



**INSTITUTO CALLEN**  
DE EDUCAÇÃO CIENTÍFICA

**INVISTA NA SUA  
FORMAÇÃO CIENTÍFICA**

Formação científica e desenvolvimento acadêmico

## **APOSTILA DIDÁTICA**

### **Organelas Celulares e suas Funções**

Série: Genética e Biologia Celular

Francisco Carlos da Silva  
Instituto Callen de Educação Científica

1ª edição

**Ji-Paraná – RO**

# APOSTILA DIDÁTICA

Organelas Celulares e suas Funções  
Genética e Biologia Celular

Francisco Carlos da Silva  
Instituto Callen de Educação Científica

Ji-Paraná – RO  
2026

© 2026 – Francisco Carlos da Silva

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta obra pode ser reproduzida ou transmitida por qualquer meio ou processo sem autorização do autor.

**Autor**

Francisco Carlos da Silva

**Diagramação**

Instituto Callen de Educação Científica

**Instituição**

Instituto Callen de Educação Científica

**ISBN:** 978-65-02-00068-7

Ji-Paraná – RO

Brasil

2026

## Sumário

|    |                                                                          |    |
|----|--------------------------------------------------------------------------|----|
|    | Apresentação.....                                                        | 5  |
| 1  | Organização geral das células eucarióticas.....                          | 7  |
| 2  | Núcleo, nucléolo e organização da informação genética.....               | 9  |
| 3  | Ribossomos e síntese proteica.....                                       | 12 |
| 4  | Retículo endoplasmático: RER, REL e controle de homeostase.....          | 14 |
| 5  | Complexo de Golgi e tráfego vesicular.....                               | 16 |
| 6  | Organelas metabólicas: mitocôndrias, lisossomos e peroxissomos.....      | 18 |
| 7  | Citoesqueleto, centríolos e organização estrutural da célula.....        | 21 |
| 8  | Organelas vegetais e especificidades da célula vegetal.....              | 23 |
| 9  | Integração funcional das organelas.....                                  | 25 |
| 10 | Atualização científica: hemifusoma e refinamento do modelo classico..... | 26 |
| 11 | Síntese final.....                                                       | 27 |
| 12 | Exercícios objetivos comentados.....                                     | 27 |
| 13 | Atividade de fixação – avaliação formative.....                          | 29 |
| 14 | Referências básicas.....                                                 | 29 |

## Apresentação

A célula eucariótica representa uma das formas mais sofisticadas de organização biológica. Seu funcionamento depende de um princípio fundamental: a compartimentalização. Em vez de manter todas as reações bioquímicas dispersas no citoplasma, a célula distribui processos específicos entre diferentes organelas, criando microambientes funcionais capazes de aumentar a eficiência metabólica, reduzir interferências indesejáveis entre vias químicas e controlar com maior precisão a produção, modificação, transporte e degradação de moléculas.

Durante muito tempo, o estudo das organelas foi conduzido por uma lógica essencialmente descritiva, em que cada compartimento era apresentado quase como uma unidade isolada, com função própria e fronteiras bem definidas. Embora essa abordagem clássica continue indispensável para a formação inicial do estudante, ela hoje é insuficiente para explicar o comportamento real das células. A visão contemporânea, sustentada por avanços em microscopia eletrônica, biologia molecular, proteômica e tomografia crioeletrônica, mostra que as organelas constituem uma rede dinâmica de compartimentos interdependentes. A eficiência celular não decorre apenas da existência de cada organela, mas sobretudo da integração funcional entre elas.

Essa integração pode ser observada, por exemplo, no fluxo da informação genética, no qual o núcleo regula a transcrição, os ribossomos executam a tradução, o retículo endoplasmático participa do dobramento e da síntese inicial de proteínas e o complexo de Golgi realiza processamento e direcionamento molecular. De modo semelhante, o metabolismo energético não se restringe às mitocôndrias, mas envolve articulação com peroxissomos, sistema de endomembranas, vacúolos, plastídios e citoesqueleto. Em células vegetais, essa rede ainda inclui cloroplastos, parede celular, plasmodesmos e grandes vacúolos, ampliando a complexidade estrutural e funcional.

Compreender as organelas celulares é, portanto, essencial para interpretar fenômenos centrais da biologia, como síntese proteica, metabolismo energético, divisão celular, transporte intracelular, comunicação célula–célula, homeostase iônica e resposta ao estresse. Além disso, alterações estruturais e funcionais nesses compartimentos estão

associadas a um amplo conjunto de desordens fisiológicas, doenças humanas, anomalias do desenvolvimento e limitações do crescimento e do metabolismo vegetal.

Esta apostila foi elaborada a partir do plano de aula, da apresentação em slides, do texto-base complementar e da atividade formativa sobre organelas celulares e suas funções. O material foi reorganizado em formato didático mais robusto, com aprofundamento conceitual, integração entre estrutura e função, discussão sistêmica das interações celulares e atualização científica recente, incluindo o debate sobre o hemifusoma como possível intermediário estruturado do tráfego vesicular. O objetivo é oferecer ao estudante um texto de estudo consistente, útil tanto para revisão quanto para consolidação dos fundamentos da biologia celular em perspectiva moderna.

## Objetivos de aprendizagem

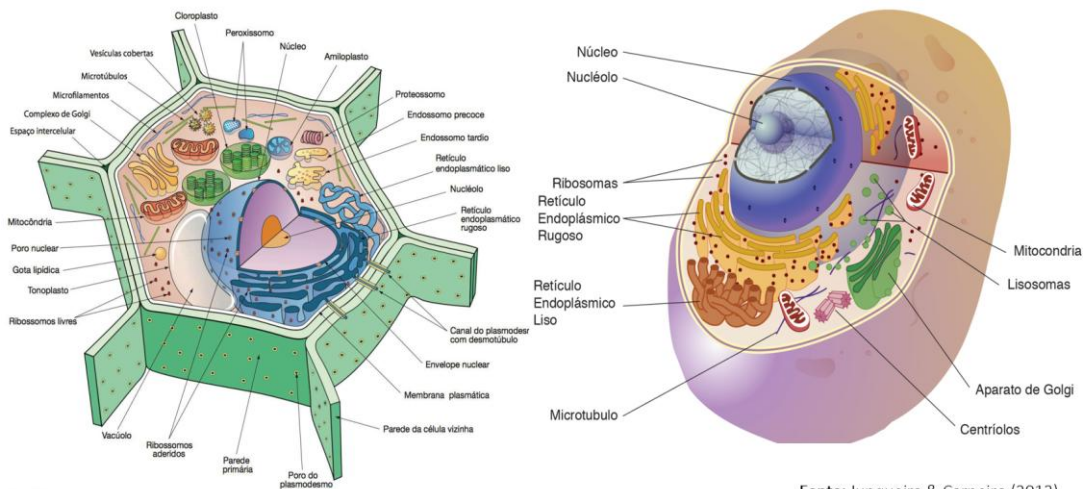
| Ao final desta unidade, o estudante deverá ser capaz de: |                                                                                                   |
|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ✓                                                        | Caracterizar as principais organelas celulares quanto à sua estrutura e especialização funcional. |
| ✓                                                        | Analisar a relação entre compartimentalização celular e eficiência metabólica.                    |
| ✓                                                        | Explicar criticamente o fluxo da informação genética (núcleo → RER → Golgi → destino proteico).   |
| ✓                                                        | Comparar estrutural e funcionalmente organelas de células animais e vegetais.                     |
| ✓                                                        | Integrar sistemicamente sistema de endomembranas, mitocôndrias, plastídeos e citoesqueleto.       |
| ✓                                                        | Avaliar as consequências de alterações estruturais sobre o funcionamento celular.                 |

## Quadro-síntese: organelas e integração funcional

| Estrutura                                | Função central                                     | Integração principal                             | Ponto de atenção                                              |
|------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| Núcleo                                   | Armazenar DNA e regular expressão gênica           | Exporta RNAs e coordena síntese proteica         | Alterações nucleares comprometem regulação e divisão          |
| RER / REL / Golgi                        | Síntese, processamento e tráfego de macromoléculas | Conecta informação genética ao destino proteico  | Defeitos geram proteínas mal processadas e falhas secretórias |
| Mitocôndrias / Peroxissomos / Lisossomos | Energia, oxidação, degradação e reciclagem         | Integram metabolismo, estresse e sinalização     | Disfunções afetam ATP, redox e homeostase                     |
| Citoesqueleto / Centríolos               | Suporte, transporte e divisão celular              | Posicionam organelas e organizam fuso mitótico   | Alterações afetam tráfego e segregação cromossômica           |
| Organelas vegetais                       | Fotossíntese, turgor, armazenamento e comunicação  | Integram metabolismo e estrutura celular vegetal | Fundamentais para fisiologia e crescimento das plantas        |

## 1. Organização geral das células eucarióticas

As células eucarióticas diferem profundamente das procarióticas pela presença de compartimentos internos especializados e por um núcleo verdadeiro delimitado por membrana. Essa condição não representa apenas um ganho morfológico, mas uma reorganização radical da lógica funcional da célula. Em vez de depender de um citoplasma relativamente homogêneo, a célula eucariótica distribui seus processos bioquímicos entre organelas membranosas e estruturas não membranosas, permitindo que reações distintas ocorram sob condições físico-químicas próprias.



Fonte: Junqueira & Carneiro (2013).

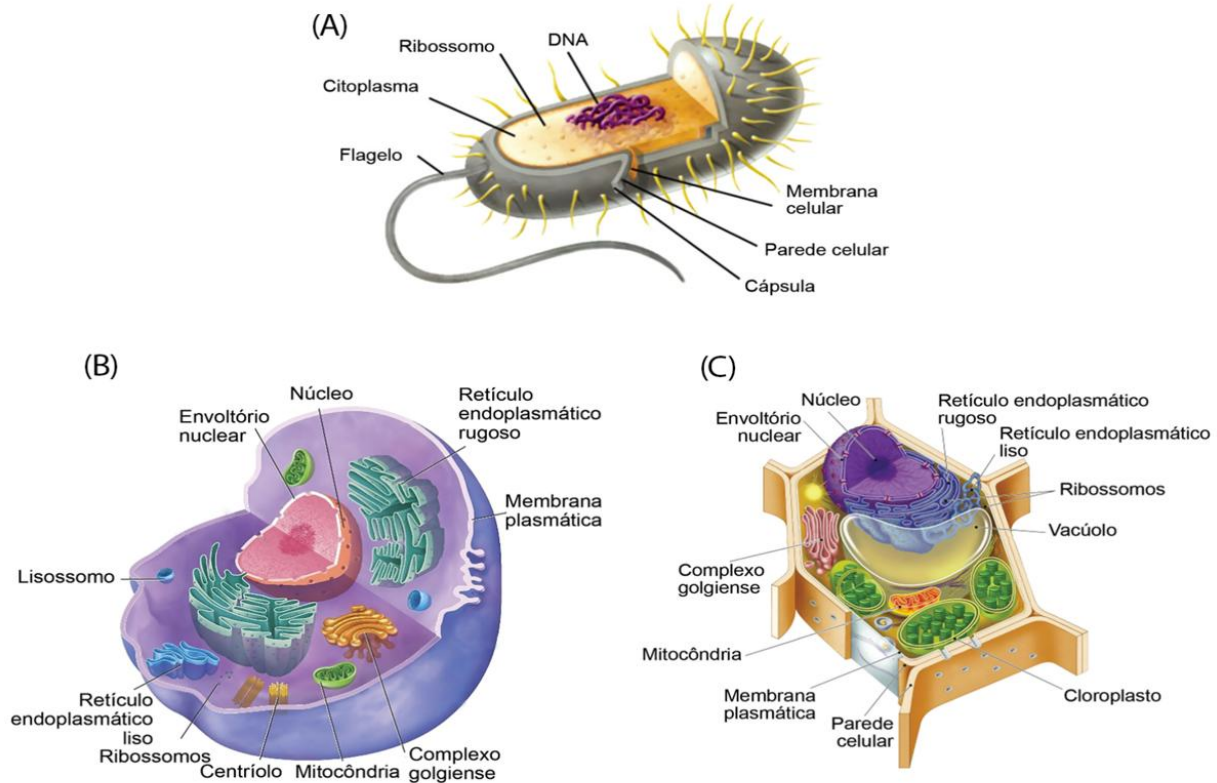
A compartimentalização celular aumenta a eficiência metabólica por vários mecanismos. Primeiro, concentra enzimas e substratos em regiões específicas, o que acelera determinadas vias e evita dispersão aleatória de moléculas. Segundo, permite que processos incompatíveis ocorram simultaneamente sem interferência, como síntese proteica, digestão intracelular e geração de espécies oxidativas. Terceiro, cria pontos de controle regulatório mais refinados, pois o destino de uma molécula passa a depender não apenas de sua síntese, mas também do compartimento para o qual será direcionada.

Do ponto de vista sistêmico, a célula eucariótica deve ser entendida como rede integrada de compartimentos. Núcleo, retículo endoplasmático, Golgi, vesículas, mitocôndrias, peroxissomos, lisossomos, citoesqueleto e membrana plasmática cooperam continuamente. Assim, a organização celular não se reduz a uma soma de organelas; ela constitui uma arquitetura dinâmica, orientada pela relação entre estrutura, função, fluxo molecular e adaptação fisiológica.



- Compartimentalização aumenta eficiência bioquímica e controle funcional.
- Organelas criam microambientes específicos para vias metabólicas distintas.
- A célula eucariótica funciona como sistema integrado, não como conjunto de partes isoladas.

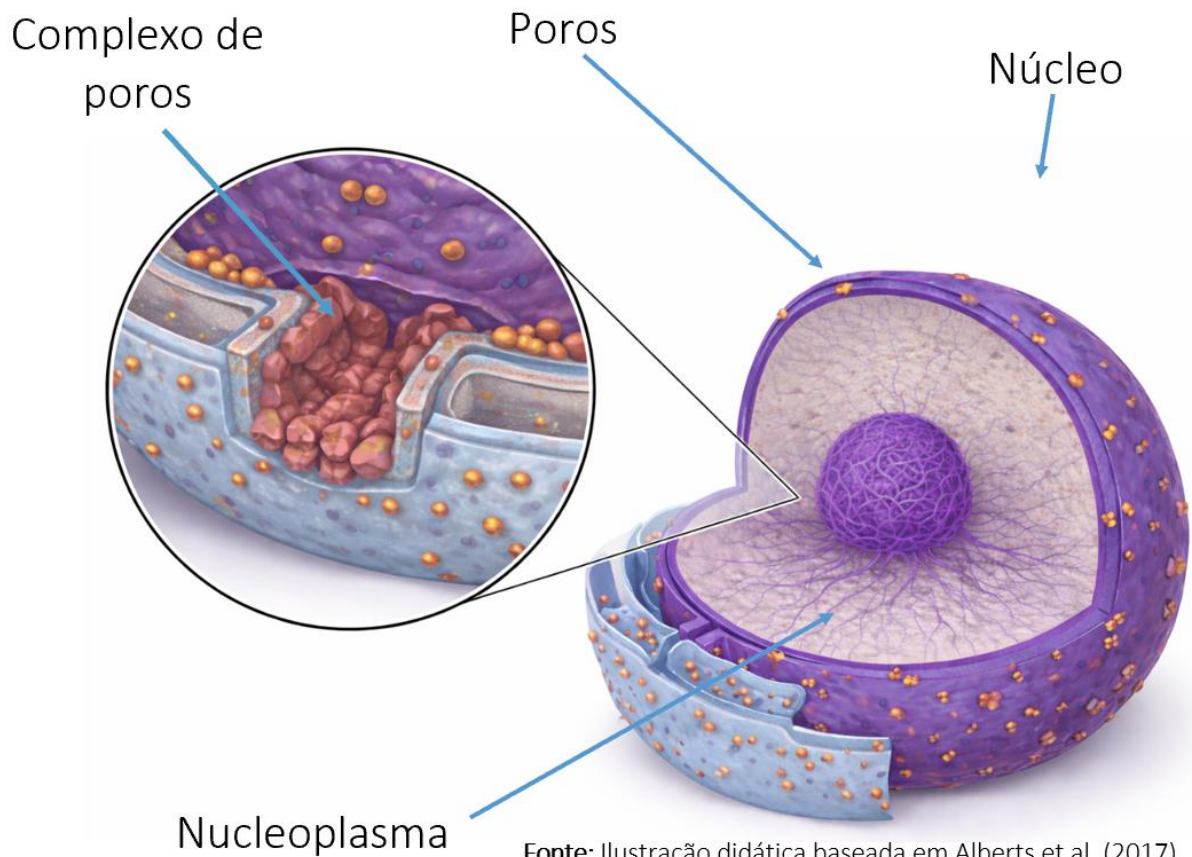
## Procariontes x Eucariontes



Fonte: [www.md.cneceduca.com.br](http://www.md.cneceduca.com.br)

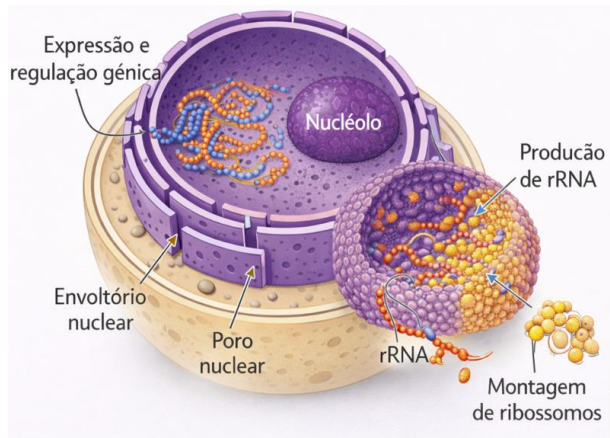
## 2. Núcleo, nucléolo e organização da informação genética

O núcleo é a organela central das células eucarióticas e atua como principal centro de armazenamento, organização e regulação da informação genética. Delimitado por envelope nuclear de dupla membrana, contínuo ao retículo endoplasmático rugoso, ele abriga o DNA organizado em cromatina, cuja compactação e acessibilidade variam conforme a necessidade de replicação, transcrição e regulação gênica.



Os poros nucleares são grandes complexos proteicos que controlam o tráfego seletivo entre núcleo e citoplasma. Por meio deles, RNAs mensageiros, proteínas regulatórias, fatores de transcrição e subunidades ribossomais são exportados ou importados de forma altamente controlada. Esse tráfego não é passivo: ele integra diretamente a expressão gênica ao funcionamento citoplasmático e representa um dos pontos centrais da coordenação celular em eucariotos.

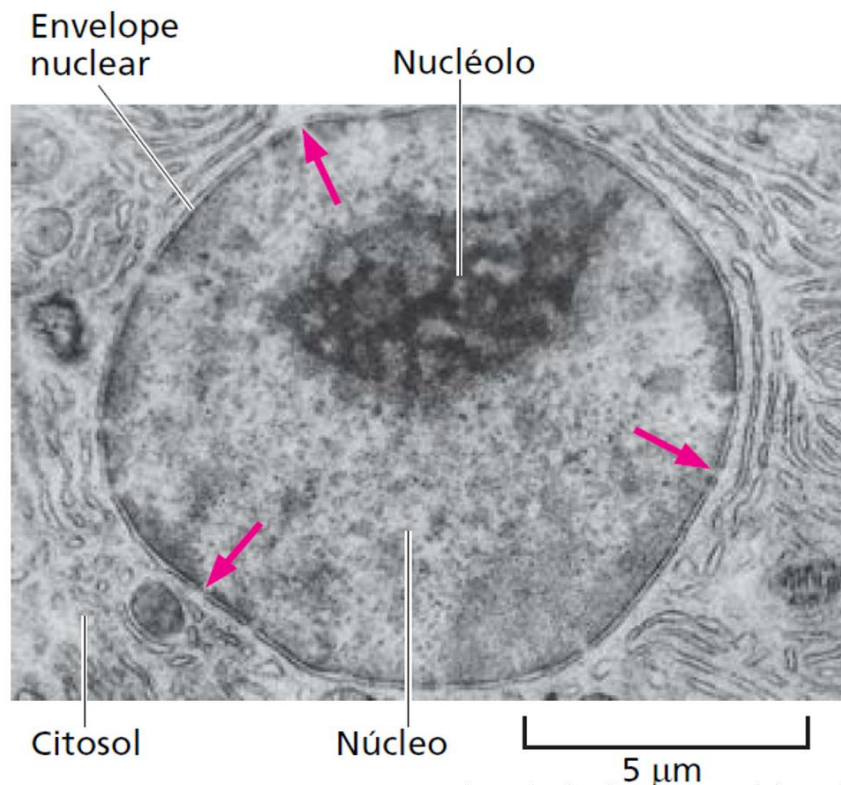
## Núcleo e Nucléolo



Fonte: Ilustração didática baseada em Alberts et al. (2017).

- ✓ Núcleo como centro de controle da expressão gênica.
- ✓ Organização da cromatina e regulação da atividade celular.
- ✓ Nucléolo na síntese de rRNA e formação de subunidades ribossômicas.
- ✓ Integração entre núcleo e síntese proteica.

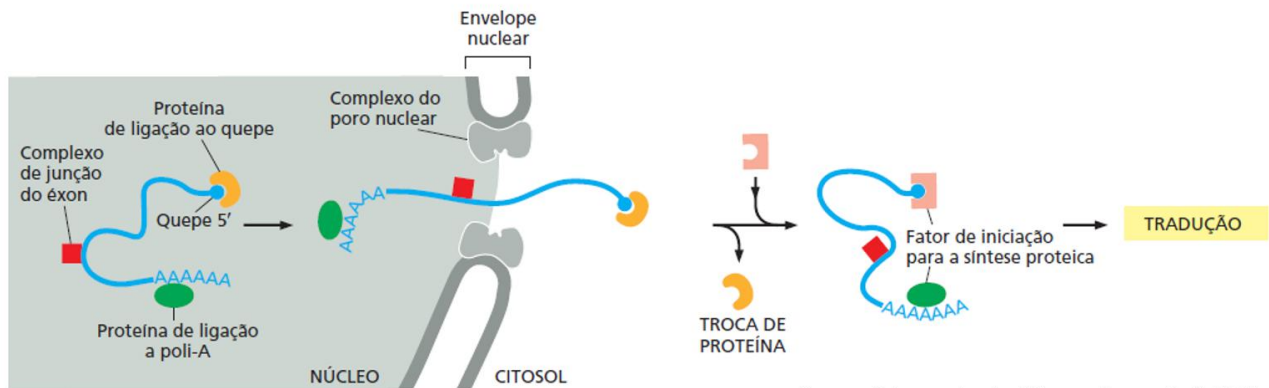
No interior do núcleo, o nucléolo ocupa posição de destaque. Trata-se de uma estrutura densa, sem membrana, especializada na transcrição do RNA ribossômico, seu processamento e a montagem inicial das subunidades ribossômicas. A visão moderna o interpreta como um condensado biomolecular formado por separação de fases, o que ajuda a explicar sua plasticidade ao longo do ciclo celular.



Fonte: Adaptado de Alberts B. et al. (2017).

Além do nucléolo, o núcleo contém outros domínios funcionais, como corpos de Cajal e speckles nucleares, reforçando a ideia de que o interior nuclear é altamente organizado e dinâmico.

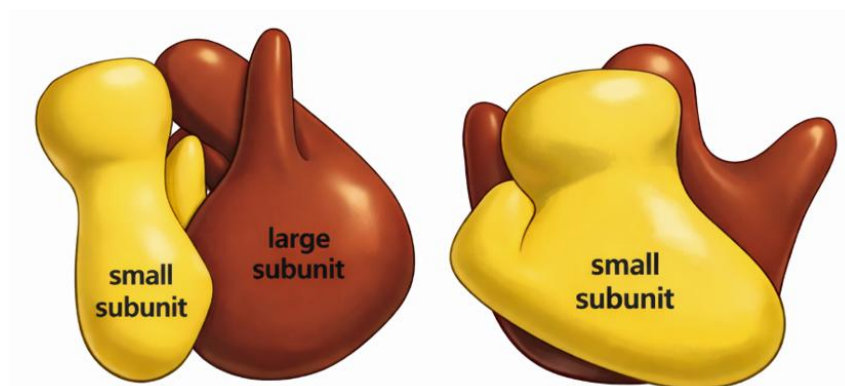
- O núcleo controla replicação, transcrição e regulação gênica.
- Poros nucleares coordenam comunicação seletiva núcleo–citoplasma.
- O nucléolo exemplifica organela sem membrana com função altamente especializada.



Fonte: Adaptado de Alberts B. et al. (2017).

### 3. Ribossomos e síntese proteica

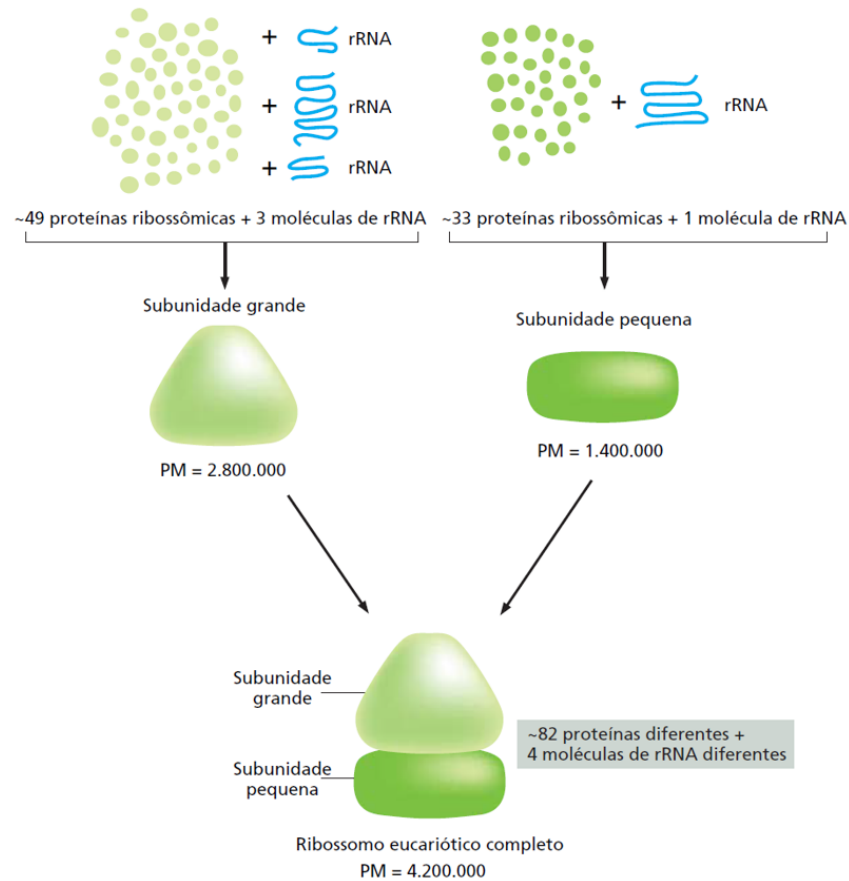
Os ribossomos são complexos ribonucleoproteicos responsáveis pela tradução do RNA mensageiro em cadeias polipeptídicas. Embora não possuam membrana, exercem função organelar essencial e ocupam posição estratégica no fluxo da informação genética, pois constituem o ponto de conversão entre informação nucleotídica e função proteica.



Fonte: Ilustração didática baseada em Alberts et al. (2017).

Ribossomos livres sintetizam proteínas destinadas ao citosol, ao núcleo, às mitocôndrias e a certos peroxissomos. Já os ribossomos associados ao retículo endoplasmático rugoso produzem proteínas que serão exportadas, incorporadas à

membrana plasmática ou direcionadas ao sistema de endomembranas. Essa diferença de destino evidencia que a localização ribossomal está intimamente relacionada ao tráfego e à função final da proteína sintetizada.

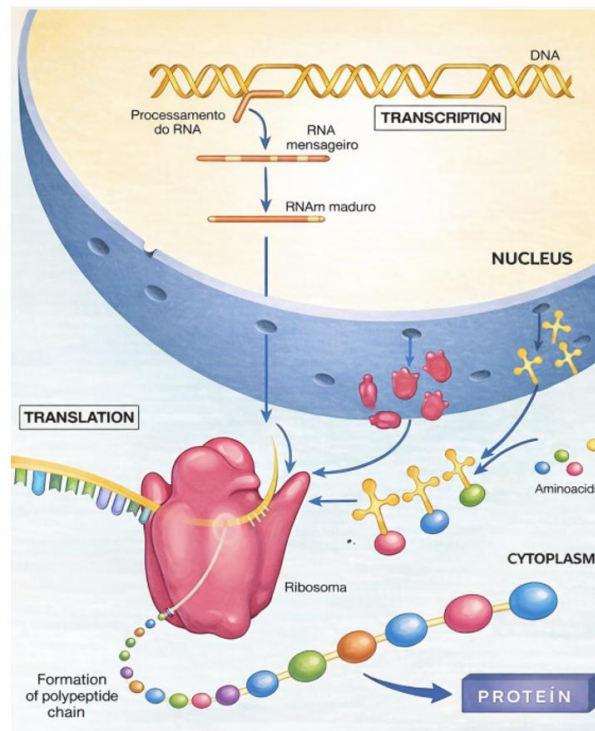


Fonte: Adaptado de Alberts B. et al. (2017).

A síntese proteica, portanto, não pode ser entendida apenas como evento isolado da tradução. Ela integra transcrição nuclear, exportação de RNAm, montagem ribossomal, reconhecimento de sequências-sinal, associação ao RER, processamento pós-traducional e triagem subsequente. Os ribossomos são, nesse sentido, peças de articulação entre núcleo, citoplasma e sistema de endomembranas.

- Ribossomos livres e ligados ao RER produzem proteínas com destinos distintos.
- A tradução é etapa central do fluxo DNA → RNA → proteína.
- Síntese proteica depende da integração entre núcleo, ribossomos e sistema de endomembranas.

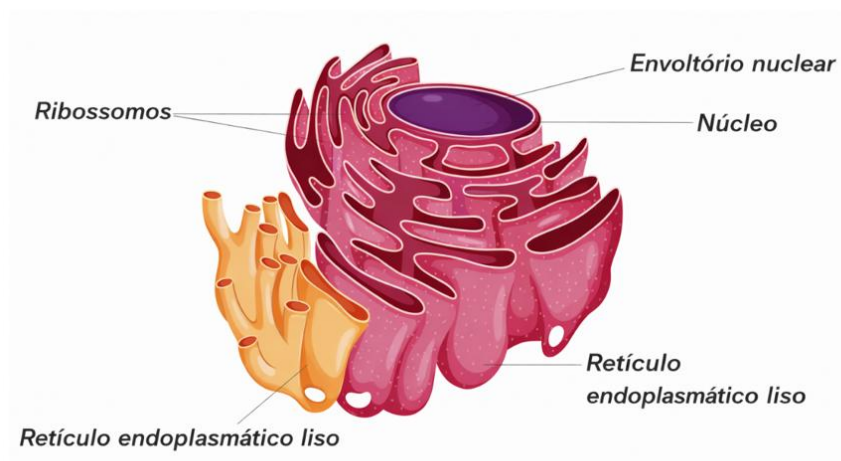




Fonte: Ilustração didática baseada em Alberts et al. (2017).

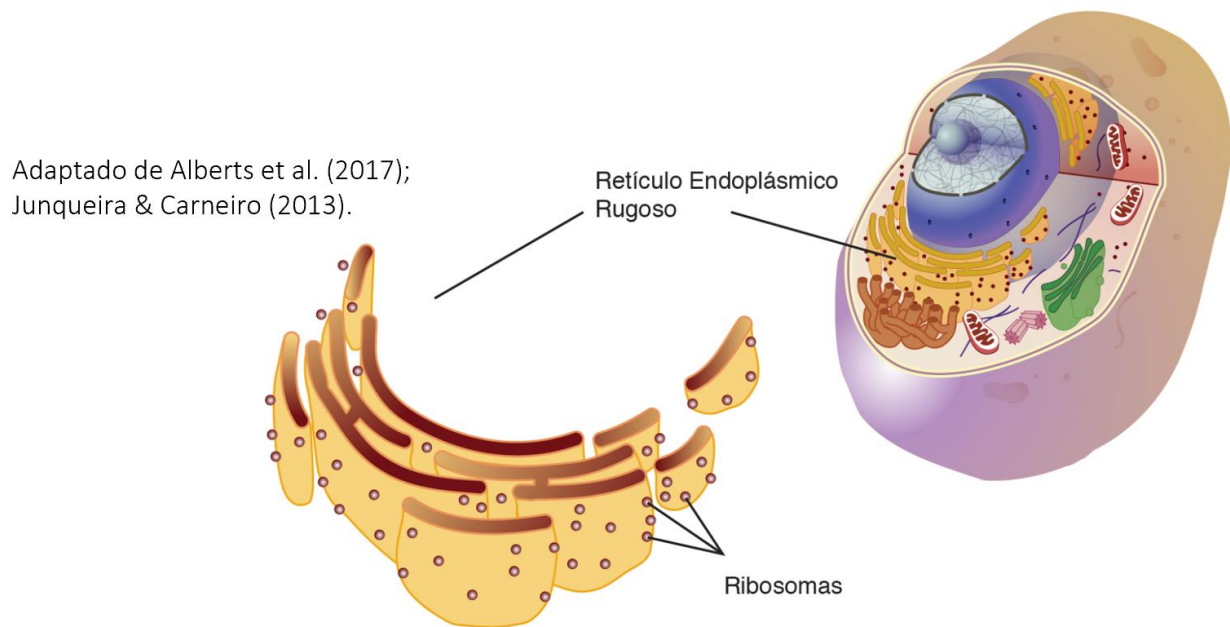
#### 4. Retículo endoplasmático: RER, REL e controle de homeostase

O retículo endoplasmático constitui uma extensa rede de túbulos e cisternas membranosas distribuída pelo citoplasma. Seu caráter contínuo e sua proximidade com o envelope nuclear refletem seu papel de interface entre expressão gênica, metabolismo e tráfego intracelular. Em termos funcionais, distingue-se em retículo endoplasmático rugoso (RER) e retículo endoplasmático liso (REL).



Fonte: Ilustração didática baseada em Alberts et al. (2017).

O RER apresenta ribossomos aderidos à sua superfície citosólica e participa da síntese de proteínas destinadas à secreção, membranas e compartimentos do sistema de endomembranas. No seu lúmen ocorrem dobramento proteico, formação de pontes dissulfeto, glicosilação inicial e controle de qualidade. Proteínas mal dobradas podem ser reconhecidas e retrotranslocadas para o citosol, onde são degradadas pelo proteassoma, no processo conhecido como ERAD. Além disso, o estresse prolongado do RE pode ativar a UPR, ajustando a capacidade de processamento ou, em condições extremas, levando à morte celular.

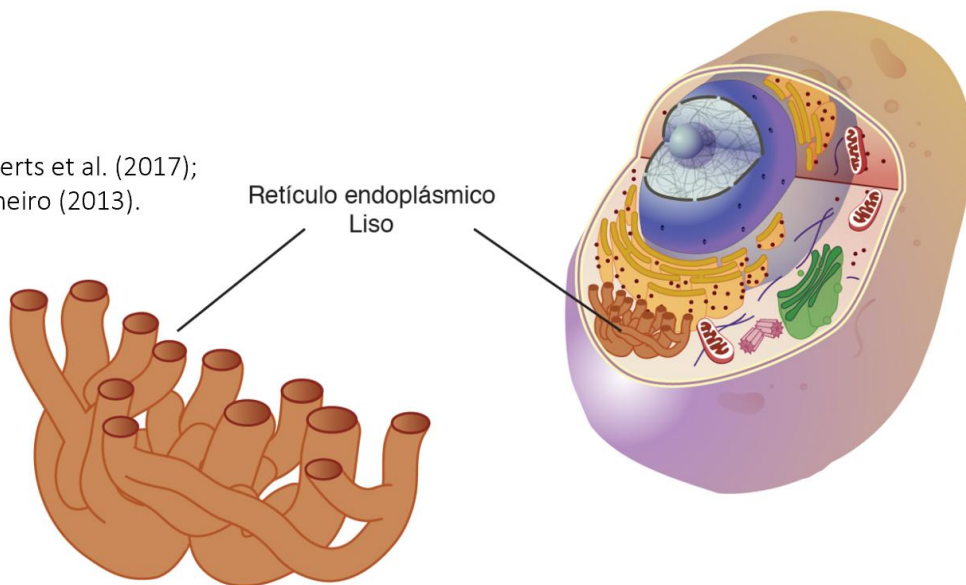


Fonte: Ilustração didática baseada em Alberts et al. (2017).

O REL, por sua vez, não apresenta ribossomos e relaciona-se sobretudo ao metabolismo lipídico, síntese de fosfolipídios e colesterol, detoxificação de xenobióticos e regulação do cálcio intracelular. Em células musculares, o retículo sarcoplasmático constitui forma especializada de REL que armazena e libera  $\text{Ca}^{2+}$  de modo coordenado durante a contração. Em conjunto, RER e REL demonstram que o retículo endoplasmático não é apenas via de passagem molecular, mas um centro de regulação metabólica e homeostase celular.

- RER sintetiza e processa proteínas do sistema secretório e de membranas.
- REL atua em metabolismo lipídico, detoxificação e homeostase de cálcio.
- UPR e ERAD revelam o papel do RE no controle de qualidade proteica.

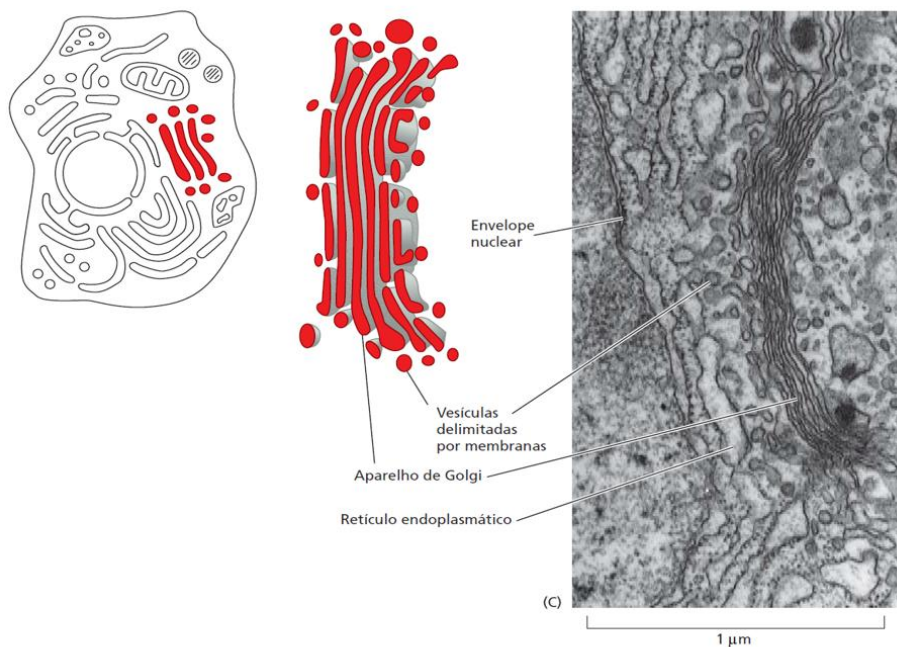
Adaptado de Alberts et al. (2017);  
Junqueira & Carneiro (2013).



Fonte: Ilustração didática baseada em Alberts et al. (2017).

## 5. Complexo de Golgi e tráfego vesicular

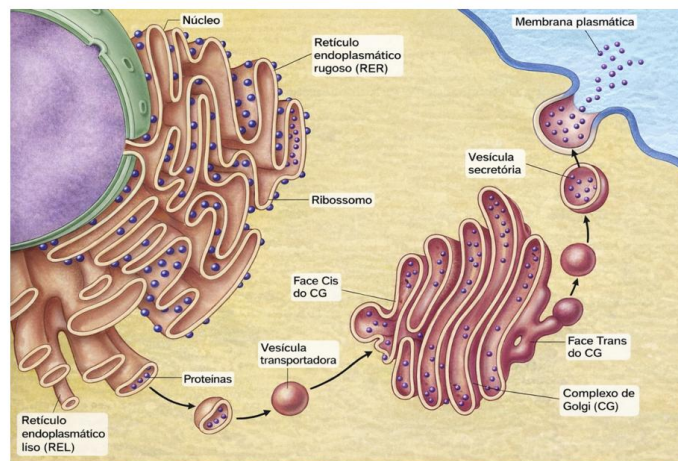
O complexo de Golgi recebe proteínas e lipídios provenientes do retículo endoplasmático e exerce papel central no processamento pós-traducional, maturação e triagem molecular. Organizado em pilhas de cisternas com polaridade funcional — face cis, região medial e face trans — o Golgi funciona como centro logístico da célula, refinando macromoléculas antes de direcioná-las ao compartimento apropriado.



Fonte: Adaptado de Alberts B. et al. (2017).



Entre as principais modificações realizadas no Golgi estão glicosilação complexa, sulfatação, fosforilação seletiva e remodelamento de oligossacarídeos. Tais alterações influenciam estabilidade, atividade, reconhecimento e destino das moléculas. A partir da rede trans-Golgi, proteínas podem seguir para lisossomos, membrana plasmática ou secreção constitutiva e regulada. Desse modo, o Golgi não apenas processa, mas decide destinos intracelulares.



**Destino das proteínas**

- ❖ Membrana plasmática
- ❖ Lisossomos
- ❖ Secreção extracelular

Fonte: Adaptado de esquemas clássicos do Aparelho de golgi descritos em Alberts et al. (2017) e Junqueira & Carneiro (2013).

**Polaridade funcional**

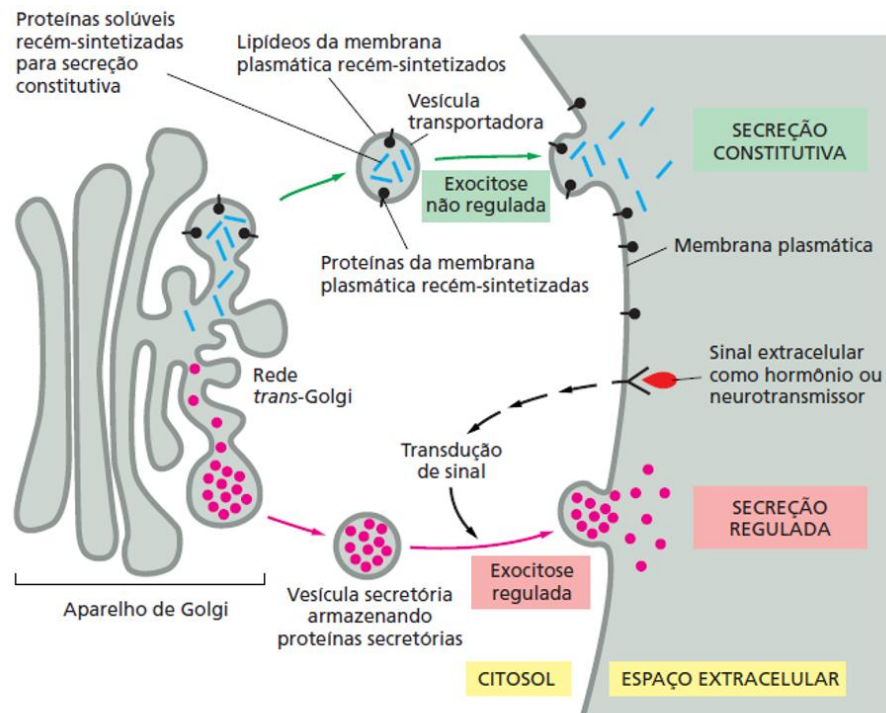
- ❖ Face cis → recebe vesículas do RE
- ❖ Cisternas mediais → modificações moleculares
- ❖ Face trans → direcionamento e secreção

**Principais modificações realizadas**

- ❖ Glicosilação e remodelamento de oligossacarídeos
- ❖ Sulfatação e fosforilação seletiva
- ❖ Formação de proteínas maduras

O tráfego vesicular associado ao Golgi depende de sinais moleculares e de maquinaria específica de ancoragem e fusão, incluindo proteínas Rab e complexos SNARE. Em células secretoras, essa via é particularmente intensa, refletindo a importância do Golgi para exocitose, renovação de membrana e biossíntese de componentes extracelulares. Alterações estruturais e funcionais do Golgi estão associadas a defeitos de glicosilação, alterações de secreção e fenótipos patológicos diversos.

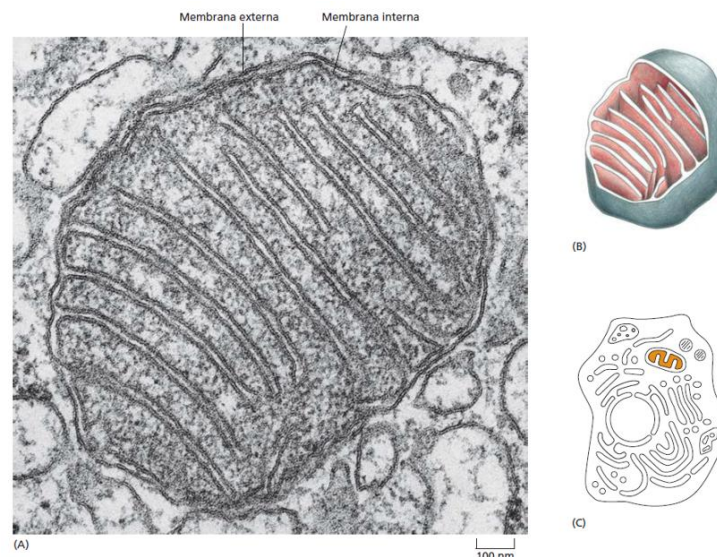
- Golgi recebe, modifica, classifica e redistribui macromoléculas do RE.
- A polaridade cis–medial–trans sustenta sua lógica funcional.
- Tráfego vesicular depende de mecanismos específicos de reconhecimento e fusão.



Fonte: Adaptado de Alberts B. et al. (2017).

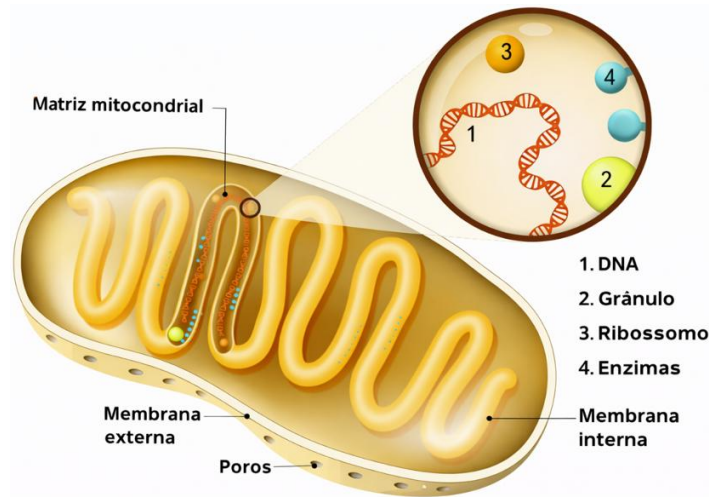
## 6. Organelas metabólicas: mitocôndrias, lisossomos e peroxissomos

Mitocôndrias, lisossomos e peroxissomos representam três eixos fundamentais da fisiologia celular: energia, degradação e metabolismo oxidativo. Embora frequentemente estudadas separadamente, essas organelas participam de uma rede interdependente que integra produção de ATP, reciclagem de componentes, controle redox e adaptação ao estresse celular.



Fonte: Adaptado de Alberts B. et al. (2017).

As mitocôndrias são organelas de dupla membrana responsáveis pela produção de ATP por fosforilação oxidativa. Sua membrana interna, organizada em cristas, abriga a cadeia transportadora de elétrons, enquanto a matriz contém enzimas do ciclo de Krebs, DNA próprio e ribossomos. Além da bioenergética, mitocôndrias regulam apoptose intrínseca, metabolismo de ácidos graxos, balanço de cálcio e produção de espécies reativas de oxigênio. A dinâmica mitocondrial de fusão e fissão reforça sua natureza altamente plástica e funcionalmente responsiva.

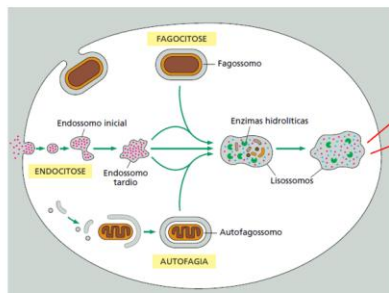


Fonte: Adaptado de esquemas clássicos de mitocôndrias descritas em Alberts et al. (2017).

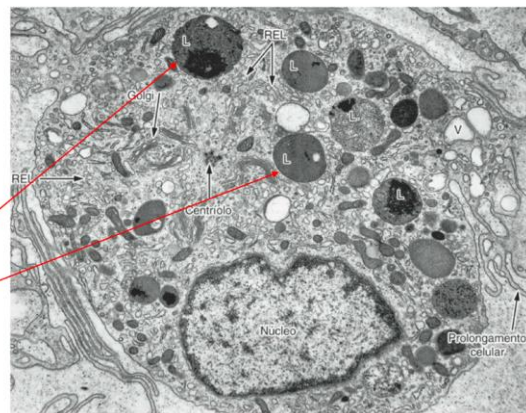
Os lisossomos constituem compartimentos ácidos ricos em hidrolases, voltados à digestão intracelular e à degradação de material endocitado ou oriundo de autofagia. Atualmente, também são reconhecidos como plataformas de sinalização, especialmente na via mTORC1, integrando estado nutricional, crescimento e metabolismo.

#### Funções principais

- ✓ Digestão intracelular
- ✓ Enzimas hidrolíticas
- ✓ pH ácido
- ✓ Formada a partir do aparelho de golgi

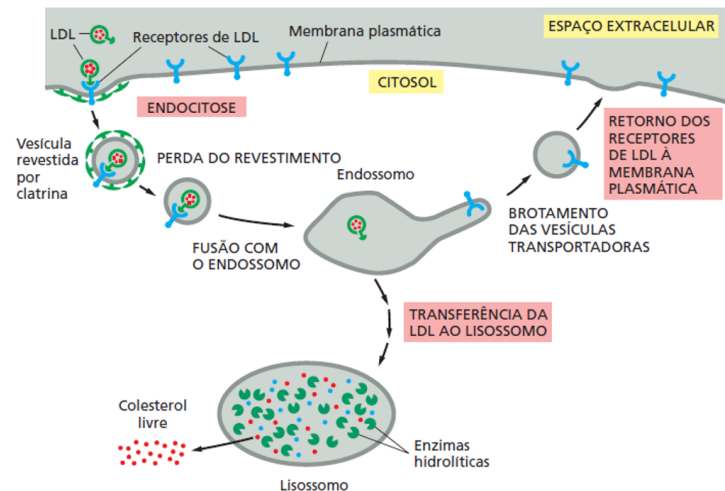
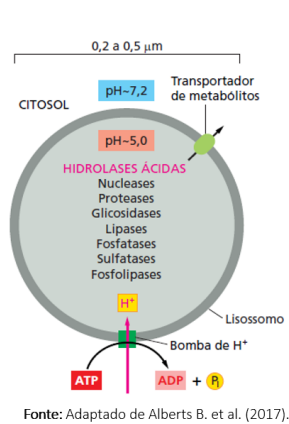


Fonte: Adaptado de Alberts B. et al. (2017).



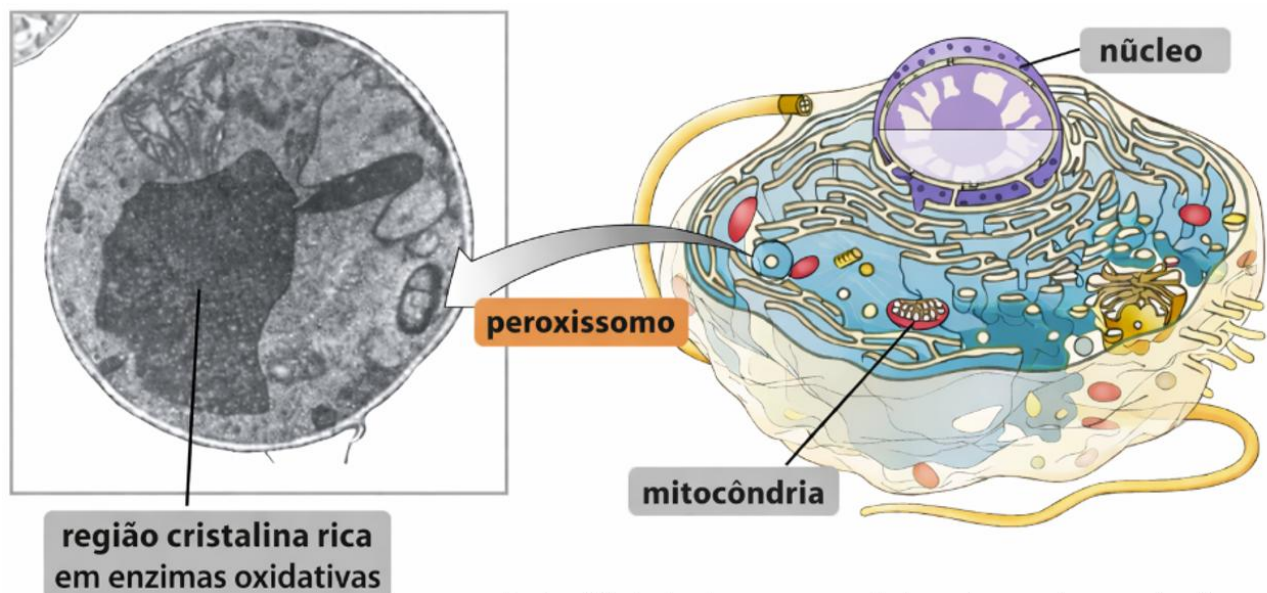
Fonte: Junqueira & Carneiro – Biologia Celular e Molecular, 9ª ed., 2012.



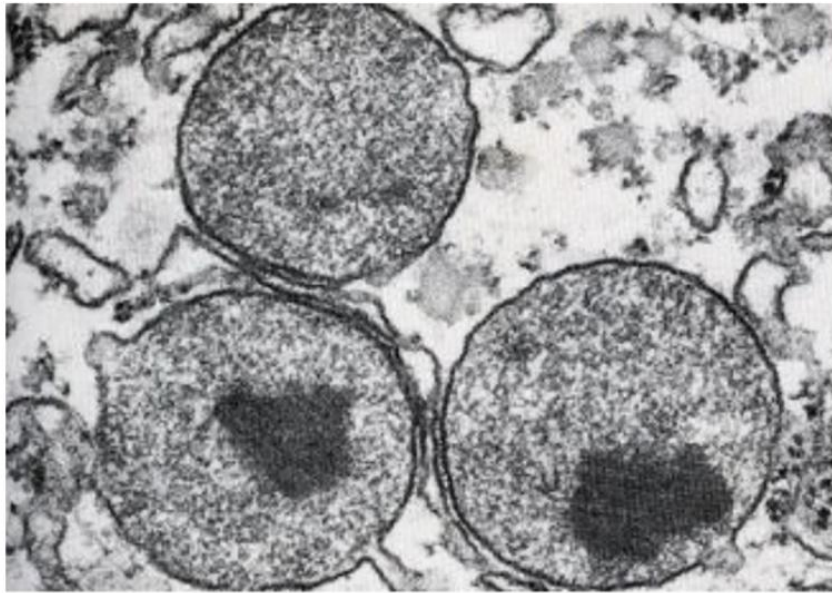


Já os peroxissomos realizam reações oxidativas,  $\beta$ -oxidação de ácidos graxos muito longos, metabolismo do  $H_2O_2$  por catalase e detoxificação. Seus contatos com mitocôndrias e RE mostram que a homeostase metabólica celular depende da cooperação entre compartimentos aparentemente distintos.

- Mitocôndrias integram energia, sinalização e morte celular programada.
- Lisossomos degradam componentes e também atuam como plataformas de sinalização.
- Peroxissomos participam da oxidação lipídica e da detoxificação celular.



Fonte: Adaptado de esquemas clássicos de peroxissomo descritas em Alberts et al (2017)

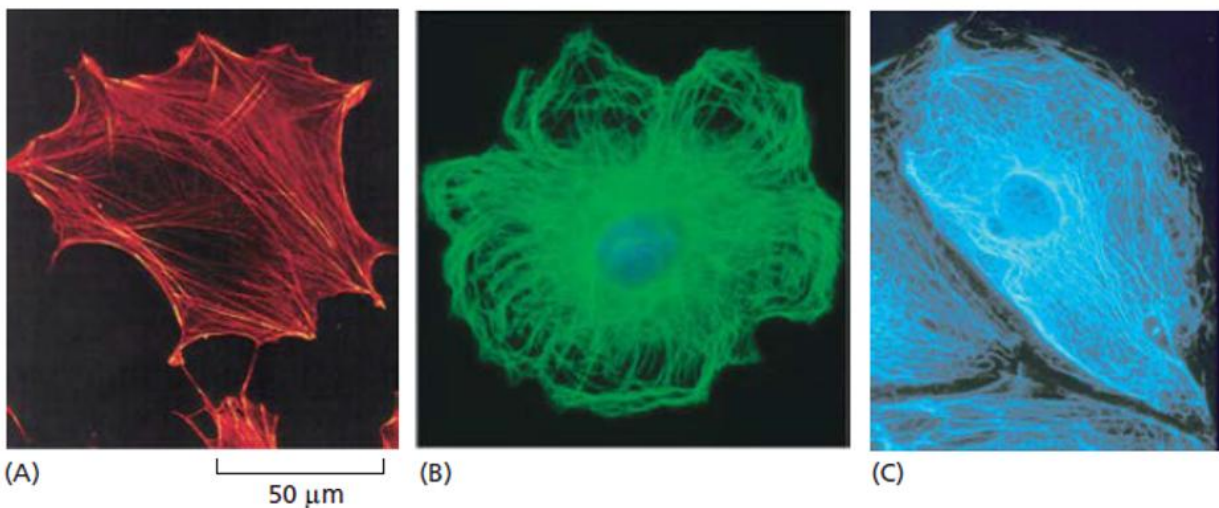


Fonte: edisciplinas.usp.br

## 7. Citoesqueleto, centríolos e organização estrutural da célula

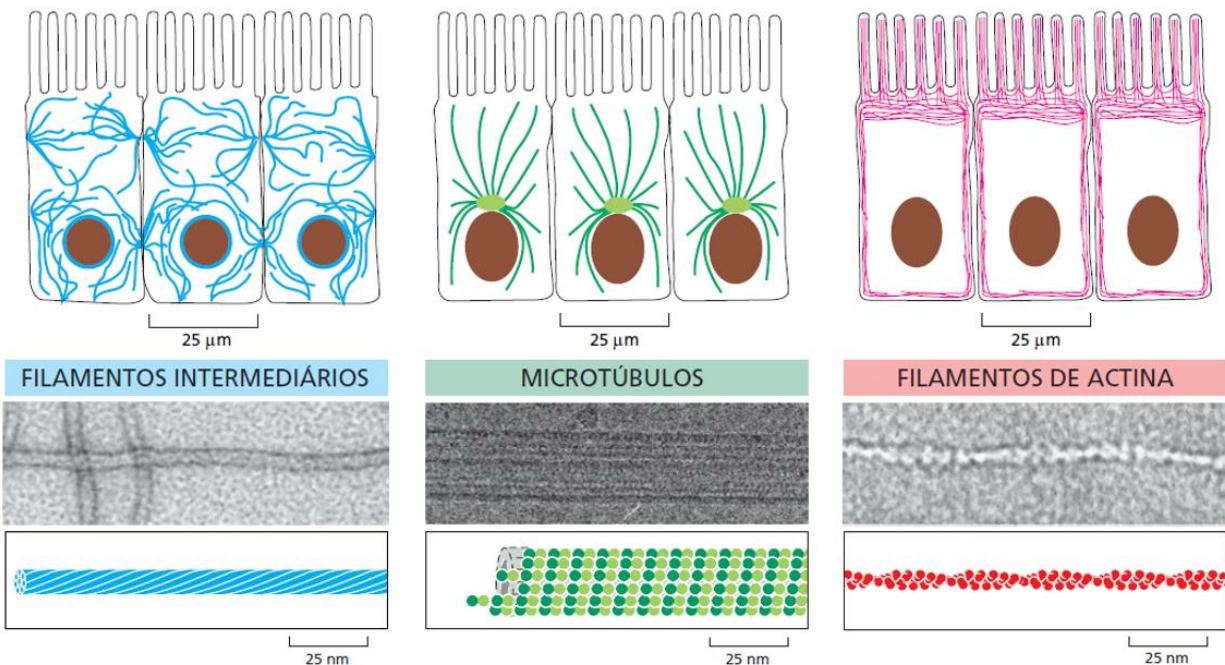
O citoesqueleto é uma rede de filamentos proteicos que sustenta a forma celular, organiza o citoplasma, posiciona organelas e possibilita movimento, transporte intracelular e divisão celular. Longe de ser mero “andaime”, ele atua como sistema dinâmico que articula estrutura e função.

Rede de filamentos proteicos que cruza o citoplasma das células eucarióticas.



Fonte: Adaptado de Alberts B. et al. (2017).

Seus principais componentes são microfilamentos de actina, filamentos intermediários e microtúbulos. Os microfilamentos participam de contração, migração e citocinese. Os filamentos intermediários conferem resistência mecânica e estabilidade estrutural. Os microtúbulos funcionam como trilhos para transporte vesicular e são essenciais na organização do fuso mitótico, na disposição de cílios e flagelos e no posicionamento geral das organelas.

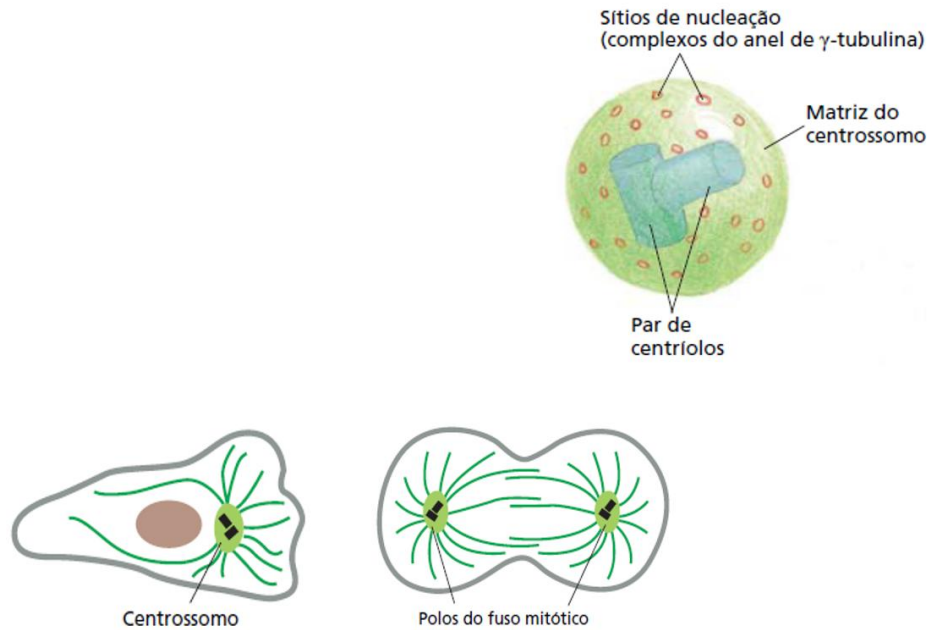


Fonte: Adaptado de Alberts B. et al. (2017).

Próximo ao núcleo, o centríolo atua como principal centro organizador de microtúbulos em células animais e contém um par de centríolos, estruturas cilíndricas compostas por nove trincas de microtúbulos. Esses elementos participam da nucleação microtubular, da formação do fuso e da origem dos corpos basais de cílios e flagelos. Em perspectiva moderna, o citoesqueleto deve ser entendido como eixo de integração mecânica e funcional entre sistema de endomembranas, núcleo, transporte intracelular e divisão celular.

- Microfilamentos, filamentos intermediários e microtúbulos possuem funções complementares.
- O citoesqueleto organiza tráfego, forma celular e divisão mitótica.
- Centríolos e centríolo orientam a arquitetura dos microtúbulos celulares.



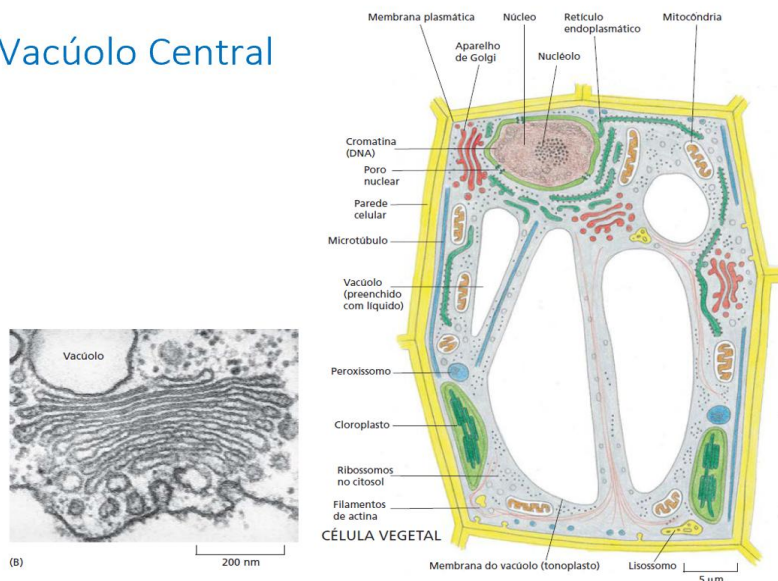


Fonte: Adaptado de Alberts B. et al. (2017).

## 8. Organelas vegetais e especificidades da célula vegetal

As células vegetais apresentam organelas e estruturas especializadas que ampliam a lógica geral da compartimentalização e conferem propriedades particulares ao metabolismo vegetal. Entre elas destacam-se vacúolo central, cloroplastos, outros plastídios, parede celular e plasmodesmos. Em conjunto, essas estruturas articulam fotossíntese, armazenamento, sustentação, comunicação intercelular e manutenção da turgidez.

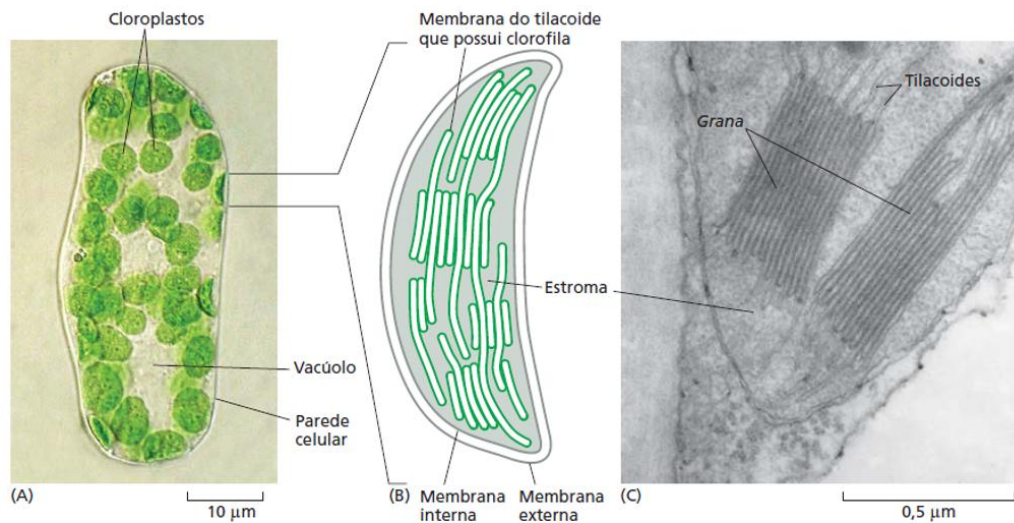
### Vacúolo Central



Fonte: Adaptado de Alberts B. et al. (2017).

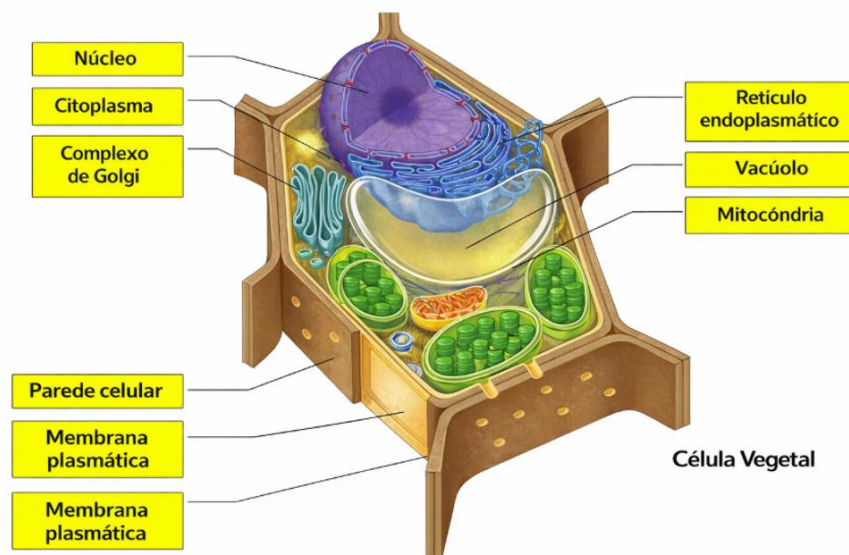


O vacúolo central pode ocupar grande parte do volume celular e atua no armazenamento de água, íons, metabólitos, pigmentos e resíduos, além de participar da detoxificação e da manutenção da pressão de turgor. Os cloroplastos, por sua vez, realizam fotossíntese e convertem energia luminosa em energia química. Com dupla membrana, tilacoides, grana, estroma, DNA plastidial e ribossomos próprios, reforçam a teoria endossimbiótica. Outros plastídios, como amiloplastos, cromoplastos e elaioplastos, cumprem funções de armazenamento e especialização metabólica.

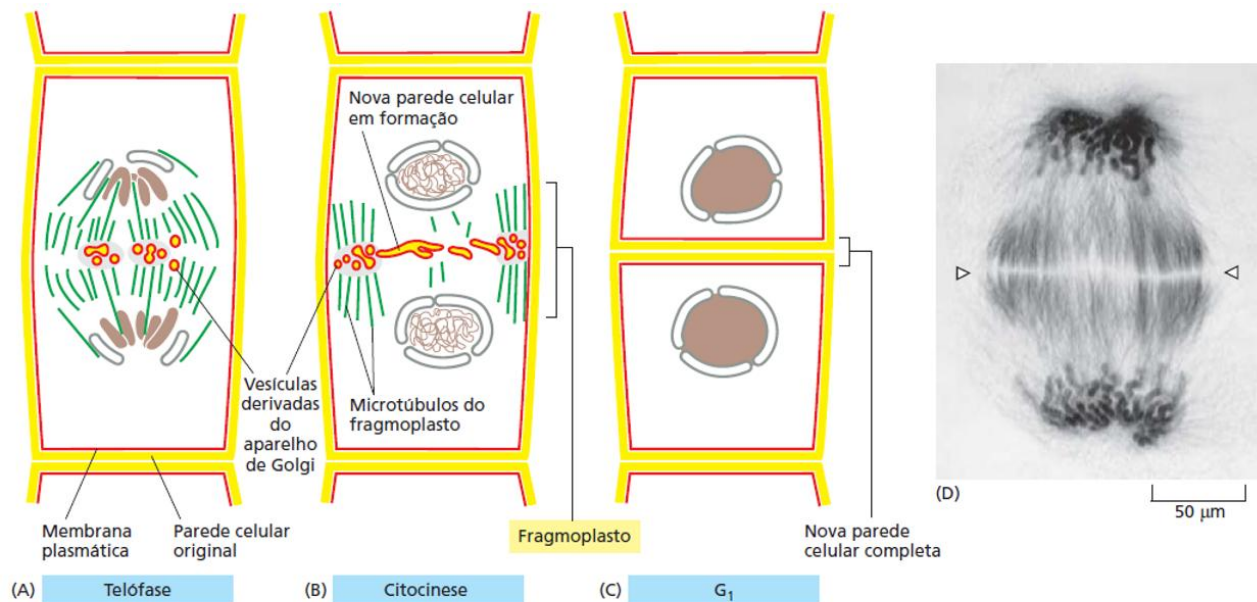


Fonte: Adaptado de Alberts B. et al. (2017).

A parede celular vegetal, composta principalmente por celulose, hemicelulose e pectinas, garante sustentação mecânica, proteção e controle do crescimento.



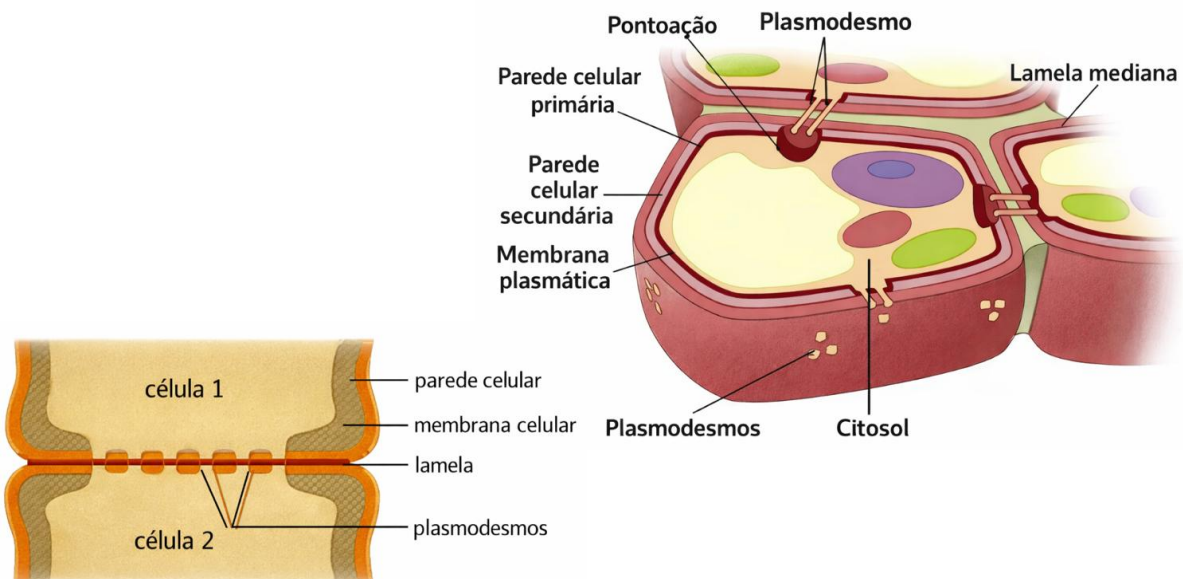
Fonte: Adaptado de esquemas clássicos de parede celular descritas em Alberts et al. (2017).



Fonte: Adaptado de Alberts B. et al. (2017).

Já os plasmodesmos conectam citoplasmas vizinhos por canais especializados que permitem troca de sinais e moléculas. Assim, a célula vegetal não apenas contém organelas exclusivas, mas opera dentro de uma lógica estrutural e funcional em que metabolismo, suporte e comunicação estão profundamente integrados.

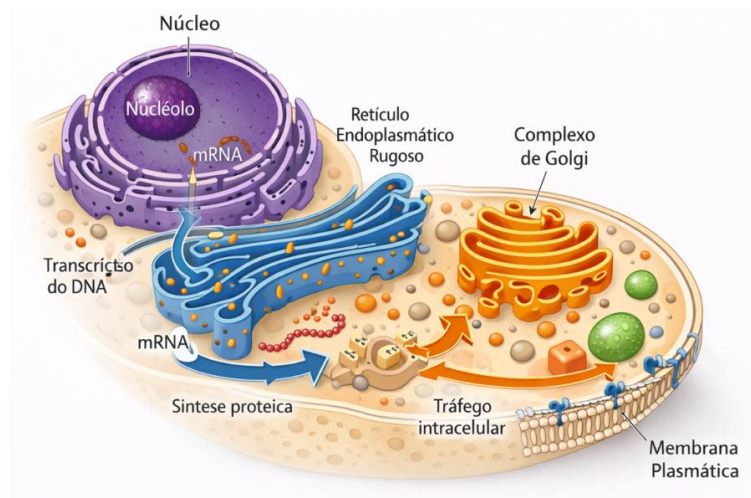
- Vacúolo central regula armazenamento, detoxificação e turgor.
- Cloroplastos e outros plastídios especializam o metabolismo vegetal.
- Parede celular e plasmodesmos articulam sustentação e comunicação célula–célula.



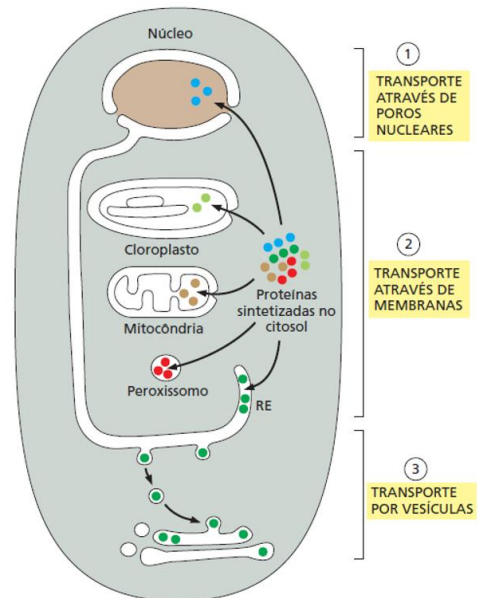
Fonte: Esquema elaborado pelo autor com base em Alberts et al. (2017).

## 9. Integração funcional das organelas

A integração funcional das organelas constitui o ponto central da interpretação moderna da célula eucariótica. O sistema de endomembranas conecta núcleo, ribossomos, RER, Golgi, vesículas, lisossomos e membrana plasmática em um fluxo contínuo de síntese, processamento, transporte e reciclagem. Paralelamente, mitocôndrias fornecem energia para sustentar esse tráfego, enquanto o citoesqueleto atua como infraestrutura mecânica e logística do citoplasma.



Fonte: Ilustração didática baseada em Alberts et al. (2017).



Fonte: Adaptado de Alberts B. et al. (2017).

Em células vegetais, essa integração se expande pela articulação entre cloroplastos, vacúolo central, parede celular e plasmodesmos. O resultado é um sistema celular no qual compartimentalização e conectividade coexistem. A eficiência não decorre do isolamento completo, mas da combinação entre especialização bioquímica e comunicação coordenada.

## 10. Atualização científica: hemifusoma e refinamento do modelo clássico

Achados recentes em tomografia crioelétrica sugeriram a existência do hemifusoma, uma estrutura formada por vesículas parcialmente fundidas, conectadas por um diafragma de hemifusão estável. Essa hipótese propõe a possibilidade de intermediários estruturados no tráfego vesicular, expandindo o modelo clássico de transporte por fusão completa e reciclagem vesicular.



# Hemifusomes and interacting proteolipid nanodroplets mediate multi-vesicular body formation

Received: 16 January 2025

Accepted: 6 May 2025

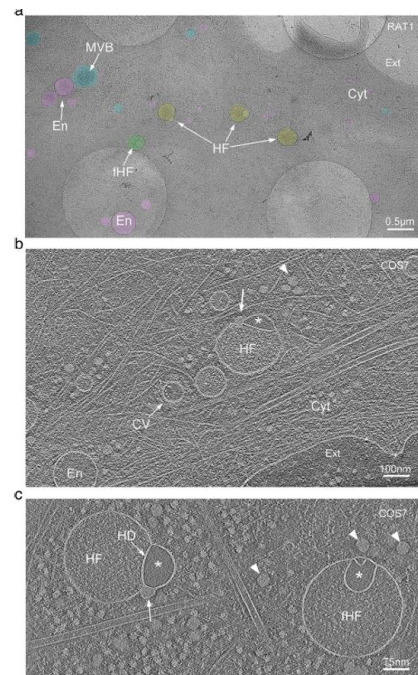
Published online: 17 May 2025

Check for updates

Amirrasoul Tavakoli<sup>1,2</sup>, Shiqiong Hu<sup>1,2</sup>, Seham Ebrahim<sup>2</sup> & Bechara Kachar<sup>1</sup>✉

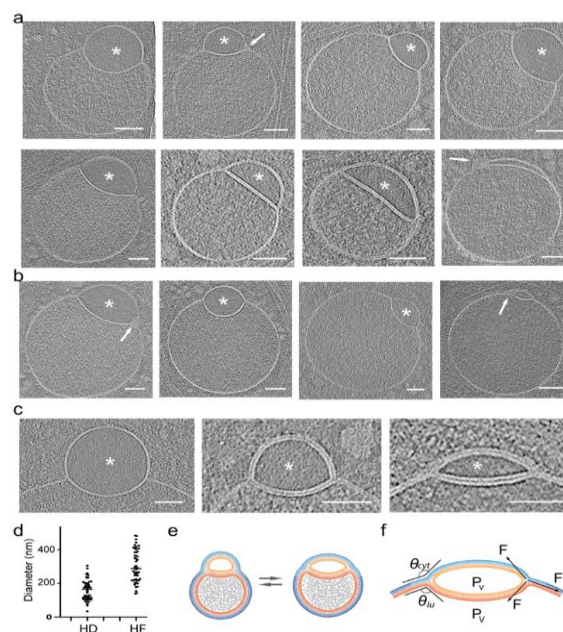
The pleiomorphic structure and dynamic behavior of cellular endomembrane systems have been extensively studied using classical electron microscopy. However, fixation and staining constraints limit the in situ visualization of transient interactions, such as membrane fusion, scission, and intraluminal vesicle formation, potentially overlooking intermediate structures like membrane hemifusion. Using in situ cryo-electron tomography in four mammalian cell lines, we identify heterotypic hemifused vesicles featuring an extended hemifusion diaphragm consistently associated with a 42-nanometer proteolipid nanodroplet (PND). We designate these vesicular organelles as “hemifusomes.” Hemifusomes constitute up to 10% of vesicular organelles at the cell periphery but do not engage in canonical endocytic pathways. These structures exhibit diverse conformations and frequently contain intraluminal vesicles. Building on the continuum of related morphologies observed, we propose that hemifusomes serve as platforms for vesicular biogenesis, mediated by the PND. These findings provide direct in situ evidence of long-lived hemifused vesicle complexes and introduce an ESCRT-independent model for multivesicular body (MVB) formation.

Tomografia crioeletrônica revela vesículas conectadas por um diafragma de hemifusão estável, sugerindo a existência do hemifusoma como intermediário estruturado no tráfego vesicular.



Fonte: Tavakoli et al., *Nature Communications* (2025).

Embora o conceito ainda esteja em consolidação, ele é cientificamente relevante porque ilustra como mesmo modelos clássicos da biologia celular permanecem abertos a refinamentos. Nesse sentido, o estudo das organelas celulares não deve ser entendido como conhecimento acabado, mas como campo em constante atualização, no qual novas técnicas de imagem e análise estrutural revelam subcompartimentos, contatos de membrana e dinâmicas antes invisíveis.



Fonte: Tavakoli et al., *Nature Communications* (2025).

## 11. Síntese final

As organelas celulares representam a base estrutural da compartimentalização e da especialização funcional das células eucarióticas. Núcleo, sistema de endomembranas, organelas metabólicas, citoesqueleto e estruturas vegetais específicas atuam de forma coordenada para sustentar síntese proteica, metabolismo energético, comunicação intracelular, divisão celular e homeostase.

A visão contemporânea mostra que essas estruturas não funcionam como compartimentos isolados, mas como uma rede dinâmica integrada por tráfego vesicular, pontos de contato de membrana, sinais metabólicos e organização mecânica do citoplasma. Assim, compreender organelas celulares significa compreender a célula como sistema integrado, cuja eficiência depende simultaneamente da especialização e da conectividade entre seus compartimentos.

## 12. Exercícios objetivos comentados

1. A compartimentalização aumenta a eficiência celular porque permite reações incompatíveis em microambientes distintos.

**Comentário:** essa separação espacial evita interferências e favorece controle bioquímico mais preciso.

2. O envelope nuclear é funcionalmente integrado ao RER.

**Comentário:** a continuidade de membranas reforça a conexão entre expressão gênica e sistema de endomembranas.

3. O RER destaca-se em células secretoras porque nele ocorre síntese e dobramento inicial de proteínas exportadas.

**Comentário:** chaperonas, glicosilação inicial e controle de qualidade tornam o RER essencial ao sistema secretório.

4. Os lisossomos não atuam apenas na digestão intracelular.

**Comentário:** também participam de sinalização metabólica, especialmente por integração com a via mTORC1.

5. O citoesqueleto tem papel central no transporte intracelular e na divisão celular.



**Comentário:** microtúbulos, actina e filamentos intermediários integram suporte, tráfego e dinâmica celular.

### 13. Atividade de fixação – avaliação formativa

Situação aplicada: uma célula eucariótica apresenta redução significativa na produção de ATP, acúmulo de proteínas mal processadas, dificuldade no transporte vesicular intracelular e alterações na organização do fuso mitótico. Com base nos fundamentos desta apostila, analise as possíveis disfunções celulares e responda:

- a) quais organelas podem estar relacionadas à redução na produção de ATP e qual mecanismo justifica essa associação;
- b) como o acúmulo de proteínas mal processadas pode ser explicado por alterações no sistema de endomembranas;
- c) de que forma o citoesqueleto participa simultaneamente do transporte intracelular e da divisão celular;
- d) como mitocôndrias e cloroplastos podem ser comparados quanto à origem evolutiva e à organização genética;
- e) por que a compartimentalização contribui para a eficiência metabólica;
- f) por que a célula deve ser compreendida como sistema integrado, e não como soma de organelas isoladas.

### 14. Referências básicas

- ALBERTS, Bruce et al. Biologia molecular da célula. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.
- CARVALHO, H. F. A célula. 2. ed. Barueri: Manole, 2009.
- DE ROBERTIS, E. M. F. Bases da biologia celular e molecular. 4. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2015.
- GRIFFITHS, A. J. F. et al. Introdução à genética. 11. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016.