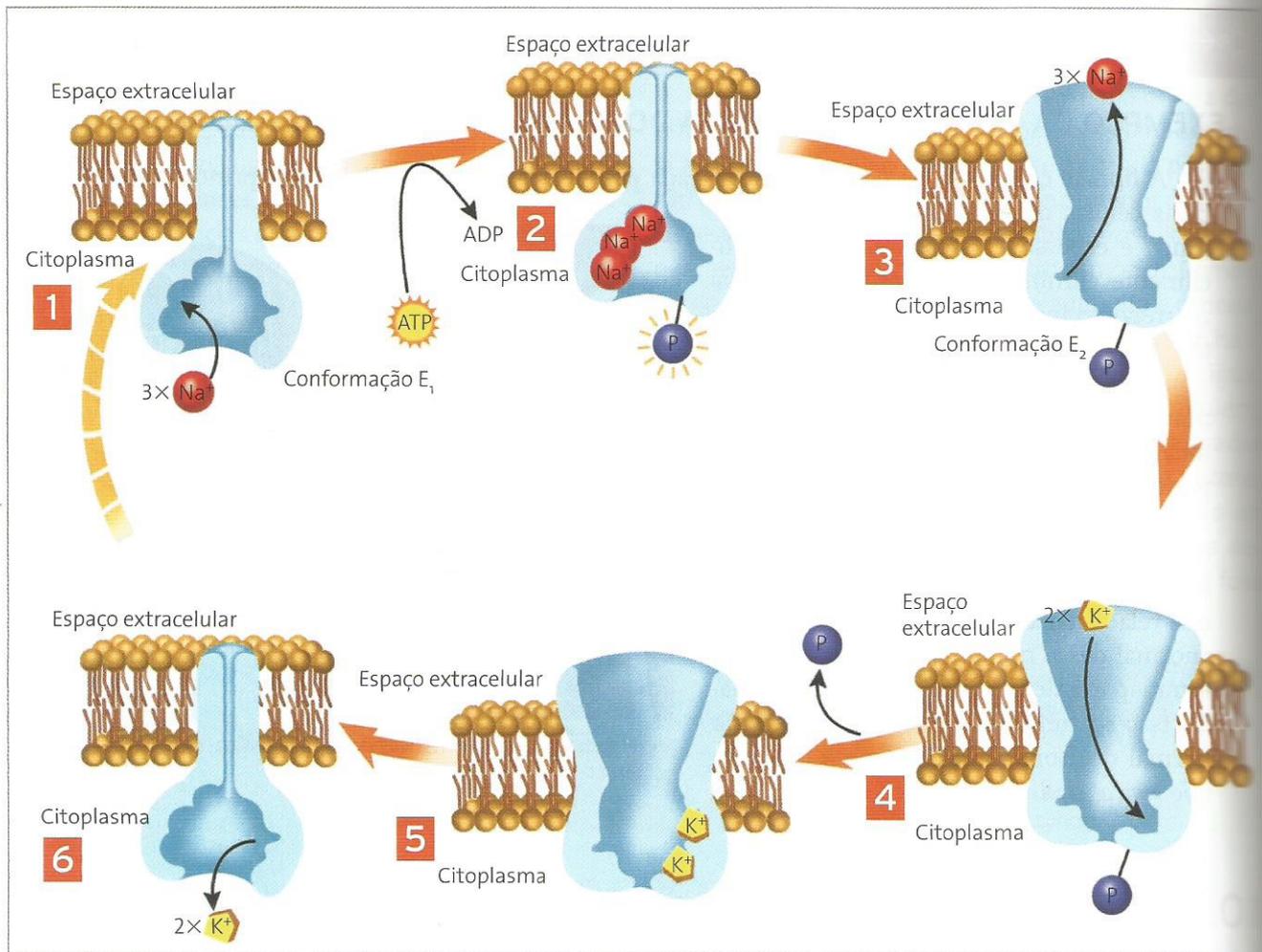


Figura 9.45. Esquema representando a bomba de sódio e potássio. (Cores-fantasia.)

1. A proteína transportadora está em sua conformação espacial chamada E_1 , em que três íons sódio combinam-se em sua parte voltada para o interior da célula.
2. Uma molécula de ATP (trifosfato de adenosina), que fornece energia a diversos processos celulares, transfere um de seus fosfatos à proteína transportadora.
3. A energia fornecida pelo ATP promove alteração da forma da proteína, que passa a ter a conformação E_2 , liberando os três íons sódio para o exterior da célula; nesse processo, o grupo fosfato da molécula de ATP fica associado à proteína.
- 4 e 5. Dois íons potássio do meio exterior ligam-se à transportadora, que ao mesmo tempo libera o fosfato.
6. Os dois íons potássio são liberados no interior da célula e a transportadora volta à sua conformação E_1 e pode agir novamente.

Assim, quando essas membranas não são estimuladas por impulsos, elas apresentam carga positiva na face externa e carga negativa na face interna (Fig. 9.46).

Especialmente em células nervosas e musculares, essa diferença de cargas elétricas propicia a transmissão de impulsos elétricos. Nesses casos, quando há um estímulo, ocorre inversão temporária das cargas elétricas.

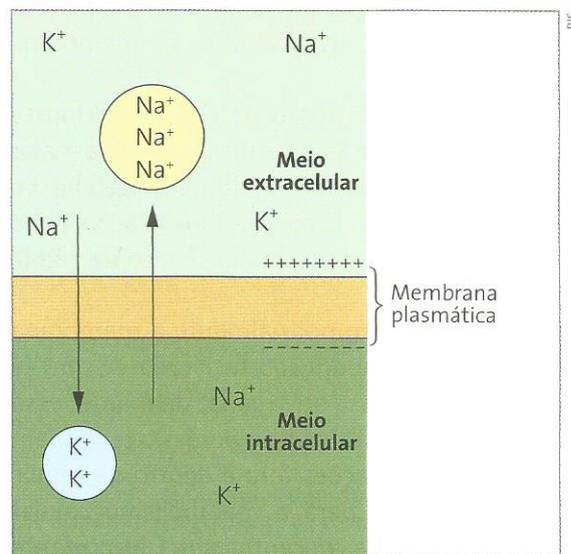


Figura 9.46. Representação do potencial elétrico negativo (no meio intracelular) e positivo (no meio extracelular), mantido pela bomba de sódio e potássio.

10.6. Endocitose e exocitose

Nos itens anteriores, foram discutidos os mecanismos pelos quais pequenas moléculas e íons atravessam a membrana plasmática. Partículas maiores não conseguem atravessar a membrana, mas podem ser incorporadas à célula por endocitose ou ser eliminadas por exocitose.

A endocitose pode ocorrer por dois processos básicos: a fagocitose e a pinocitose.

A fagocitose (*fagos* = comer; *citos* = célula; ato de a célula comer) é um processo de ingestão de partículas grandes, como microrganismos e restos de outras células.

A pinocitose (*pinos* = beber; ato de a célula beber) está relacionada à ingestão de moléculas grandes, como polissacarídeos e proteínas dissolvidas em água.

Esses dois processos estão esquematizados de modo comparativo e simplificado nas figuras 9.47 e 9.48.

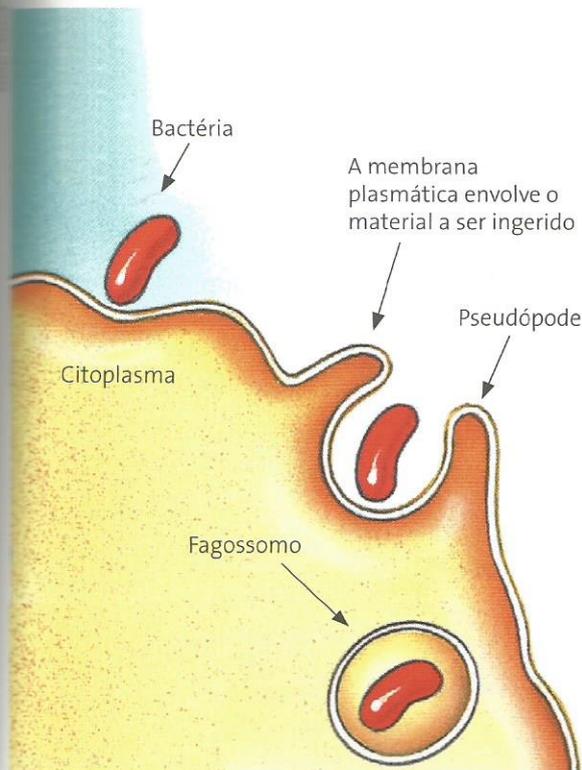


Figura 9.47. Esquema de fagocitose: ingestão de partículas grandes, como microrganismos e pedaços de célula, por vesículas grandes, os **fagossomos**. (Cores-fantasia.)

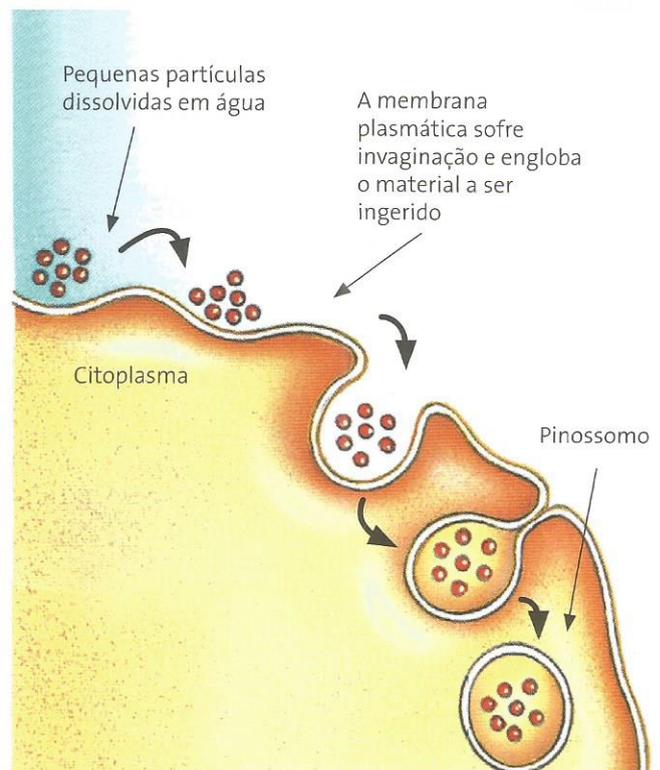


Figura 9.48. Esquema de pinocitose: ingestão de moléculas grandes dissolvidas em água por vesículas pequenas, os **pinossomos**. (Cores-fantasia.)

A fagocitose é um mecanismo empregado por muitos protistas, em especial as amebas, para a obtenção de alimento, englobando outros microrganismos. Nos multicelulares, a fagocitose é exercida apenas por certas células especializadas.

Nas células que realizam fagocitose, o material ingerido fica no interior de uma vesícula grande, denominada **fagossomo**, um tipo de vacúolo alimentar, e é degradado por ação de enzimas específicas.

Ao contrário da fagocitose, que é realizada apenas por algumas células especializadas, a pinocitose ocorre praticamente em todos os tipos celulares.

As partículas ingeridas por pinocitose ficam no interior de pequenas vesículas denominadas **pinossomos** e podem servir como alimento para as células.

Os mecanismos de digestão intracelular serão discutidos no próximo capítulo.

Enquanto os mecanismos de endocitose descritos envolvem a ingestão de material, a exocitose envolve a eliminação de material, ou seja, de dentro para fora da célula.

A exocitose é um processo frequente nas células com função secretora, como as do pâncreas, por exemplo, que secretam insulina e glucagon (hormônios lançados na corrente sanguínea que, como vimos, atuam no metabolismo de açúcares) (Fig. 9.49).

Também por exocitose são eliminados resíduos do material digerido dentro da célula. Esse tipo de exocitose é denominado **clasmocitose** ou defecação celular.

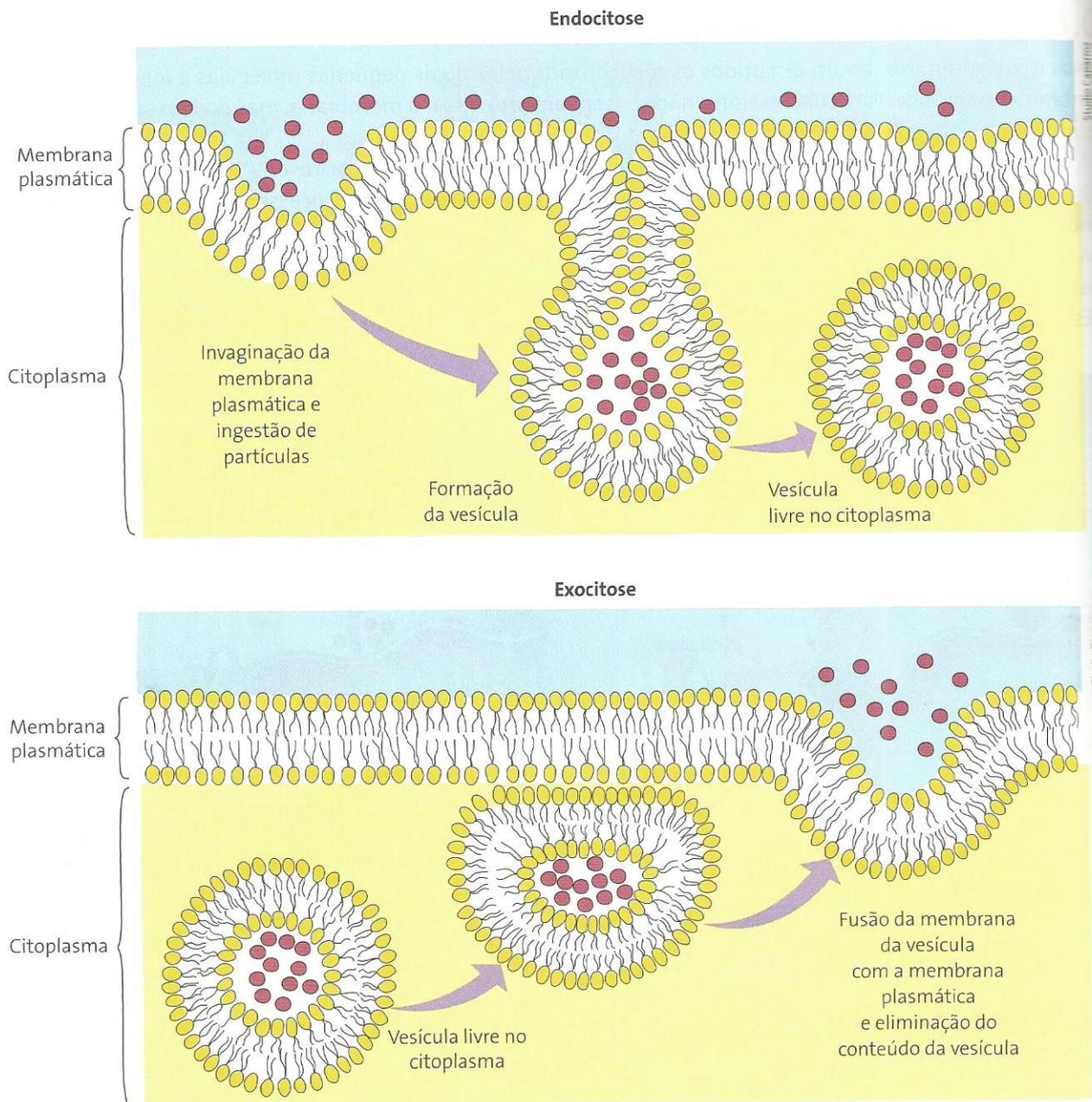


Figura 9.49. Esquema comparativo de endocitose e exocitose. (Estruturas representadas em corte, em diferentes escalas; cores-fantasia.)



Falando de SAÚDE

COMBATE A INFECÇÕES E "LIMPEZA" DO NOSSO CORPO

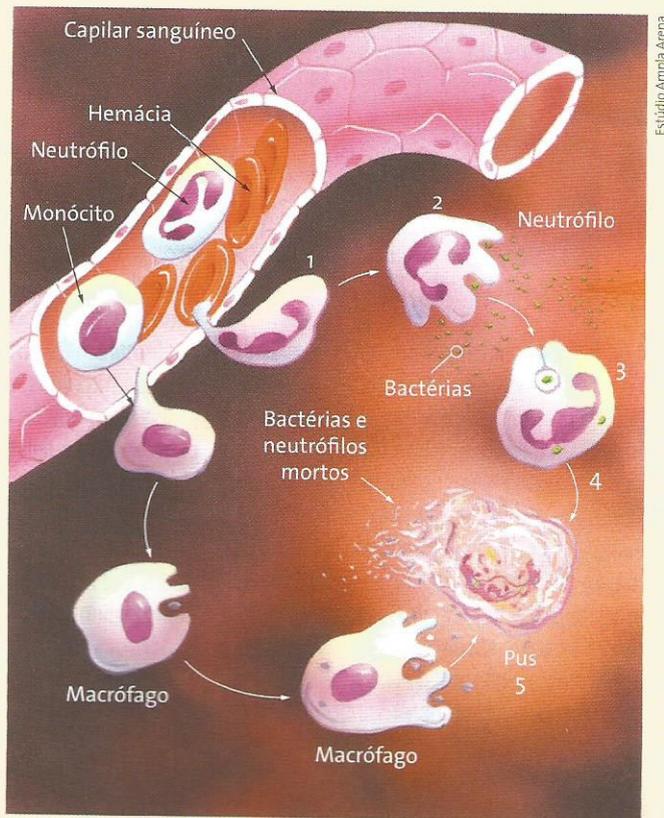
Você sabe o que é o **pus** que se forma nos ferimentos infeccionados?

Quando a pele humana sofre uma lesão, pode ocorrer infecção por bactérias. Nesse caso, **neutrófilos** (um tipo de glóbulo branco do sangue) saem dos vasos sanguíneos e vão para o local da infecção. Esse processo de atravessar a parede dos capilares sanguíneos é denominado **diapedese**.

Os neutrófilos fagocitam ativamente as bactérias, mas acabam morrendo juntamente com as várias bactérias que ingeriram. Os neutrófilos e as bactérias mortos formam os principais elementos encontrados no pus de ferimentos infeccionados.

Nessa fase, os **monócitos**, que são outro tipo de glóbulo branco do sangue, saem dos vasos sanguíneos também por diapedese e transformam-se em **macrófagos**.

Os macrófagos têm alta capacidade de fagocitose e dirigem-se ao local da infecção, onde ingerem bactérias invasoras, restos de células mortas e até mesmo os próprios neutrófilos já destruídos (Fig. 9.50).



^ **Figura 9.50.** Esquema simplificado representando uma resposta inflamatória. Leucócitos e macrófagos medem cerca de 15 μm de diâmetro; hemácias medem em torno de 7 μm de diâmetro. O capilar sanguíneo foi representado com parte de sua parede removida para visualizar as células sanguíneas. (Elementos representados em diferentes escalas; cores-fantasia.)



Tema para discussão

Pelos caminhos das descobertas científicas

Entender a evolução da Ciência nos ajuda a compreender o momento que estamos vivendo. Procuramos apresentar resumidamente nos capítulos anteriores e neste um pouco dessa evolução ligada à área biológica.

Agora vamos ampliar um pouco mais a história da evolução da Ciência lendo parte de um artigo publicado na revista *Science*, de janeiro de 2000. Ela é uma das mais importantes revistas científicas do mundo e, naquele ano, publicou mensalmente, a partir de janeiro, a série “Caminhos do Descobrimento” (*Pathways of Discovery*).

Em um desses artigos é apontada, com uma frase marcante, a dificuldade de se fazer essa síntese da evolução da Ciência: “Os caminhos do descobrimento são suaves e lineares quando a história da Ciência, tortuosa e cheia de nuances, é brutalmente resumida para caber em um espaço finito”. Este é nosso caso. Apesar de difícil, essa síntese é importante para que possamos ter uma ideia de como a evolução do conhecimento aconteceu.

A seguir, você pode acompanhar uma sequência de eventos em que são apresentadas contradições e reviravoltas científicas, ironias, tragédias e responsabilidades diante do conhecimento científico.