

Biologia 1

Citologia

Pré-Vestibular

Teoria e Exercícios Propostos



www.editora.coc.com.br

Editora COC – Empreendimentos Culturais Ltda.
R. Deolinda, 70, esq. com a Av. Franc. Junqueira
Tel.: (16) 3603.9500 – CEP 14091-018
Jardim Macedo – Ribeirão Preto – SP



Capítulo 01. Organização Celular

1. Introdução à Biologia	9
2. Conhecendo a Célula	9
3. Células Procarióticas	13
4. Células Eucarióticas	14
4.1. Célula Animal	14
4.2. Célula Vegetal	17
4.3. Diferenças entre Células Vegetais e Animais	18

Capítulo 02. Composição Química da Célula

1. Introdução	20
2. Substâncias Inorgânicas	20
2.1. Água	20
2.2. Sais Minerais	23
3. Carboidratos	23
3.1. Apresentação	23
3.2. Classificação	24
4. Lipídios	27
4.1. Apresentação	27
4.2. Papel Biológico	27
4.3. Classificação	28
5. As Proteínas	30
5.1. Aminoácidos	30
5.2. As Reações de Síntese e Hidrólise	30
5.3. As Estruturas das Proteínas	31
5.4. Desnaturação das Proteínas	33
5.5. As Funções das Proteínas	34
6. Enzimas	34
6.1. Apresentação	34
6.2. Catálise e Ação Enzimática	34
6.3. Fatores que Modificam a Ação Enzimática	35

Capítulo 03. Ação Gênica

1. Nucleotídeos	38
2. Ácido Desoxirribonucléico	38
3. Ácido Ribonucléico	42
4. O Código Genético	43
5. Propriedades do Código Genético	45

6. Síntese de Proteínas	46
6.1. A Transferência de Informações	46
6.2. Os Ribossomos	47
6.3. Tradução	47

Capítulo 04. Membrana Celular

1. Introdução	50
2. Estrutura	50
3. Diferenciações	51
3.1. Microvilosidades	51
3.2. Interdigitações	51
3.3. Desmossomos	51
4. Transporte	52
5. Transporte Passivo	52
5.1. Osmose	52
5.2. Difusão	53
5.3. Difusão Facilitada	54
6. Osmose na Célula Vegetal	54
6.1. Introdução	54
6.2. As Relações Hídricas da Célula Vegetal	54
7. Transporte Ativo	56

Capítulo 05. Secreção e Digestão Celular

1. Complexo Golgiense	58
1.1. Introdução	58
1.2. Estrutura	58
1.3. A Secreção Celular	59
1.4. Outras Funções	60
2. Lisossomos	61
2.1. Introdução	61
2.2. Englobamento de Substâncias	62
2.3. A Digestão Intracelular	62

Capítulo 06. Bioenergética

1. Introdução	65
2. Energia para os Seres Vivos	65
3. ATP: A Molécula Energética	66
4. Fermentação	67
4.1. Fermentação Alcoólica	68
4.2. Fermentação Láctica	69

5. Respiração Aeróbica	70
5.1. As Mitocôndrias	70
5.2. Etapas	71
6. Fotossíntese	75
6.1. Os Cloroplastos	75
6.2. Os Pigmentos Fotossintetizantes	76
7. Fatores Limitantes da Fotossíntese	77
7.1. Fatores Internos	77
7.2. Fatores Externos	77
8. Ponto de Compensação Luminosa	79
9. Etapas da Fotossíntese	80
9.1. Etapa Fotoquímica	80
9.2. Etapa Química	82

Capítulo 07. Núcleo e Divisão Celular

1. Núcleo Interfásico	83
2. Cromatina	85
3. Atividades Fisiológicas	85
4. Cromossomos	86
5. A Importância da Divisão Celular	89
6. O Ciclo Celular	91
7. Mitose	92
7.1. Introdução	92
7.2. Fases	92
7.3. Mitose na Célula Vegetal	93
8. Meiose	94
8.1. Importância e características	94
8.2. Fases	96
8.3. Comparação entre Mitose e Meiose	99
8.4. Variação da Quantidade de DNA na Mitose	99
8.5. Variação da Quantidade de DNA na Meiose	100
Leitura Complementar	100



Capítulo 01. Organização Celular

1. Introdução à Biologia

A Biologia é a ciência que estuda a vida nos vários aspectos, desde formas microscópicas, como bactérias, protozoários, algas e fungos, até formas macroscópicas como os mamíferos e plantas, como roseira, mangueira, abacateiro entre muitas outras.

O interesse pelo estudo da vida é muito antigo, sendo registrado em vários momentos da história da humanidade com Aristóteles, Darwin, Pasteur, Mendel, Morgan, Watson e Crick, entre muitos outros cientistas que ficaram perpetuados dentro das ciências biológicas.

Como a quantidade de informações sobre os seres vivos é muito grande, dividimos a Biologia didaticamente em diferentes áreas, procurando facilitar o ensino e a pesquisa dentro das ciências biológicas.

A seguir, destacamos as principais áreas da Biologia e seus interesses principais de estudo.

- **Citologia** – Estuda a organização celular, tipos celulares, funcionamento, divisão celular etc.

- **Histologia** – Estuda a organização dos tecidos e suas especializações.

- **Embriologia** – Estuda o desenvolvimento embrionário, os tecidos embrionários, suas especializações, os anexos embrionários etc.

- **Evolução** – Estuda as evidências da evolução biológica, as teorias evolucionistas, o processo de especiação etc.

- **Genética** – Estuda os mecanismos hereditários, as leis de Mendel, os mapas cromossômicos, as mutações, a genética de populações etc.

- **Zoologia** – Estuda os grupos animais, suas características morfológicas e anatômicas, os diferentes habitats ocupados, os processos reprodutivos etc.

- **Fisiologia animal** – Estuda o funcionamento dos diferentes sistemas, como o digestivo, o respiratório, o circulatório, o excretor, entre outros, nos animais.

- **Botânica** – Estuda os grupos vegetais, aspectos reprodutivos, habitats, adaptações vegetais ao ambiente etc.

- **Fisiologia vegetal** – Estuda o funcionamento do corpo do vegetal como trocas gasosas, fotossíntese, condução de seiva, movimentos vegetais, hormônios vegetais etc.

- **Ecologia** – Estuda o ambiente em sua estrutura e funcionamento.

Além das áreas citadas, de acordo com o interesse de ensino e pesquisa, outras áreas são criadas, como a **microbiologia**, a **paleontologia**, a **botânica econômica**, a **parasitologia**, a **imunologia** etc.

2. Conhecendo a Célula

A Citologia é a área da Biologia que estuda a célula em sua organização, morfologia, funcionamento, composição química e os mecanismos de **divisão celular**.

Dizemos que todos os seres vivos são formados por células, com exceção dos **vírus**, sendo conhecidos desde formas **unicelulares** até formas **pluricelulares**.

O organismo unicelular tem a célula como sendo o próprio organismo, isto é, a única célula é responsável por todas as atividades vitais, como alimentação, trocas gasosas, reprodução, liberação de excretas etc.

O organismo pluricelular, que é formado por muitas células (milhares, milhões, até trilhões de células), apresenta o corpo com **tecidos**, **órgãos** e **sistemas**, especializados em diferentes funções vitais. As células dos pluricelulares diferem quanto às especializações e de acordo com os tecidos a que elas pertencem.

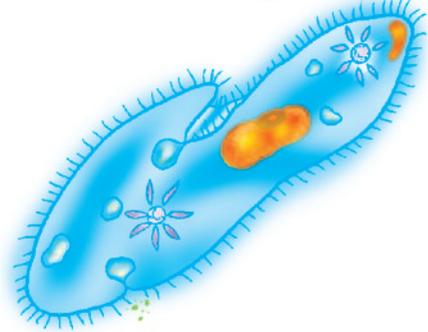
Podemos então considerar, para o organismo unicelular ou pluricelular, que a célula é a unidade estrutural e funcional dos seres vivos.

Organismos unicelulares

Bactérias



Protozoário – paramécio



Organismos pluricelulares



Os organismos unicelulares e pluricelulares têm a célula como unidade estrutural e funcional.

Na classificação dos seres vivos, são utilizados critérios de organização e fisiologia celular para diferenciar os diferentes grupos (reinos).

Quanto à organização celular, as células podem ser **procarióticas** ou **eucarióticas**.

As células procarióticas apresentam organização mais simples, sem núcleo organizado e sem organelas membranosas, como retículo endoplasmático, complexo de Golgi, mitocôndria, entre outras. Possuem célula procariótica os organismos do reino **Monera** (bactérias e cianobactérias).



As células eucarióticas apresentam maior complexidade com núcleo organizado em **carioteca, nucleoplasma, cromatina e nucléolo**, além do citoplasma com organelas organizadas com sistemas de membranas, como **complexo de Golgi, retículo endoplasmático, mitocôndria, cloroplasto**, entre outras.

Podemos ainda considerar a fisiologia celular, o que caracteriza e diferencia a célula autotrófica de célula heterotrófica.

A célula autotrófica é auto-suficiente em

termos nutricionais, podendo ser **fotosintetizante** ou **quimiossintetizante**. São autotróficas as células vegetais, das algas e de alguns tipos de bactérias.

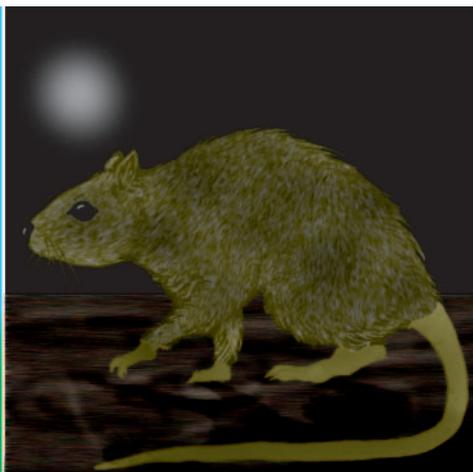
A célula heterotrófica não apresenta a auto-suficiência, sendo dependente da aquisição de nutrientes extracelular por absorção direta ou absorção após um processo digestivo por **ação enzimática**.

São heterotróficas as células animais, dos fungos, dos protozoários e de muitos tipos de bactérias.

Vegetal – Autótrofo



Animal – Heterótrofo



Os vegetais possuem células fotossintetizantes e os animais possuem células heterotróficas.

Célula – uma unidade de eficiência na estrutura e funcionamento dos seres vivos.

O sucesso da organização celular e da fisiologia celular está relacionado com várias características e propriedades dos diferentes componentes celulares; entre eles podemos destacar:

1) **alto teor de água:** a célula é completamente ocupada por água, o que facilita a dispersão de substâncias e a ocorrência de reações químicas;

2) **compartimentação:** um vasto sistema de membranas forma numerosos compartimentos, isolando os processos metabólicos

entre si, estabelecendo um fluxo organizado dentro da célula e oferecendo uma superfície desproporcionalmente grande em relação ao volume celular;

3) **presença de material genético:** a célula contém no seu interior as informações necessárias (DNA) para criar e manter sua própria organização e para coordenar as atividades que realiza.

4) **presença de enzimas:** o material genético determina a produção de enzimas, catalisadores que permitem a ocorrência de reações que, sem eles, levariam milhares de anos para ocorrer.

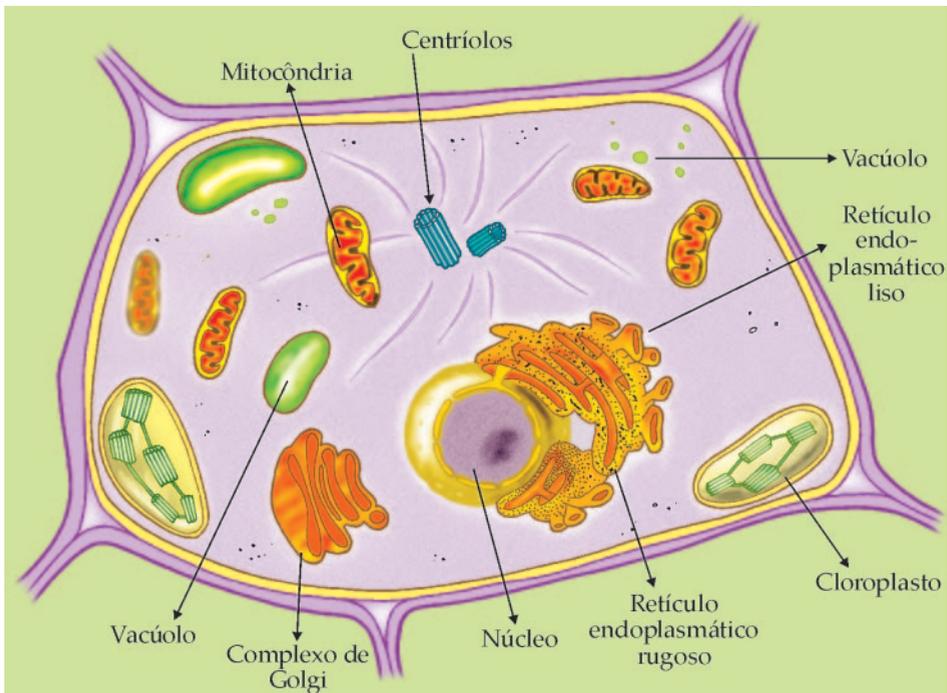
5) **economia:** o rendimento dos processos celulares é elevado (parcela da energia consumida convertida em trabalho). As moléculas orgânicas, com as quais as células lidam, são bastante versáteis, isto é, podem desempenhar vários papéis funcionais. Com poucos tipos de substâncias, as células se mantêm. Além disso, muitas substâncias que são resíduos de um processo podem ser empregadas como matéria-prima de outro, fazendo com que a produção global de resíduos seja pequena.

6) **interação com o meio:** as células interagem intensamente com o ambiente onde estão. Um ser unicelular interage com o meio onde vive, assim como as células de um ser pluricelular interagem com o líquido intercelular existente entre elas. O ser vivo deve garantir às células um meio intercelular

estável e confortável. As células são as responsáveis por mantê-lo assim, e são as beneficiárias dessa estabilidade.

Embora usada como modelo para estudo, uma **célula típica**, contendo todas as estruturas possíveis, não existe. Organismos unicelulares são muito distintos entre si, bem como uma célula muscular é diferente de um neurônio. Todavia, todas as células possuem alguns componentes: uma **membrana celular**, um **citoplasma** contendo organelas e, geralmente, um **núcleo**.

Todas têm, ainda, algumas propriedades funcionais: podem **obter e transformar energia**; contêm macromoléculas complexas, como **proteínas** e **ácidos nucleicos**; podem **sintetizar substâncias** e têm a **capacidade de se dividir**.



Esquema de uma célula ideal contendo todas as organelas e estruturas dos tipos padrões intracelulares dos seres vivos.



Os vírus não têm estrutura celular e só se reproduzem no interior de células. **Clamídias** e **rickettsias** são células incompletas e, também, parasitas intracelulares obrigatórios. Diferem dos vírus por 3 motivos:

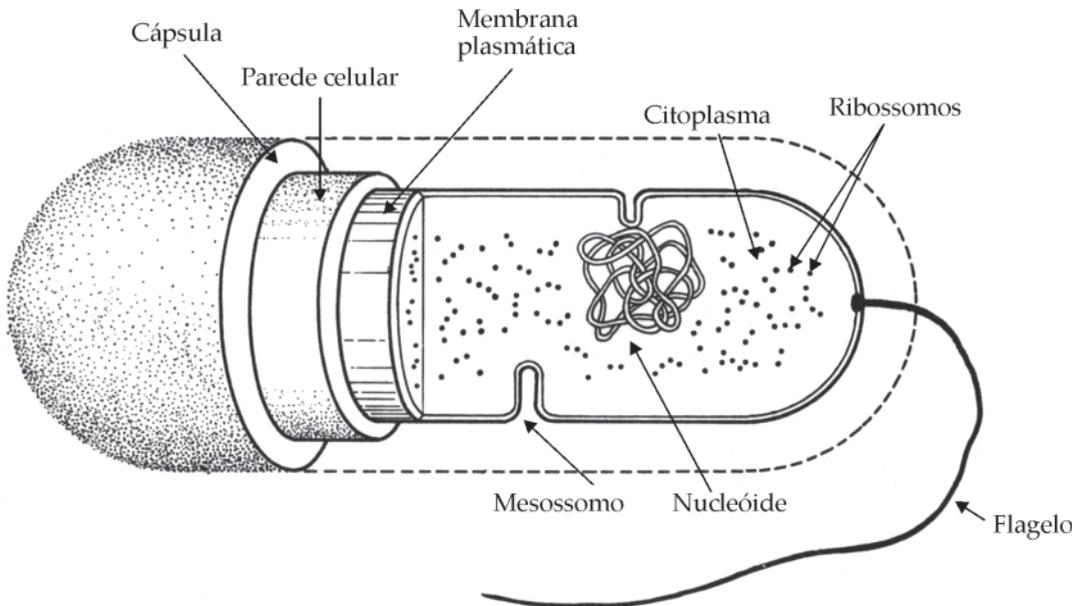
- 1) possuem DNA e RNA, enquanto os vírus têm DNA ou RNA;
- 2) possuem uma membrana envoltória com alguma capacidade de regular as trocas entre o meio interno e o externo;
- 3) possuem algumas organelas necessárias aos processos de síntese e de reprodução.

3. Células Procarióticas

(Do latim *pro*, primitivo, e *cario*, núcleo)

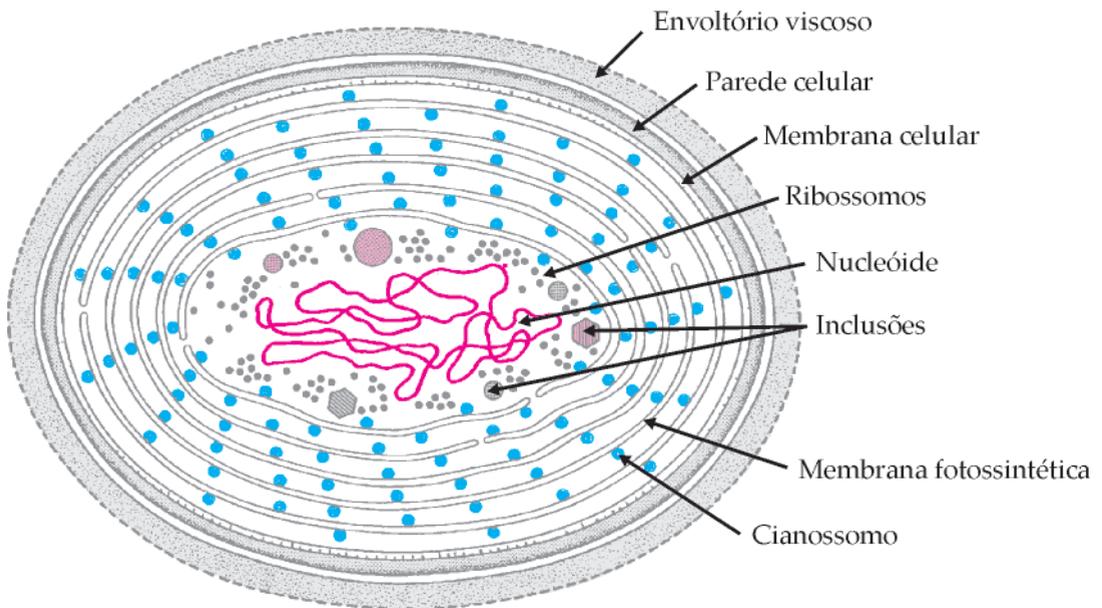
Caracterizam-se pela ausência de um envoltório nuclear, estando os cromossomos imersos no citoplasma. Nessas células, o sistema de membranas se resume à membrana plasmática. Os seres procariontes compreendem as **bactérias** e as **cianobactérias (algas azuis)**.

Tomando a célula bacteriana como modelo de organização procariótica, podemos notar, em alguns tipos, formato de um bastão com 2 μm de comprimento. Presença de uma membrana plasmática e, externamente, uma **parede celular** rígida. Ribossomos aderidos à face interna da membrana plasmática e às moléculas de RNA mensageiro. Contém cromossomos circulares, presentes na região do hialoplasma. Esses cromossomos possuem DNA, mas não possuem proteínas. A membrana plasmática possui uma invaginação chamada **mesossomo**, onde se concentram enzimas respiratórias; parece desempenhar algum papel na divisão celular.



Organização procarionte de uma bactéria

Nas cianobactérias fotossintetizantes, encontram-se dobras da membrana associadas à clorofila. São as **lamelas fotossintetizantes**.



Organização celular procariótica de uma cianobactéria

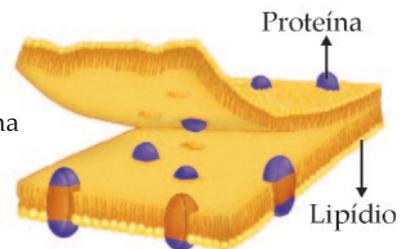
4. Células Eucarióticas

Estas células possuem um núcleo delimitado por um sistema de membranas (a **membrana nuclear** ou **carioteca**), nitidamente separado do citoplasma. Têm um rico sistema de membranas que formam numerosos compartimentos, separando entre si os diversos processos metabólicos que ocorrem na célula. Como modelo de células eucariontes, veremos uma célula animal e uma célula vegetal.

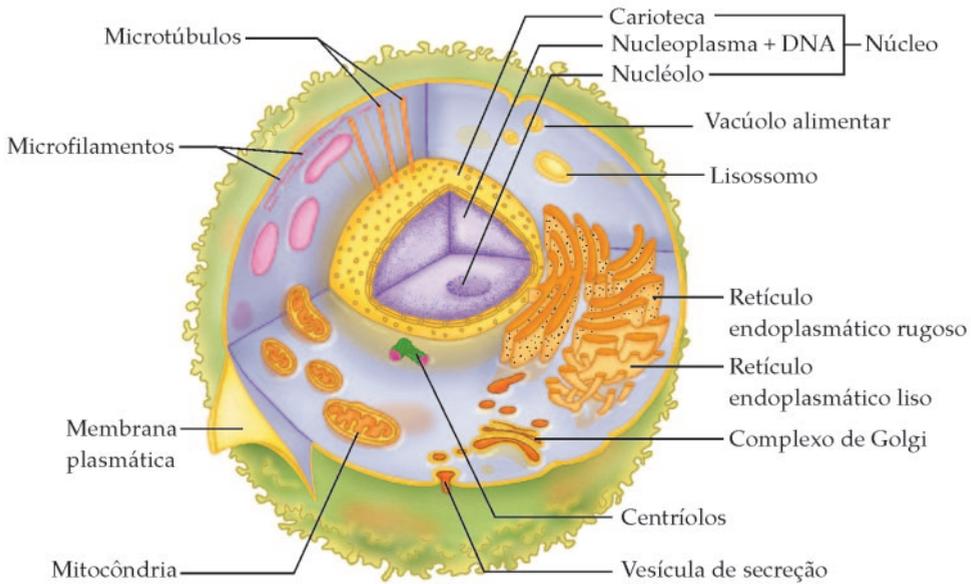
4.1. Célula Animal

Como todas as células, possui uma **membrana celular** (**membrana plasmática** ou **plasmalema**). Sua espessura é de 7,5 nanômetros, o que a torna visível somente ao microscópio eletrônico, no qual aparece como um sistema de três camadas: duas escuras, eletrodensas, e entre elas uma camada clara. Esta estrutura trilaminar é chamada **unidade de membrana**.

Sua composição química é **lipoprotéica**, sendo 75% de proteínas e 25% de gorduras. A membrana controla a entrada e saída de substâncias da célula, mantendo quase constante a composição do seu meio interno. Possui **permeabilidade seletiva**, permitindo a livre passagem de algumas substâncias e não de outras. Engloba partículas (**endocitose**) por **fagocitose** (partículas grandes) ou por **pinocitose** (partículas pequenas e gotículas).



Organização da membrana celular

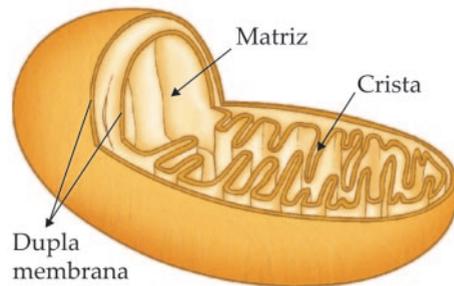


Organização eucarionte da célula animal.

O **citoplasma** é constituído por uma substância fundamental amorfa – o **hialoplasma** ou **citossol** – que contém água, proteínas, íons, aminoácidos e outras substâncias. A parte proteica pode sofrer modificações reversíveis em sua estrutura, aumentando ou diminuindo sua viscosidade, alternando de **gel** (mais denso) para **sol** (mais fluido) ou vice-versa.

Mergulhados no hialoplasma estão os **organóides** e os **grânulos de depósito** de substâncias diversas, como glicogênio ou gorduras. Os organóides possuem funções específicas, sendo alguns revestidos por membranas e outros, não.

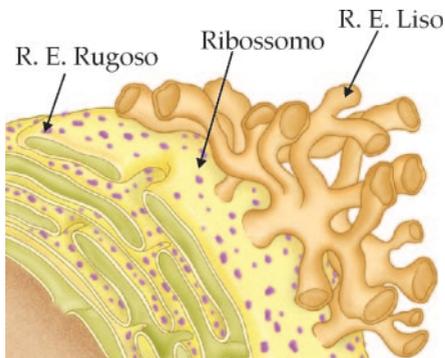
As **mitocôndrias** são alongadas ou esféricas, revestidas por dupla membrana lipoprotéica. Possuem DNA próprio e capacidade de autoduplicação. Liberam energia de moléculas orgânicas, como a glicose, transferindo-a para moléculas de **ATP**. A energia do ATP é empregada pelas células na realização de trabalho: síntese de substâncias, movimento, divisão celular etc. Os processos de oxidação da glicose constituem a **respiração celular aeróbica**, dependente de oxigênio.



Mitocôndria

O **retículo endoplasmático (RE)** é formado por um extenso sistema de túbulos e vesículas revestidas por membrana lipoprotéica. As cavidades deste sistema são chamadas **cisternas** do RE. Algumas partes têm ribossomos aderidos (**RE rugoso** ou **granular**, também chamado **ergastoplasma**) e outras partes não os possuem (**RE liso**). As funções dos dois tipos são diferentes, e a proporção de cada um depende dos papéis metabólicos da célula. O RE permite a **distribuição de substâncias** pelo interior da célula. O RE rugoso é sede de intensa **síntese de proteínas**. O RE liso **produz lipídios**, e algumas substâncias ligadas a ele podem **metabolizar substâncias tóxicas**, inativando-as.

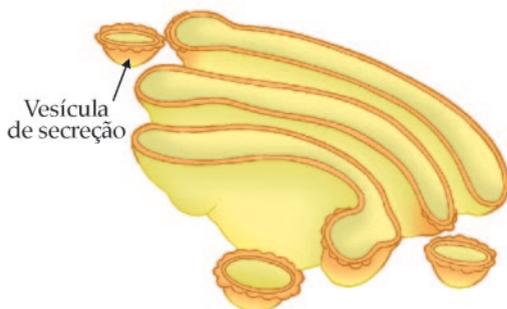
Os **ribossomos** são pequenas partículas formadas por proteínas e por RNA ribossômico. São as organelas responsáveis pela **síntese de proteínas**.



O **complexo de Golgi** é constituído por vesículas achatadas ou esféricas, empilhadas e revestidas por membrana lipoprotéica. Nas células animais, geralmente está próximo do núcleo. Relaciona-se com a **concentração e o armazenamento** de substâncias produzidas pelas células e com a transferência destas substâncias para grânulos nos quais serão eliminadas da célula. Participam, portanto, da **secreção celular**.

Revestidos por membrana lipoprotéica, os **lisossomos** são pequenas vesículas esféricas cheias de enzimas digestivas. Sua função básica é a **digestão celular**, que envolve dois processos:

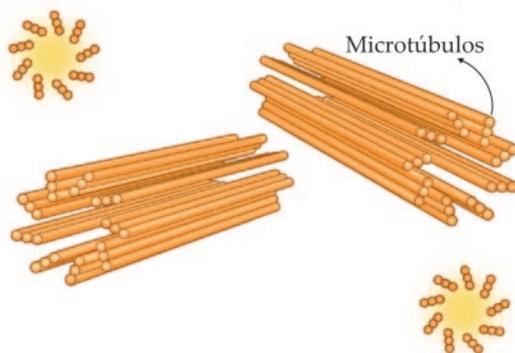
- 1) digestão de partículas alimentares englobadas pela célula (**digestão heterofágica**);
- 2) digestão de organelos inativos ou em degeneração (**digestão autofágica**).



Complexo de Golgi

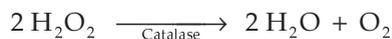
Próximo ao núcleo, encontra-se um par de **centríolos**. Cada um é formado por um cilindro constituído por substância amorfa e microtúbulos. Tem capacidade de autoduplicação. Participa da **divisão celular**.

Em algumas células, observam-se **cílios** e **flagelos** vibráteis. Os cílios são pequenos e numerosos, enquanto os flagelos são longos, havendo apenas um ou alguns por célula. Na base dos cílios e flagelos, está o **corpúsculo basal**, de estrutura idêntica à dos centríolos.



Centríolos

Os **peroxissomos** ou **microcorpos** são pequenas vesículas que contêm enzimas oxidativas. Possuem, também, quase toda a catalase da célula, enzima que degrada a água oxigenada.



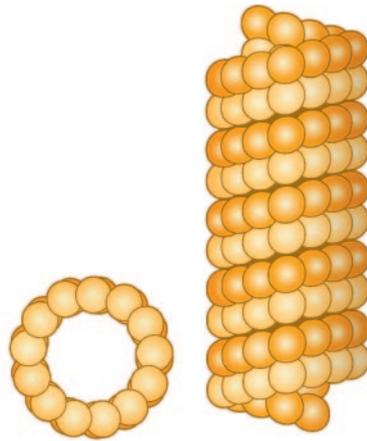
Participam, ainda, da eliminação de outras substâncias tóxicas, como o etanol e o ácido úrico.

Os **microtúbulos** e os **microfilamentos** são estruturas filamentosas constituídas por proteínas. Encontram-se no interior dos cílios e de flagelos ou dispersos pelo citoplasma. Participam dos **movimentos celulares** e da manutenção da **arquitetura celular**, formando o citoesqueleto.



Os **depósitos** ou **inclusões citoplasmáticas** diferem dos organóides por não possuírem organização nem sistemas enzimáticos específicos. São depósitos intracelulares de substâncias de reserva (glicogênio ou gordura), de pigmentos (melanina) ou de cristais.

O **núcleo**, controlador da atividade celular, é bem individualizado e delimitado por uma dupla membrana, a **carioteca** ou **membrana nuclear**. Seu interior é ocupado pela **cariolinfa**, na qual está mergulhado o material genético formado por DNA associado a proteínas, a **cromatina**. Observa-se, ainda, um corpúsculo denso, esférico, chamado **nucléolo**.

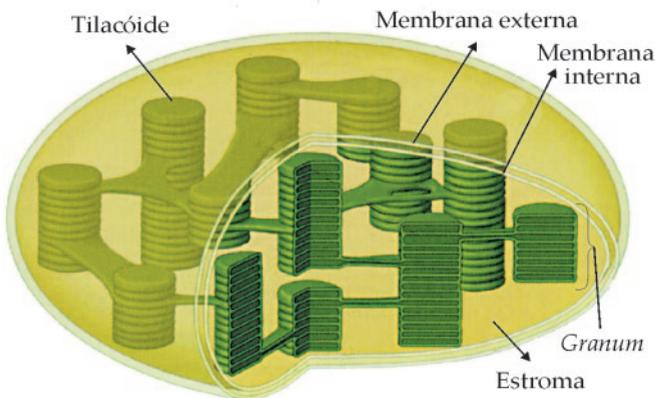


Organização do microtúbulo.

4.2. Célula Vegetal

A organização eucariótica da célula vegetal é muito parecida com a da célula animal, apresentando muitas organelas comuns, como mitocôndrias, retículo endoplasmático, complexo de Golgi, ribossomos, entre outras.

A célula vegetal apresenta estruturas típicas, como a **membrana celulósica** que reveste externamente a célula vegetal, sendo constituída basicamente de celulose.



Cloroplasto

Uma outra estrutura que caracteriza a célula vegetal é o cloroplasto, organela na qual ocorre a **fotossíntese**.

Na verdade, os cloroplastos são, entre outras, organelas que podem ser classificadas como cromoplastos, pois são organelas que possuem pigmentos (substâncias coloridas) que absorvem energia luminosa para a realização da fotossíntese.

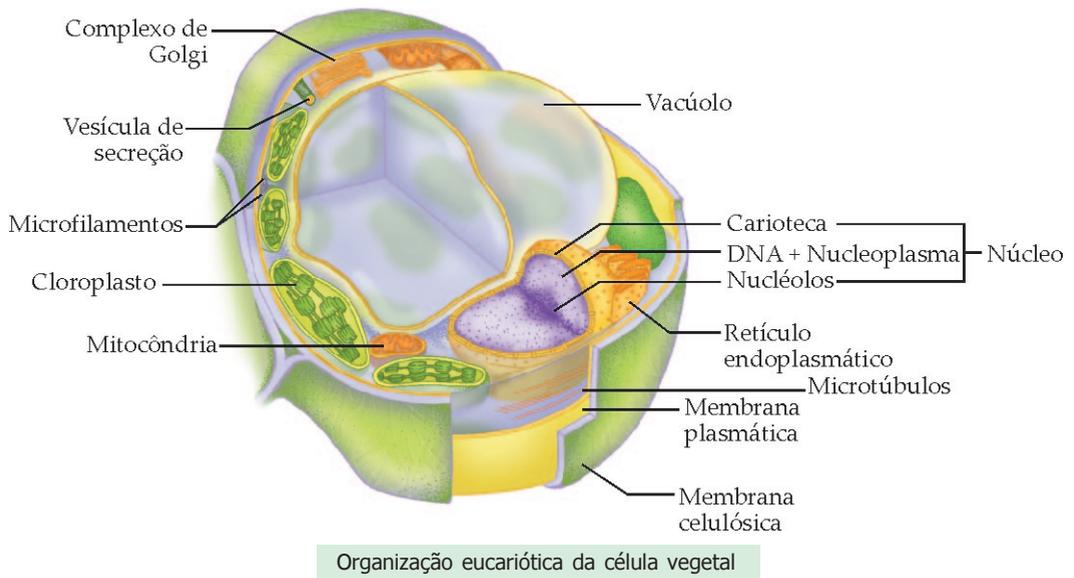
Entre os **cromoplastos**, além do cloroplasto que contém clorofila (pigmento verde), existem os xantoplastos, que

contém xantofila (pigmento amarelo), os eritoplastos, que contêm a licopeno (pigmento vermelho), e assim por diante.

Quando os plastos não possuem pigmentos coloridos, são chamados de **leucoplastos**, como os amiloplastos que armazenam amido.

Observe, no esquema da célula vegetal, que o vacúolo é uma organela com dimensões maiores que na célula animal e ocupa grande parte do hialoplasma da célula.

Podemos diferenciar a célula vegetal da célula animal também pela ausência dos centríolos nos vegetais superiores.

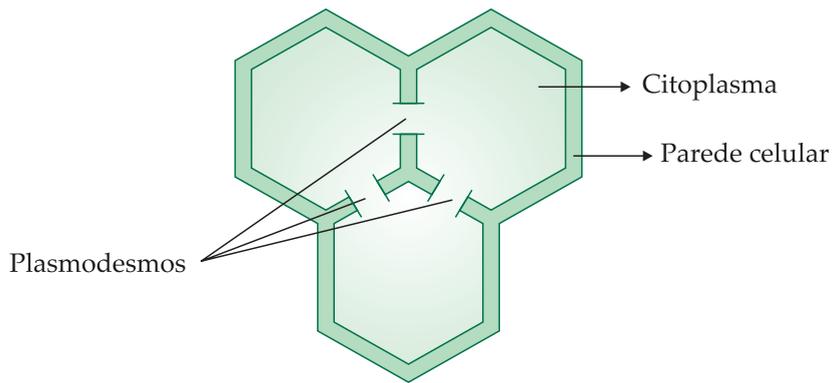


4.3. Diferenças entre Células Vegetais e Animais

	Célula vegetal	Célula animal
Centríolos	Ausentes	Presentes
Peroxisomos	Ausentes ou raros	Presentes
Complexo Golgiense	Vesículas isoladas	Vesículas empilhadas
Cloroplastos	Presentes	Ausentes
Vacúolos	Maiores	Menores
Plasmodesmos	Presentes	Ausentes
Parede celular	Presentes	Ausentes
Reserva	Amido	Glicogênio

Nos tecidos vegetais, as comunicações entre as células são feitas por meio de estruturas denominadas plasmodesmos.

Os plasmodesmos permitem trocas de materiais entre células vegetais vizinhas por meio de pontes citoplasmáticas, conforme pode ser observado na figura a seguir.



Capítulo 02. Composição Química da Célula

1. Introdução

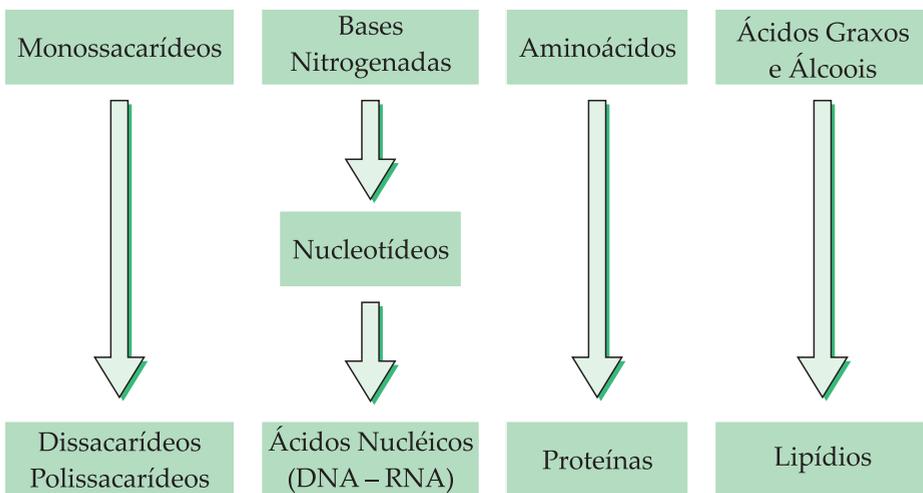
Uma das evidências da evolução biológica e da ancestralidade comum dos seres vivos é que todas as formas de vida possuem composição química semelhante.

Na composição química das células dos seres vivos, estudamos dois grandes grupos de substâncias: as **substâncias inorgânicas** e as **substâncias orgânicas**.

São classificadas como substâncias inorgânicas a água e os sais minerais. São substâncias orgânicas os carboidratos, os lipídios, as proteínas e os ácidos nucleicos. As substâncias orgânicas são formadas por cadeias carbônicas com diferentes **funções orgânicas**.

Dos elementos químicos encontrados na natureza, quatro são encontrados com maior frequência na composição química dos seres vivos. Esses elementos são o carbono (C), o oxigênio (O), o nitrogênio (N) e o hidrogênio (H). Além desses quatro elementos, outros são biologicamente importantes como o sódio (Na), o potássio (K), o cálcio (Ca), o fósforo (P), o enxofre (S), entre outros.

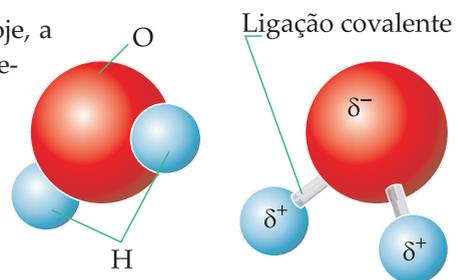
Apesar de existirem inúmeras maneiras desses elementos combinarem-se para a formação das substâncias inorgânicas e orgânicas, alguns tipos de substâncias existem em maior quantidade nos seres vivos.



2. Substâncias Inorgânicas

2.1. Água

A vida na Terra começou na água e, ainda hoje, a ela se associa. Só há vida onde há água. As propriedades da água que a tornam fundamental para os seres vivos se relacionam com sua estrutura molecular, constituída por dois átomos de hidrogênio ligados a um átomo de oxigênio por ligações covalentes. Embora a molécula como um todo seja eletricamente neutra, a distribuição do



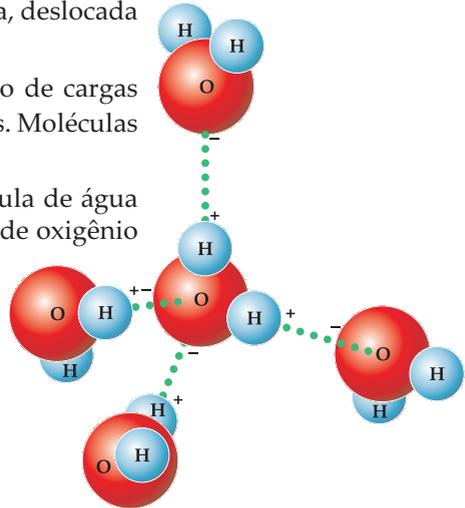


par eletrônico em cada ligação covalente é assimétrica, deslocada para perto do átomo de oxigênio.

Assim, a molécula tem um lado com predomínio de cargas positivas e outro com predomínio de cargas negativas. Moléculas assim são chamadas **polares**.

Quando os átomos de hidrogênio de uma molécula de água (com carga positiva) se colocam próximos ao átomo de oxigênio de outra molécula de água (com carga negativa) se estabelece uma ligação entre eles, denominada **ligação de hidrogênio**.

Essa ligação garante a coesão entre as moléculas, o que mantém a água fluida e estável nas condições habituais de temperatura e pressão. Algumas das mais importantes propriedades da água se relacionam com suas ligações de hidrogênio.



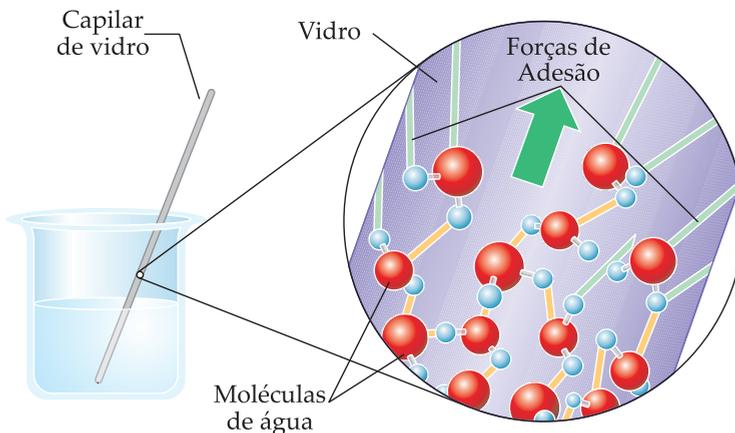
A estrutura da molécula de água

I. Tensão superficial: coesão entre as moléculas da superfície, formando uma "rede".



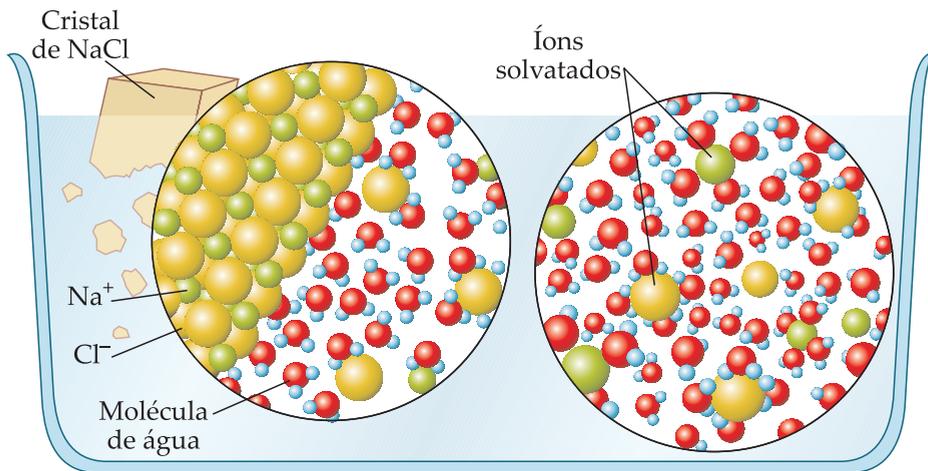
Insetos sobre a superfície da água

II. Capilaridade: capacidade de penetrar em espaços reduzidos, o que permite à água percorrer os microporos do solo, tornando-se acessível às raízes das plantas.



III. Calor específico elevado: as moléculas de água podem absorver grande quantidade de calor sem que sua temperatura fique elevada, pois parte desta energia é utilizada no enfraquecimento das ligações de hidrogênio. Isso explica o papel termorregulador da água por meio da transpiração que mantém a temperatura em valores compatíveis com a manutenção da vida das diferentes espécies.

IV. Capacidade solvente: a polaridade da molécula de água explica sua eficácia em separar partículas entre si, pois o caráter polar da água tende a diminuir as forças de atração dos íons encontrados em sais e em outros compostos iônicos, favorecendo a dissociação dos mesmos. Os dipolos da água envolvem os cátions e os ânions (solvatação), impedindo a união entre essas partículas carregadas eletricamente.



O fenômeno da solvatação iônica

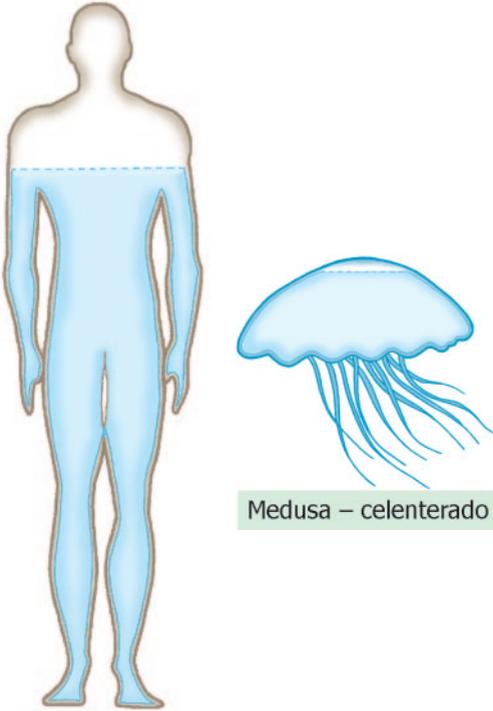
Alguns dos principais papéis da água nos seres vivos são:

- solvente da maioria dos solutos, o que permite a ocorrência das reações químicas (é chamada **solvente universal**).
- as reações catalisadas por **enzimas** só ocorrem na água. Em algumas reações, a água participa também como substrato (reações de hidrólise).
- as substâncias se distribuem pelo interior da célula graças ao contínuo fluxo de água no seu interior (**ciclose**).
- os sistemas de transporte dos animais (sistema circulatório) e dos vegetais (vasos condutores) usam a água como meio de distribuição de substâncias.
- devido ao seu elevado calor específico, a abundante presença de água nos seres vivos impede grandes variações de temperatura.
- age como lubrificante nas articulações, nos olhos e, misturada aos alimentos, como saliva, facilita a deglutição.

A água é a substância mais abundante em todos os seres vivos. No homem, representa cerca de 65% de sua massa. A proporção varia de uma espécie para outra (mais de 95% da massa dos celenterados), de acordo com a



idade (diminui com o envelhecimento), com o sexo e de um tecido para outro. No homem, perdas maiores que 15% da massa de água (**desidratação**) podem ter conseqüências graves, devida à diminuição do volume de líquido circulante.



Medusa – celenterado

Ser humano

Taxa de água	Estrutura
91%	Encéfalo
84%	Músculos
49%	Osso

A variação do teor de água em diferentes estruturas no ser humano.

2.2. Sais Minerais

Como a célula é um meio aquoso não se encontram sais minerais, mas **íons inorgânicos**. Alguns deles são encontrados em todos os seres vivos.

- **Cátions:** sódio, potássio, magnésio, cálcio, ferro, manganês, cobalto, cobre, zinco.
- **Ânions:** cloreto, bicarbonato, fosfato, sulfato, nitrato.

Importância Biológica

- **Cálcio:** participa da estrutura das membranas, dos cromossomos, do esqueleto dos vertebrados, da contração muscular e da coagulação do sangue.
- **Ferro:** faz parte das moléculas dos citocromos, componentes da respiração celular e da molécula da hemoglobina, pigmento transportador de O_2 do sangue.
- **Magnésio:** encontrado na molécula da clorofila, pigmento fotossintetizante dos vegetais.
O zinco, o cobre e o cobalto atuam como co-enzimas em alguns processos. O sódio e o potássio são os principais envolvidos na transmissão do impulso nervoso.
- **Fosfato:** importante componente da estrutura do ATP e dos **nucleotídeos** do DNA e do RNA.
- **Iodo:** faz parte da estrutura dos hormônios (tiroxinas) secretados pela **tireóide** dos vertebrados.

De um modo geral, os sais na forma iônica atuam no metabolismo, como mencionado anteriormente, e na forma molecular estão presentes em estruturas esqueléticas como carapaças, conchas, ossos, chifres, cascos, em que são comuns o carbonato de cálcio e o fosfato de cálcio.

3. Carboidratos

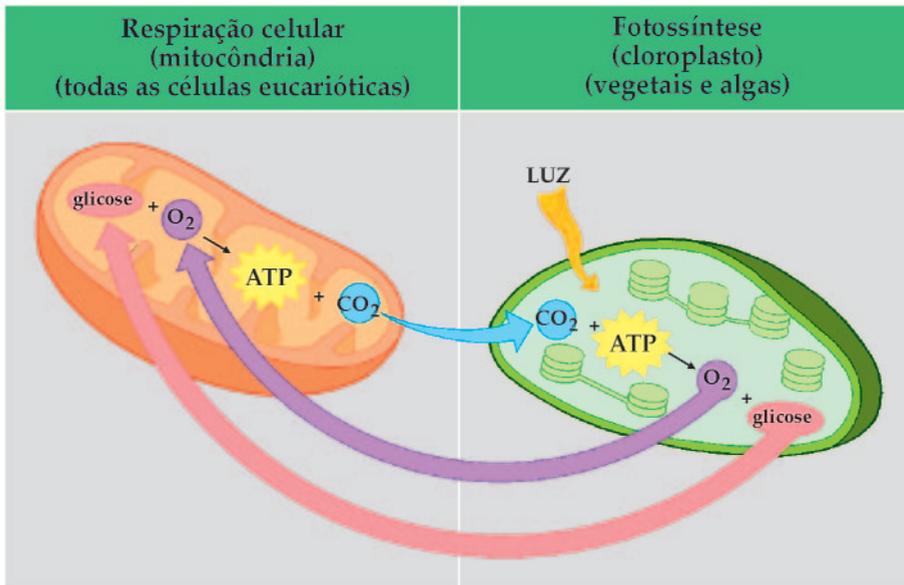
3.1. Apresentação

Os carboidratos são moléculas orgânicas formadas por átomos de carbono (C), de hidrogênio (H) e de oxigênio (O).

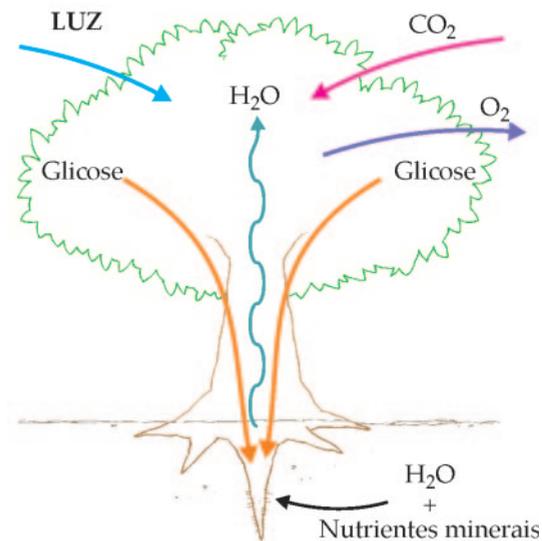
Os carboidratos também podem ser chamados de hidratos de carbono, de glicídios, de açúcares, entre outros nomes.

Nem sempre o açúcar (carboidrato) está relacionado com o paladar doce dos alimentos. Existem açúcares, como o amido da maisena e da farinha de trigo, que não são doces. São doces a glicose do mel e a frutose das frutas.

Os carboidratos apresentam muitas funções no **metabolismo** dos seres vivos; uma das mais importantes é a função energética dessas moléculas, relacionadas com o metabolismo energético que envolve o funcionamento das organelas mitocôndrias e cloroplastos.



Equação Geral da Fotossíntese



Os autótrofos são os organismos capazes de produzir açúcares a partir da utilização de gás carbônico (CO₂) e água (H₂O), utilizando a luz como fonte de energia para o fenômeno da fotossíntese.

A glicose produzida na fotossíntese é usada como fonte de energia no metabolismo celular dos seres vivos. No corpo do vegetal, parte da glicose produzida na fotossíntese fica armazenada na forma de amido nos **tubérculos** (raízes e caules) e outra parte fica na forma de celulose na **p parede celular** (membrana celulósica) das células vegetais.

3.2. Classificação

Os **carboidratos** são classificados de acordo com o número de moléculas em sua constituição, como monossacarídeos, oligossacarídeos e polissacarídeos.



I. Monossacarídeos

Os monossacarídeos são moléculas orgânicas formadas por átomos de carbono (C), de hidrogênio (H) e de oxigênio (O), na proporção 1: 2: 1, respectivamente, apresentando a fórmula geral $(CH_2O)_n$, em que “n” pode variar de 3 a 7.

O nome genérico do monossacarídeo está relacionado com o valor de n.

n = 3	trioses
n = 4	tetroses
n = 5	pentoses
n = 6	hexoses
n = 7	heptoses

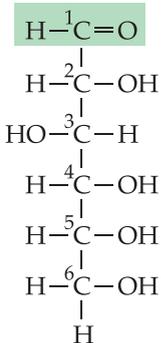
Os monossacarídeos mais abundantes são as hexoses com fórmula geral $(C_6H_{12}O_6)$. Nessa classe, inclui-se a **glicose**, o mais importante combustível para a maioria dos seres vivos e componente dos polissacarídeos mais importantes, como o amido e a celulose. Outras hexoses importantes são a frutose e a galactose.

Uma outra classe importante dos monossacarídeos são as pentoses com fórmula geral $(C_5H_{10}O_5)$. As pentoses desoxirribose e ribose são os componentes dos ácidos nucleicos **DNA** e **RNA**, respectivamente.

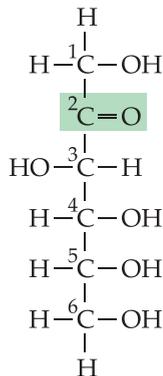
As trioses e as heptoses são compostos que participam das reações dos processos metabólicos da respiração e da fotossíntese.

Os monossacarídeos são sólidos brancos, cristalinos, solúveis em água, sendo a maioria de sabor doce.

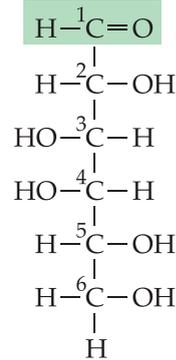
Algumas fórmulas estruturais de monossacarídeos



Glicose $(C_6H_{12}O_6)$
(aldose)

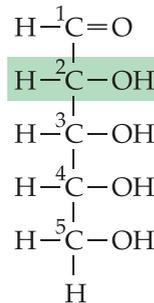


Frutose $(C_6H_{12}O_6)$
(cetose)

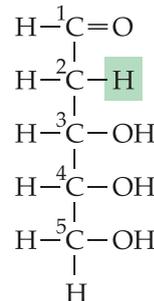


Galactose $(C_6H_{12}O_6)$
(aldose)

Carboidratos do tipo hexoses – glicose e galactose – possuem a função orgânica aldeído (aldose) e a frutose, a função orgânica cetona (cetose).



Ribose $(C_5H_{10}O_5)$
(componente do RNA)



Desoxirribose $(C_5H_{10}O_4)$
(componente do DNA)

Carboidratos do tipo pentoses – componentes dos ácidos nucleicos.

II. Oligossacarídeos

Os oligossacarídeos são moléculas orgânicas formadas pela união de 2 a 10 moléculas de monossacarídeos.

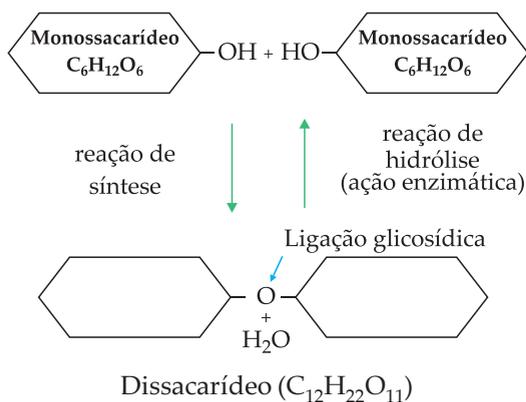
Os oligossacarídeos mais importantes biologicamente são os dissacarídeos.

Os dissacarídeos, como a sacarose, a maltose e a lactose são formados pela união de dois monossacarídeos.

Dissacarídeos	Unidades formadoras (monossacarídeos)	Fonte
Sacarose	glicose + frutose	cana beterraba
Lactose	glicose + galactose	leite
Maltose	glicose + glicose	cereais

Reações de Síntese e Hidrólise de um Dissacarídeo

Os dissacarídeos presentes nos alimentos não são aproveitados diretamente pelo organismo. Estas moléculas precisam ser digeridas (hidrolisadas) pela ação de enzimas específicas em suas unidades formadoras (monossacarídeos) para serem absorvidas nas microvilosidades intestinais e para, então, chegarem até as células, via corrente sanguínea.



III. Polissacarídeos

São moléculas orgânicas formadas pela união de mais de 10 moléculas de monossacarídeos.

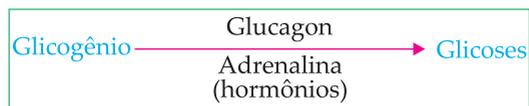
Os polissacarídeos são abundantes na natureza, podendo ter função biológica de reserva energética, como o amido e o glicogênio, ou função estrutural, como a celulose, a quitina e o ácido hialurônico.

Polissacarídeos de Reserva Energética

O amido é o polissacarídeo de reserva energética dos vegetais, sendo armazenado nas células do parênquima amilífero de caules (batatinha) e raízes (mandioca).

O glicogênio é o polissacarídeo de reserva energética animal, sendo armazenado no fígado e nos músculos.

Amido e glicogênio são formados por milhares de moléculas de glicose e para serem aproveitados no metabolismo energético são transformados em moléculas de glicose, de acordo com os esquemas a seguir.



Polissacarídeos estruturais

A celulose é o polissacarídeo presente na membrana celulósica das células vegetais (grande abundância na natureza). Está relacionada com a estrutura e forma das células vegetais.

O aproveitamento da celulose na forma de moléculas de glicose só é possível na presença da enzima celulase, que é produzida por microrganismos como bactérias e protozoários, que vivem **mutualisticamente**



no sistema digestório de organismos como ruminantes, moluscos e cupins.

No ser humano, a presença de celulose na dieta (alimentação) garante o bom funcionamento do intestino e a retenção de água ao bolo fecal, facilitando sua eliminação.

Nos artrópodes, o polissacarídeo quitina é um material impermeabilizante do exoesqueleto, o que garante boa adaptação à vida terrestre.

Nos tecidos animais, a compactação entre as células é facilitada pela presença do polissacarídeo ácido hialurônico (“cimento” intercelular).

A heparina também é um importante polissacarídeo que atua na circulação como anticoagulante, principalmente em regiões de grande irrigação como pulmões e fígado.

4. Lipídios

4.1. Apresentação

Os lipídios são moléculas orgânicas formadas pela união de ácidos graxos e um tipo de álcool, que normalmente é o glicerol.

Os lipídios apresentam em sua constituição átomos de carbono (C), de hidrogênio (H) e de oxigênio (O), e diferem dos carboidratos por apresentarem menos átomos de oxigênio, podendo ter na sua estrutura, além do ácido graxo e glicerol, átomos de fósforo, colesterol etc.

Os lipídios aparecem com muita frequência na composição química dos seres vivos em diferentes partes do corpo, como no tecido adiposo, nas membranas celulares, na bainha de mielina dos neurônios, como precursores de vitaminas e hormônios, ceras impermeabilizantes nas superfícies de folhas e frutos etc.

De um modo geral, são substâncias pouco solúveis em água e solúveis em compostos orgânicos apolares como éter, benzeno, clorofórmio e álcool.

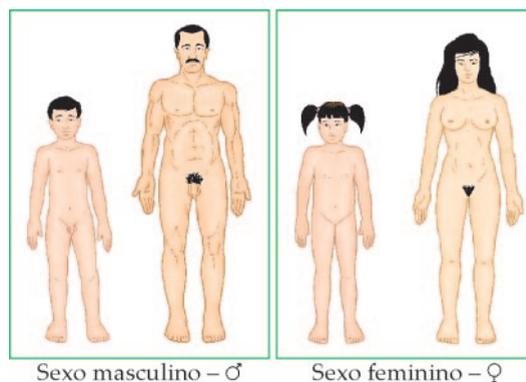
4.2. Papel Biológico

Os lipídios desempenham várias funções importantes para os seres vivos, entre elas, a função de reserva energética, realizada pelas gorduras nos animais e pelos óleos nos vegetais.

A função estrutural é realizada pela cera nas folhas e nos frutos dos vegetais, assim como os fosfolipídios nas membranas celulares. As abelhas produzem cera utilizada na impermeabilização das células da colméia, para proteger o mel, o pólen e as larvas.

Os animais homeotérmicos (aves e mamíferos) dependem das reservas de gordura para a manutenção da temperatura corporal.

O depósito de gordura nos animais ocorre no tecido adiposo, localizado abaixo da pele. O depósito de gordura no corpo humano sofre influência hormonal no período da puberdade, diferenciando o sexo masculino, com maior depósito de gordura na região abdominal, do sexo feminino, que apresenta maior depósito de gordura nas mamas e nas nádegas.



Sexo masculino – ♂

Sexo feminino – ♀

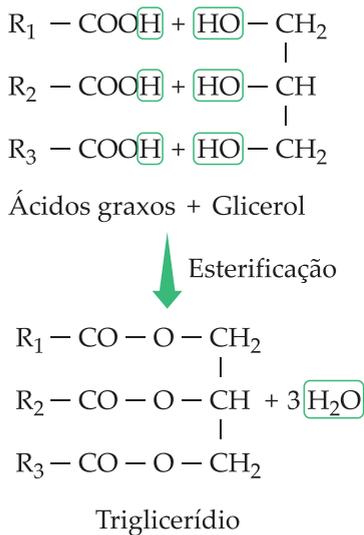
A diferença sexual é definida por padrões genéticos e por depósitos de gordura em regiões específicas do organismo.

4.3. Classificação

I. Glicerídios

São lipídios formados por ácidos graxos e glicerol.

Os glicerídios mais comuns nos seres vivos são as gorduras e os óleos, que funcionam como material de reserva energética nos animais e vegetais, respectivamente. Nos animais as gorduras são encontradas no tecido adiposo e nos vegetais e os óleos são encontrados principalmente nas sementes.



Formação de um glicerídio a partir de ácidos graxos e glicerol.

As gorduras e os óleos podem ser diferenciados pelo aspecto, pela localização, pela origem e pelo tipo de ácido graxo que apresentam – saturado nas gorduras e insaturado no óleo.

As gorduras são depositadas no tecido adiposo dos animais, funcionando como material de reserva energética. Um tipo de gordura nos animais que é bem conhecido de todos é o toucinho e o bacon (que é o toucinho defumado) do porco, utilizado na alimentação.

Os óleos estão depositados mais frequentemente nas sementes dos vegetais, como, por exemplo, no girassol, na soja, no amendoim, no arroz, no milho e na mamona.

Com exceção do óleo de mamona (rícin), os outros normalmente são utilizados na preparação de alimentos; já o óleo de mamona é usado na indústria de graxas e lubrificantes para carros e maquinários produção de combustíveis “verdes” (como biodiesel).

A partir dos óleos vegetais são produzidas as gorduras vegetais, conhecidas como margarinas, conseguidas por meio de reações de hidrogenação com aquecimento. Na constituição das margarinas, além do óleo vegetal, estão presentes vitaminas, sais minerais e conservantes.

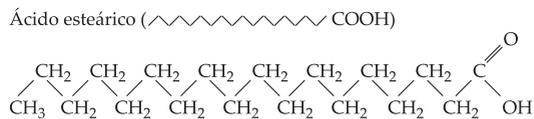
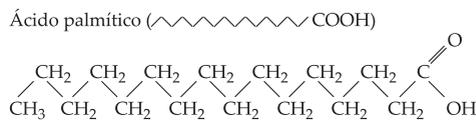
A seguir, esquematizamos a obtenção da margarina por hidrogenação de óleos vegetais insaturados.



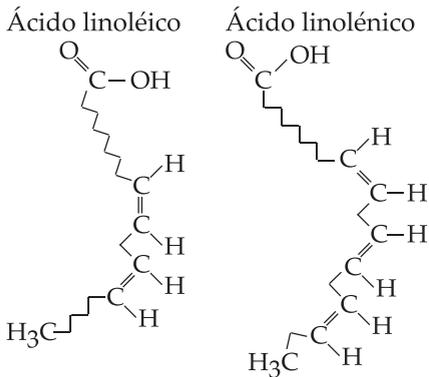
Ácido graxo insaturado: é aquele que apresenta ligações duplas entre os átomos de carbono.

Ácido graxo saturado: é aquele que apresenta apenas ligações simples entre os átomos de carbono.

Os esquemas a seguir mostram exemplos de ácidos graxos saturados e insaturados



Ácidos graxos saturados (ligação simples entre carbonos)



Ácidos graxos insaturados (duplas ligações entre carbonos)

II. Cerídios

São lipídios formados pela união de ácido graxo de cadeia longa (de 14 a 36 átomos de carbono) com um álcool de cadeia longa (de 16 a 30 átomos de carbono).

As ceras possuem importância biológica no revestimento e proteção de superfícies dos corpos dos seres vivos.

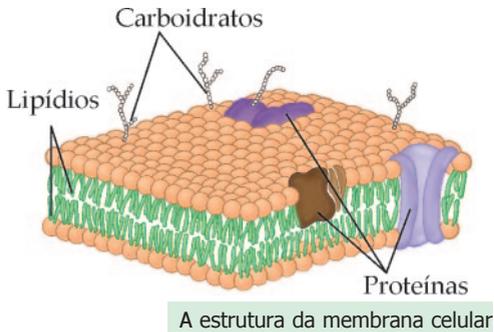
As ceras revestem as folhas e frutos dos vegetais, diminuindo a taxa de transpiração, pois funcionam como material impermeabilizante.

As secreções oleosas das glândulas sebáceas protegem a superfície corporal dos mamíferos contra ressecamento. A secreção oleosa da glândula uropigiana das aves lubrifica as penas, evitando que as mesmas fiquem encharcadas no ambiente aquático.

III. Fosfolipídios

São lipídios formados por ácido graxo, glicerol e o grupo fosfato.

Os fosfolipídios estão presentes nas estruturas da membrana celular.



IV. Esteróides

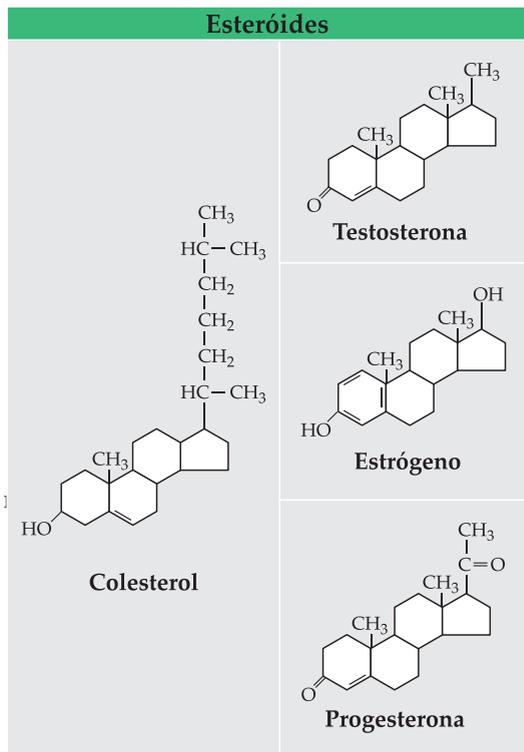
São lipídios formados por ácidos graxos e por álcoois de cadeia cíclica como o colesterol.

Possuem importância metabólica na formação dos hormônios esteróides e componentes da bile.

A bile é secretada pelo fígado, sendo constituída por sais que promovem a emulsificação das gorduras, facilitando a ação das lipases no intestino.

Os hormônios esteróides são testosterona, estrógeno e progesterona, relacionados com as características sexuais e a produção de gametas.

A testosterona é hormônio masculino produzido nos testículos; o estrógeno e a progesterona são hormônios femininos produzidos no ovário.



5. As Proteínas

5.1. Aminoácidos

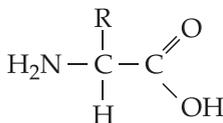
As proteínas são macromoléculas, isto é, moléculas grandes, constituídas por unidades chamadas **aminoácidos**. Algumas propriedades importantes dos seres vivos estão associadas a elas: a facilitação para a ocorrência de reações químicas (**enzimas**), o transporte de oxigênio (**hemoglobina**), a transmissão de informações (**hormônios**), a composição estrutural das células (**membranas, túbulos, etc.**), a defesa orgânica (**anticorpos**), etc.

Classificação das proteínas quanto à função biológica:

Classe	Exemplo
enzimas	<i>tripsina, amilase</i>
transporte	<i>hemoglobina, mioglobina</i>
contrácteis	<i>actina, miosina</i>
protetoras	<i>anticorpos, fibrinogênio</i>
hormônios	<i>insulina, prolactina</i>
estruturais	<i>colágeno, elastina</i>

Em todas as proteínas, encontram-se sempre os mesmos tipos de aminoácidos. O que distingue uma proteína da outra é o número de aminoácidos e a seqüência na qual eles estão ligados.

Todos os aminoácidos possuem um átomo de carbono central, ao qual se ligam um **grupo carboxila** (COOH), que confere caráter ácido, um **grupo amina** (NH₂), que tem caráter básico, um átomo de hidrogênio e um radical **R**, variável de um aminoácido para outro.



Fórmula geral de um aminoácido

O radical **R** pode ser um átomo de hidrogênio, um grupo ou grupos mais complexos, contendo carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio e enxofre.

Os aminoácidos podem ser obtidos na dieta ou produzidos, a partir de açúcares. Todavia, suas moléculas possuem nitrogênio. O nitrogênio constitui cerca de 80% do ar atmosférico, mas sua assimilação ocorre pela ação de microrganismos capazes de transformá-lo em compostos utilizáveis pelos vegetais (nitritos ou nitratos). Os vegetais empregam esses compostos para produzir aminoácidos, obtidos pelos animais através da alimentação.

Os animais podem sintetizar aminoácidos a partir de açúcar, graças à transferência do grupo NH₂ das proteínas da dieta. Podem, ainda, transformar alguns aminoácidos em outros. Todavia, existem alguns aminoácidos que não podem ser produzidos pelos animais, e precisam ser conseguidos na alimentação. São os **aminoácidos essenciais**. Já aqueles que podem ser sintetizados nas células animais são chamados **aminoácidos naturais**.

São aminoácidos naturais a alanina, a prolina, a glicina, a serina, a tirosina, entre outros.

São aminoácidos essenciais a valina, a leucina, o triptófano, a metionina, a fenilalanina, entre outros.

Os alimentos ricos em proteínas, como o leite, a carne, os ovos, a gelatina, podem ser utilizados como fonte de aminoácidos para o organismo.

No leite existe a proteína **caseína**, que é utilizada pelo organismo como fonte de aminoácidos naturais.

5.2. As Reações de Síntese e Hidrólise

As proteínas, ou **cadeias polipeptídicas**, são formadas pela união entre aminoácidos. As ligações entre os aminoácidos são denominadas **ligações peptídicas** e ocorrem entre o grupo carboxila de um aminoácido e o grupo amina de outro aminoácido.

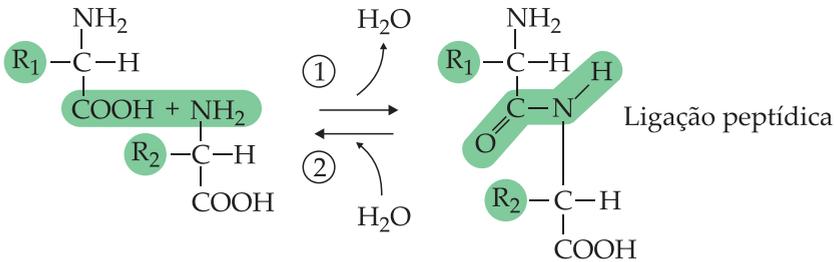
Para o organismo aproveitar as proteínas como fonte de aminoácidos, deve ocorrer ação enzimática das **proteases** na digestão das proteínas, que ocorre no estômago e no intestino.



Como cada ligação peptídica é formada entre dois aminoácidos, uma proteína com 100 (cem) aminoácidos apresentará 99 (noventa e nove) ligações peptídicas.

$$\text{Número de ligações peptídicas} = \text{Número de aminoácidos} - 1$$

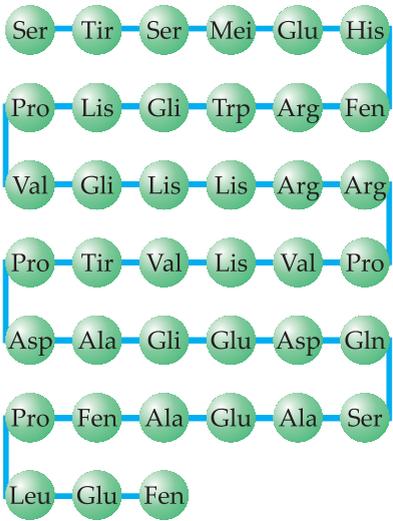
As proteínas diferem entre si pelo **número**, **tipo** e **seqüência** dos aminoácidos em suas estruturas.



- 1) Reação de síntese por desidratação
- 2) Reação de hidrólise (digestão) com ação de uma protease

5.3. As Estruturas das Proteínas

A seqüência linear de aminoácidos de uma proteína define sua **estrutura primária**.

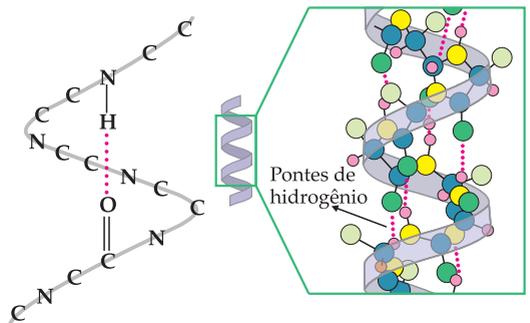


Estrutura primária de um oligopeptídeo.

O número de aminoácidos é muito variável de uma proteína para outra:

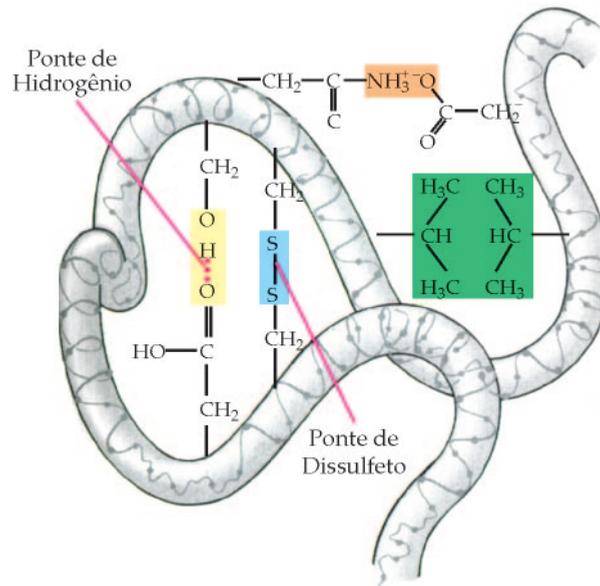
- insulina bovina ⇒ 51 aminoácidos
- hemoglobina humana ⇒ 574 aminoácidos
- desidrogenase glutâmica ⇒ 8.300 aminoácidos

O filamento de aminoácidos se enrola ao redor de um eixo, formando uma escada helicoidal chamada **alfa-hélice**. É uma estrutura estável, cujas voltas são mantidas por pontes de hidrogênio. Tal estrutura helicoidal é a **estrutura secundária** da proteína.



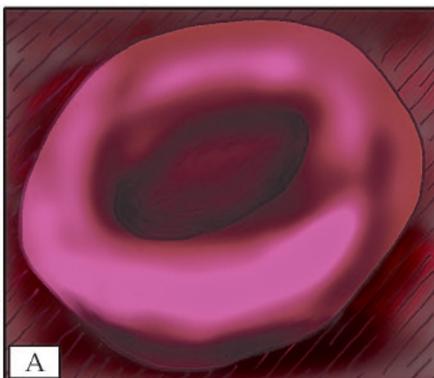
A estrutura secundária de uma proteína.

As proteínas estabelecem outros tipos de ligações entre suas partes. Com isso, dobram sobre si mesmas, adquirindo uma configuração espacial tridimensional chamada **estrutura terciária**. Essa configuração pode ser **filamentar** como no colágeno, ou **globular**, como nas enzimas.

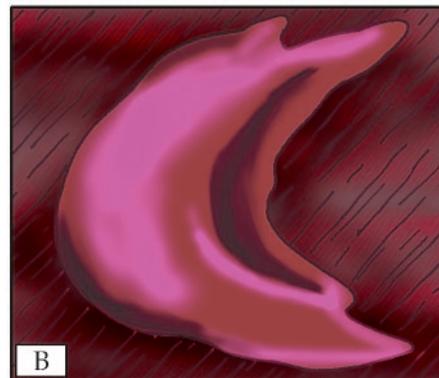


A estrutura terciária de uma proteína

Tanto o estabelecimento de pontes de hidrogênio como o de outros tipos de ligações dependem da seqüência de aminoácidos que compõem a proteína. Uma alteração na seqüência de aminoácidos (estrutura primária) implica em alterações nas estruturas secundária e terciária da proteína. Como a função de uma proteína se relaciona com sua forma espacial, também será alterada. Um exemplo clássico é a **anemia falciforme**. Nessa doença hereditária, há uma troca na cadeia de aminoácidos da hemoglobina (substituição de um ácido glutâmico por uma valina). Isto acaba por determinar mudanças na hemácia, célula que contém a hemoglobina, que assume o formato de foice quando submetida a baixas concentrações de oxigênio.



Hemácia normal



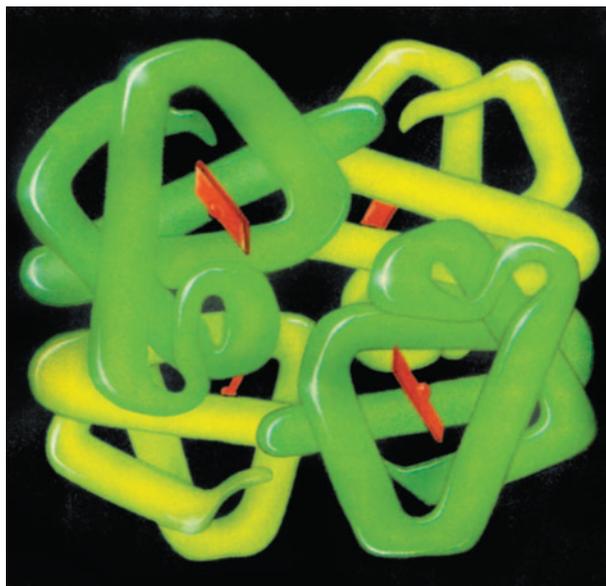
Hemácia falciforme



Muitas proteínas são formadas pela associação de dois ou mais polipeptídeos (cadeias de aminoácidos). A maneira como estas cadeias se associam constitui a **estrutura quaternária** dessas proteínas. A hemoglobina, citada anteriormente, é formada pela união de duas cadeias "alfa" e duas cadeias "beta".

5.4. Desnaturação das Proteínas

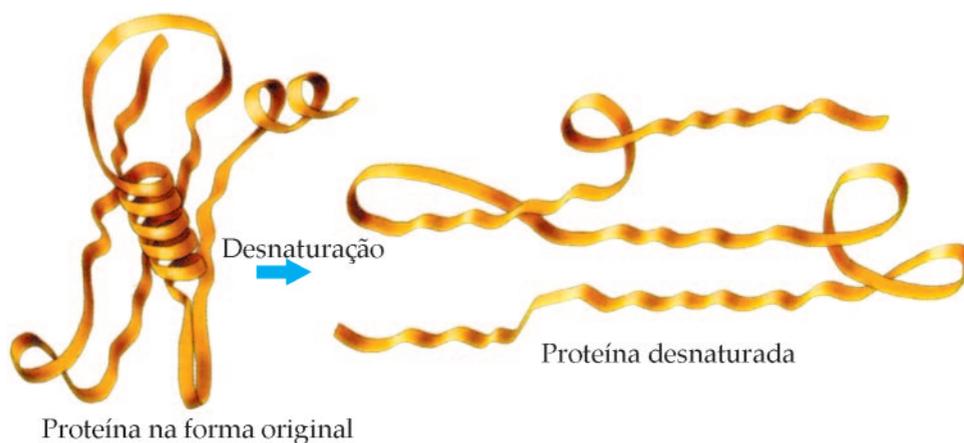
Quando as proteínas são submetidas à elevação de temperatura, a variação de pH ou de certos solutos como a uréia, sofrem alterações na sua configuração espacial e sua **atividade biológica é perdida**. Este processo se chama **desnaturação**. Ao romper as ligações originais, a proteína sofre novas dobras ao acaso. Geralmente, as proteínas se tornam insolúveis quando se desnaturam. É o que ocorre com a albumina da clara do ovo que, ao ser cozida, se torna sólida.



A estrutura quaternária da hemoglobina

Na desnaturação, a seqüência de aminoácidos não se altera e nenhuma ligação peptídica é rompida. Isso demonstra que a atividade biológica de uma proteína não depende apenas da sua estrutura primária, embora esta seja o determinante da sua configuração espacial.

Algumas proteínas desnaturadas, ao serem devolvidas ao seu meio original, podem recobrar sua configuração espacial natural. Todavia, na maioria dos casos, nos processos de desnaturação por altas temperaturas ou por variações extremas de pH, as modificações são **irreversíveis**. A clara do ovo se solidifica, ao ser cozida, mas não se liquefaz quando esfria.



5.5. As Funções das Proteínas

As proteínas desempenham quatro funções importantes para os seres vivos. Entre estas funções podemos citar a função estrutural ou plástica, hormonal, anticorpos (imunização) e enzimática.

As proteínas estruturais estão presentes em estruturas esqueléticas, como ossos, tendões e cartilagens, unhas, cascos, etc., além da membrana celular.

As proteínas hormonais atuam no metabolismo como mensageiros químicos, como a insulina e o glucagon que controlam a glicemia do sangue e o hormônio de crescimento denominado somatotrofina, secretado pela hipófise.

As proteínas de defesa imunológica são as imunoglobulinas (anticorpos).

As proteínas de ação enzimática (enzimas) são importantes como **catalisadores biológicos** favorecendo reações do metabolismo celular, como as proteases, a catalase, as desidrogenases, entre outras.

6. Enzimas

6.1. Apresentação

As enzimas constituem a mais numerosa classe das proteínas.

As enzimas são responsáveis por catalisar milhares de reações químicas que constituem o metabolismo celular.

Os **catalisadores** são substâncias que interferem na velocidade de uma reação química, sem sofrer alteração. Como todo catalisador, a enzima pode participar de uma reação várias vezes, podendo realizar uma mesma reação química milhares de vezes por segundo.

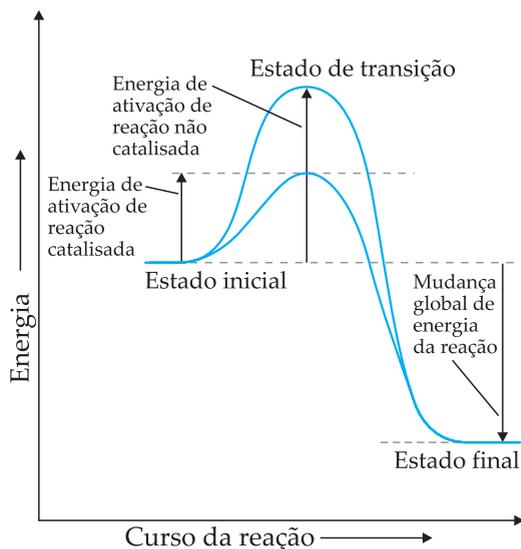
Todas as enzimas são proteínas. Portanto, sua produção é subordinada ao controle do DNA. É através da produção de enzimas

específicas que o DNA comanda todo o metabolismo celular.

Sendo proteínas, quando submetidas a fatores capazes de modificar sua configuração espacial natural, as enzimas podem perder suas propriedades catalíticas. São constituídas por uma ou mais cadeias polipeptídicas. Algumas enzimas só atuam quando ligadas a um outro composto, chamado **co-fator**. O co-fator pode ser um metal (Zn, Fe, Mg, Mn, etc.) ou uma molécula orgânica designada por **co-enzima**. As vitaminas da dieta, geralmente, são co-enzimas.

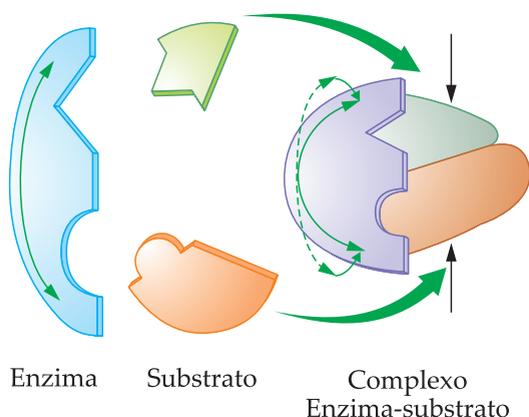
6.2. Catálise e Ação Enzimática

As reações químicas ocorrem quando ligações químicas das moléculas reagentes são rompidas e novas ligações são formadas, originando novas moléculas. Para que aconteçam, as moléculas reagentes devem alcançar um nível de energia maior que o normal (**estado de transição**). A energia necessária para elevar o nível energético dos reagentes a este estado de transição é a **energia de ativação**. Pode ser comparada à energia necessária para levar uma pedra até o alto de uma montanha, de onde ela irá rolar.





Na presença de um catalisador, as moléculas atingem o estado de transição em um nível energético inferior àquele que atingiram na sua ausência. Portanto, os catalisadores aumentam a velocidade da reação porque diminuem a energia de ativação necessária. Quando os produtos são formados, o catalisador se desprende, inalterado.



Quando o catalisador é uma enzima, os reagentes são chamados **substratos**. O nome de uma enzima pode indicar o tipo de reação catalisada (hidrolases, transaminases, desidrogenases, etc.) ou o substrato sobre o qual ela atua (amilase, protease, lipase, etc.).

As enzimas atuam oferecendo às moléculas dos substratos um local para se aderirem e onde a reação irá se processar. Tal local é o **centro ativo** ou **sítio ativo**.

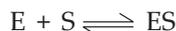
A ligação entre o substrato e o centro ativo é muito precisa e específica. A estrutura do centro ativo depende da configuração espacial da enzima. Alterações na estrutura tridimensional da enzima podem torná-la inativa, por impedir o encaixe do substrato no centro ativo. A ligação da enzima com

seu substrato tem, portanto, **grande especificidade**.

6.3. Fatores que Modificam a Ação Enzimática

I. Efeito da Concentração do Substrato

A enzima E combina-se com o substrato S , formando um complexo ES , em uma reação rápida:

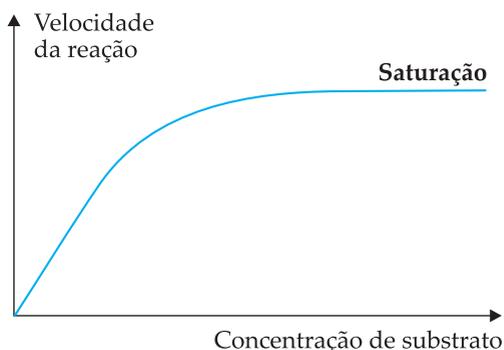


Em uma reação mais lenta, o complexo ES se desfaz, originando o produto P e liberando a enzima:



Mecanismo de reações enzimáticas

Se a concentração da enzima for constante, aumentos sucessivos na concentração do substrato são acompanhados por aumentos cada vez menores na velocidade da reação.



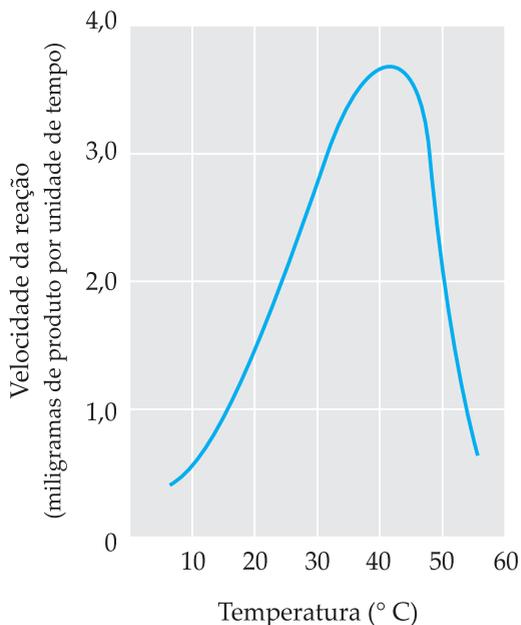
Atinge-se um ponto no qual novos aumentos não provocarão elevação na velocidade. Ao ser alcançada a velocidade máxima, a enzima encontra-se saturada e não pode atuar mais rapidamente. Todas as moléculas da enzima encontram-se em atividade.

II. Efeito da Temperatura

Sabe-se que a velocidade das reações químicas aumenta com a elevação da temperatura. Todavia, nas reações catalisadas por enzimas, a velocidade tende a diminuir quando a temperatura passa de 35 °C a 40 °C. Isso ocorre porque temperaturas elevadas alteram a estrutura secundária, terciária e até quaternária da molécula da enzima, afetando sua configuração espacial. Em temperaturas superiores a 70 °C as reações enzimáticas cessam para os humanos, pois deve ocorrer desnaturação da enzima.

Existe, portanto, uma temperatura na qual a atividade da enzima é máxima, a **temperatura ótima**. Nos animais homeotermos, cuja temperatura corporal é constante, a temperatura ótima está entre 35 °C e 40 °C. Nos pecilotermos, de temperatura variável, as enzimas atuam em temperatura de 25 °C, aproximadamente.

As enzimas não se tornam inativas pelo congelamento. A velocidade das reações diminui com a queda da temperatura, podendo mesmo cessar. Porém, a atividade catalítica reaparece, quando a temperatura se eleva a valores normais. A diminuição da atividade enzimática e da taxa metabólica em baixas temperaturas é útil para o congelamento de sêmen e de embriões, para a conservação de órgãos para transplantes ou para a preservação de órgãos durante a realização de cirurgias.



III. Efeito do pH

As enzimas têm um **pH ótimo** no qual sua atividade biológica é máxima. Em valores abaixo (mais ácido) ou acima (mais básico) desse pH, a atividade biológica diminui porque a estrutura tridimensional da enzima se altera.

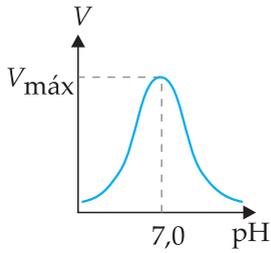
O pH ótimo varia de enzima para enzima.

Exemplos

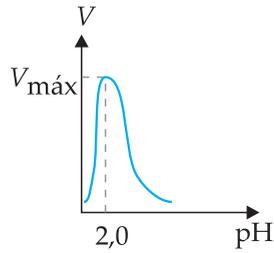
enzima	pH ótimo
pepsina	2,0
tripsina	8,5
ptialina	6,8



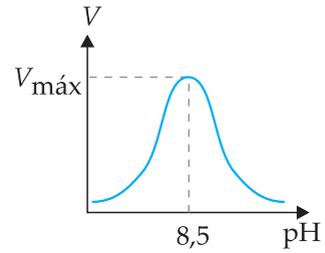
Os gráficos a seguir mostram como o fator pH influencia na atividade enzimática.



Enzima: ptialina
Substrato: amido
pH ideal: 7,0
Local de atuação: boca



Enzima: pepsina
Substrato: proteína
pH ideal: 2,0
Local de atuação: estômago



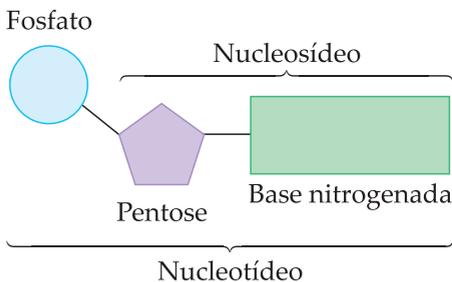
Enzima: lipase
Substrato: lipídios
pH ideal: 8,5
Local de atuação: intestino

Capítulo 03. Ação Gênica

1. Nucleotídeos

Em 1870, Miescher isolou substâncias que tinham caráter ácido e eram formadas por carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio e fósforo, no núcleo de células presentes no pus. Tais substâncias foram chamadas de **ácidos nucléicos**. Sabe-se que elas estão relacionadas com o **controle da atividade celular** e com os **mecanismos da hereditariedade**.

Os ácidos nucléicos são formados pela união de **nucleotídeos**. Outras macromoléculas orgânicas são constituídas por unidades mais simples: as proteínas, por aminoácidos e os polissacarídeos, por açúcares simples, como a glicose. Cada nucleotídeo tem três subunidades: um **grupo fosfato**, uma **pentose** e uma **base nitrogenada**.



O grupo fosfato se origina do ácido fosfórico (H_3PO_4). Há duas pentoses que podem participar da estrutura dos nucleotídeos: a **ribose** ($C_5H_{10}O_5$) e a **desoxirribose** ($C_5H_{10}O_4$). As bases nitrogenadas possuem estrutura em anel, com átomos de nitrogênio na molécula. Classificam-se em **bases púricas** (adenina e guanina) e **bases pirimídicas** (citosina, timina e uracila).

Bases púricas = A e G

Bases pirimídicas = C, T e U

A quebra parcial dos nucleotídeos, com a retirada do grupamento fosfato, resulta em

compostos formados por uma pentose e por uma base nitrogenada. São os **nucleosídeos**.

Nos seres vivos, há 2 tipos de ácidos nucléicos: o **ácido desoxirribonucléico** (DNA ou ADN) e o **ácido ribonucléico** (RNA ou ARN) com funções distintas. O DNA é encontrado nos cromossomos, dirige a síntese das enzimas e, desta forma, controla as atividades metabólicas da célula. O RNA transfere as informações do DNA para os ribossomos, onde as enzimas e outras proteínas são produzidas.

2. Ácido Desoxirribonucléico

Quando um vírus bacteriófago ataca uma bactéria, apenas seu DNA penetra na célula hospedeira, enquanto sua capa protéica permanece aderida à membrana. Novos vírus surgem no interior da bactéria, demonstrando que o DNA contém as informações necessárias para a produção de novos vírus, comandando a formação de mais DNAs e de novas capas protéicas. Isso evidencia o papel do DNA como base química do material genético.

Para que uma molécula possa agir como portadora das informações genéticas, deve satisfazer algumas condições.

- 1) Conter grande quantidade de informações, passando-as de geração a geração.
- 2) Fazer cópias de si mesma, uma vez que as informações são passadas às células-filhas.
- 3) Ter mecanismos para transformar as informações em ação, controlando a atividade celular.
- 4) Eventualmente, sofrer pequenos "enganos", os quais devem ser copiados fielmente e passados aos descendentes. Esse processo é a base das mutações e da evolução.

O DNA cumpre todas essas exigências. É bastante grande e complexo, podendo conter enorme quantidade de informações. Pode se autoduplicar, gerando cópias perfeitas de si mesmo. Comandando a síntese das enzimas,

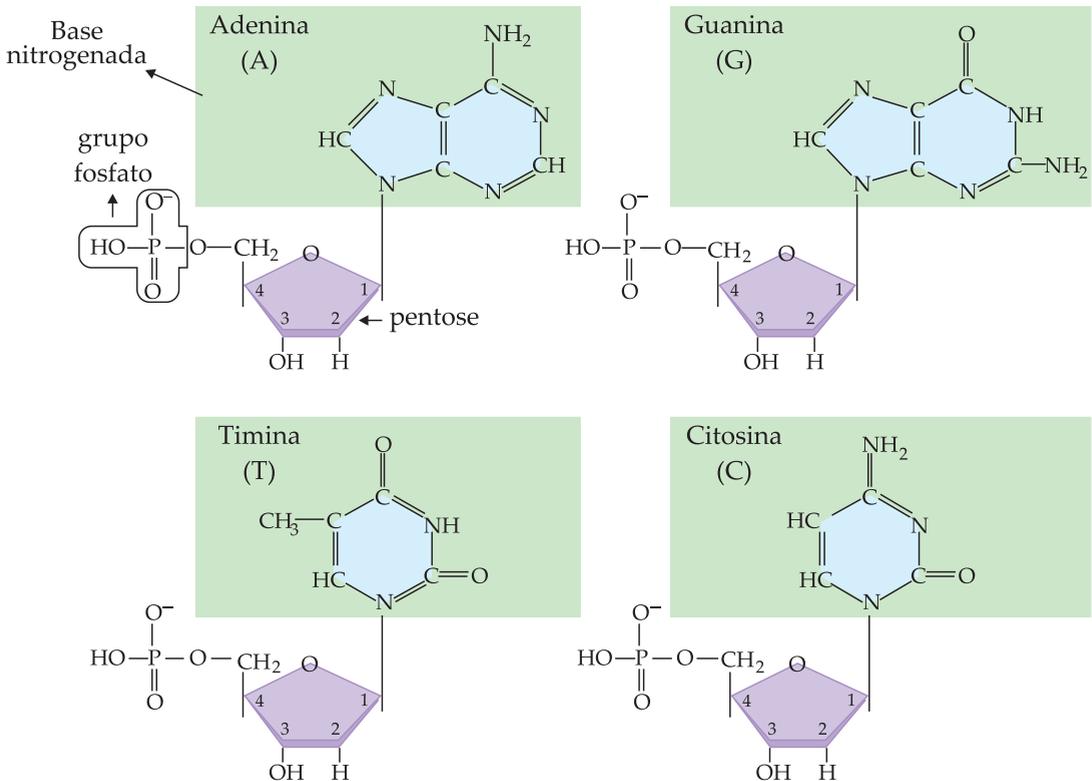


controla o metabolismo celular. Sofre, algumas vezes, alterações em sua seqüência de nucleotídeos. Aceita-se, hoje, que o DNA é o material genético.

Nas células eucarióticas, a maior parte do DNA encontra-se nos cromossomos; menor quantidade é observada nas mitocôndrias e nos cloroplastos.

Os nucleotídeos de DNA possuem:

- a) um grupo fosfato: PO_4^{-3} ;
- b) uma pentose: a **desoxirribose**;
- c) uma base nitrogenada que pode ser **adenina, guanina, citosina** ou **timina**.



Os nucleotídeos do DNA.

Estudando a composição de moléculas de DNA de diferentes espécies, Erwin Chargaff determinou, em todas, uma relação constante:

Número de nucleotídeos com adenina	=	Número de nucleotídeos com timina
Número de nucleotídeos com citosina	=	Número de nucleotídeos com guanina

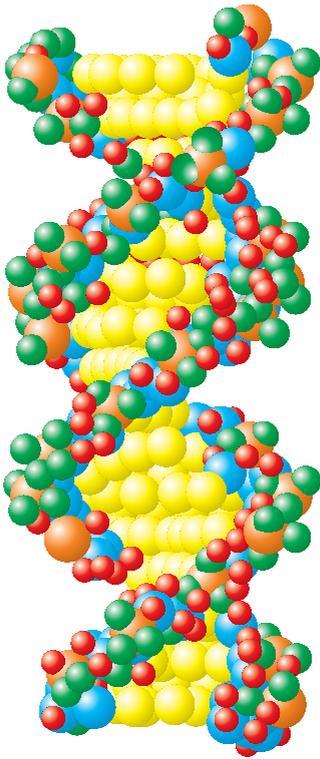
$$\text{Relação de Chargaff} = \frac{A}{T} = \frac{C}{G} = 1$$

Composição de bases do DNA de algumas espécies

	Adenina	Guanina	Citosina	Timina
Homem	30,4%	19,6%	19,9%	30,1%
Boi	29,0%	21,2%	21,2%	28,6%
Carneiro	29,3%	20,7%	20,8%	29,2%

Estudos com difração de raio X, nos anos 50, mostravam que a molécula do DNA deveria ter a estrutura de uma grande hélice. James D. Watson e Francis Crick propuseram um modelo para a molécula do DNA, visando a explicar tanto suas características químicas quanto seus papéis biológicos. Segundo o **modelo de Watson e Crick**, a molécula do DNA tem a estrutura de uma dupla hélice, como uma escada retorcida, com dois filamentos de nucleotídeos.

Fig. (A)

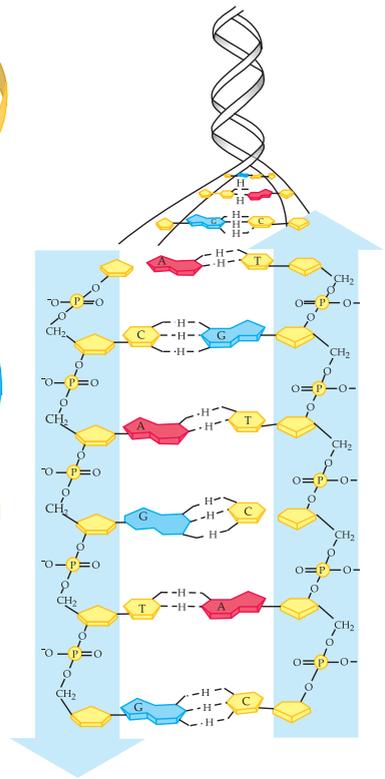


- = Hidrogênio ● = Ligação
- = Oxigênio ● = Carbono
- = Carbono ● = Fosfato
- = Nitrogênio

Fig. (B)



Fig (C)



O modelo de Watson e Crick para a molécula do DNA.



Os corrimãos da escada do modelo de Watson e Crick são formados pelas unidades açúcar-fosfato dos nucleotídeos. Cada degrau é constituído por um par de bases nitrogenadas (uma de cada filamento), sempre uma base púrica pareada com uma base pirimídica.

Observe, no esquema anterior (fig. C), que os dois filamentos complementares "correm" em sentido contrário.

A partir das relações descobertas por Chargaff, e estudando os possíveis locais de estabelecimento de pontes de hidrogênio entre duas bases nitrogenadas, Watson e Crick concluíram que as duas cadeias paralelas de nucleotídeos permanecem unidas por pontes de hidrogênio entre as bases, sempre da mesma maneira: **adenina com timina** e **citossina com guanina**. Independentemente de qual seja a seqüência de bases em um filamento, o outro tem seqüência exatamente complementar. Por exemplo, se em um filamento se encontra a seqüência:

A - T - T - C - G - T - A - G, o filamento complementar terá, obrigatoriamente:

T - A - A - G - C - A - T - C

Os dois filamentos da molécula poderiam ser assim representados:

A T T C G T A G
T A A G C A T C

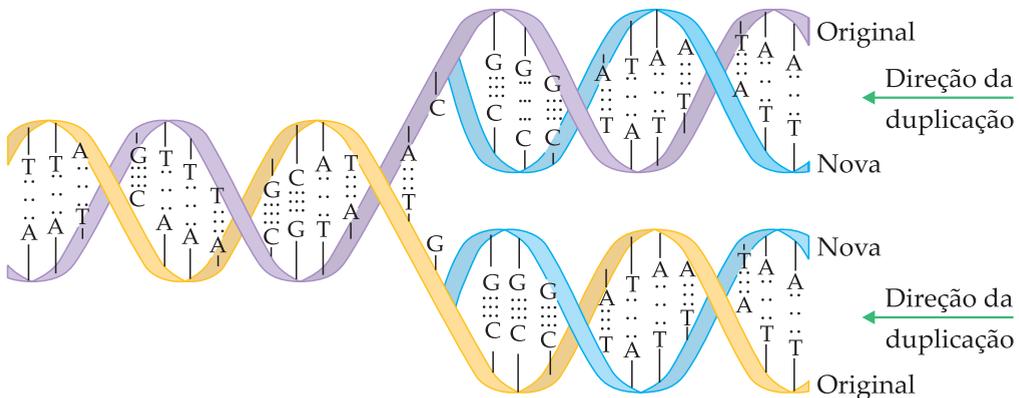
Uma propriedade importante do material genético é conter toda a informação genética.

A seqüência de bases do DNA é um "alfabeto" com quatro letras (A, T, C e G), nas mais diversas combinações. Um vírus tem filamentos de DNA com 10.000 nucleotídeos, enquanto o DNA presente nos 46 cromossomos humanos possui cerca de 3,2 bilhões de nucleotídeos.

Outra propriedade importante da molécula de DNA é a capacidade de se autoduplicar, gerando cópias perfeitas de si mesma. A expressão **autoduplicação** não é totalmente correta, pois, sem as enzimas e a matéria-prima necessárias, ela não ocorre.

Durante a duplicação do DNA, os dois filamentos se separam (por ruptura das pontes de hidrogênio), e a enzima **DNA-polimerase** utiliza cada filamento como "molde" para a montagem de um filamento novo. Os novos nucleotídeos são unidos entre si, obedecendo à seqüência ditada pelo filamento original. Em frente a uma adenina, posiciona-se uma timina (ou vice-versa) e, em frente a uma citossina, coloca-se uma guanina (ou vice-versa).

Dessa forma, quando o processo se completa, cada filamento original serviu de molde para a montagem de um filamento novo. Cada nova molécula de DNA tem, portanto, um filamento recém-formado e um filamento remanescente da molécula inicial. A duplicação é **semiconservativa**.



3. Ácido Ribonucléico

O RNA é encontrado no núcleo das células (livre ou associado ao DNA) e no citoplasma (livre no hialoplasma, associado aos ribossomos ou como constituinte deles).

A ação do DNA, como controlador celular, conta com o RNA, molécula capaz de **transcrever** e de **traduzir** as informações genéticas, sintetizando, a partir delas, as enzimas que irão catalisar as reações químicas da célula.

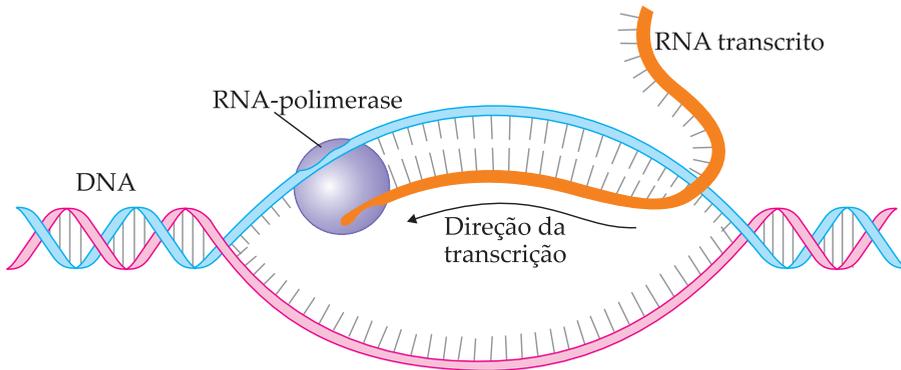
Os nucleotídeos de RNA possuem:

- a) grupo fosfato: PO_4^{-3} ;
- b) pentose: **ribose**;
- c) base nitrogenada: que pode ser **adenina**, **guanina**, **citossina** e **uracila**.

A molécula de RNA é formada por um único filamento, que pode estar dobrado sobre si mesmo.

Existem três tipos de RNA.

- I. **RNA mensageiro (RNAm):** é um único e longo filamento de RNA. Forma-se a partir de um filamento de DNA, que lhe serve de molde. Sua formação chama-se **transcrição**, e esse filamento é catalisado pela enzima **RNA-polimerase**. Por ruptura de pontes de hidrogênio, os filamentos de DNA se separam. Nucleotídeos de RNA emparelham-se aos seus complementares do DNA e unem-se para formar o filamento de RNA. No final do processo, o filamento recém-formado de RNA se desprende e os dois filamentos de DNA voltam a se ligar.

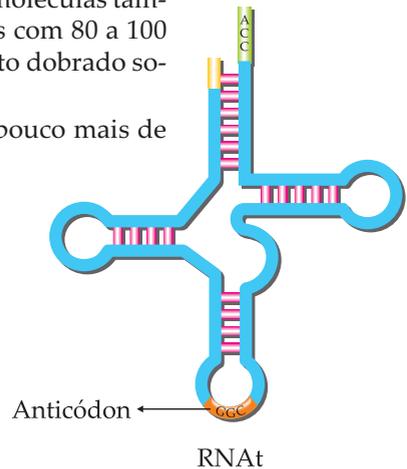


As mensagens no RNAm são transmitidas em seqüências de três nucleotídeos, os **códons**.

- II. **RNA de transferência ou transportador (RNAt):** suas moléculas também são formadas a partir de um molde de DNA, mas com 80 a 100 nucleotídeos apenas. Constitui-se de um único filamento dobrado sobre si mesmo, com aspecto de "folha de trevo".

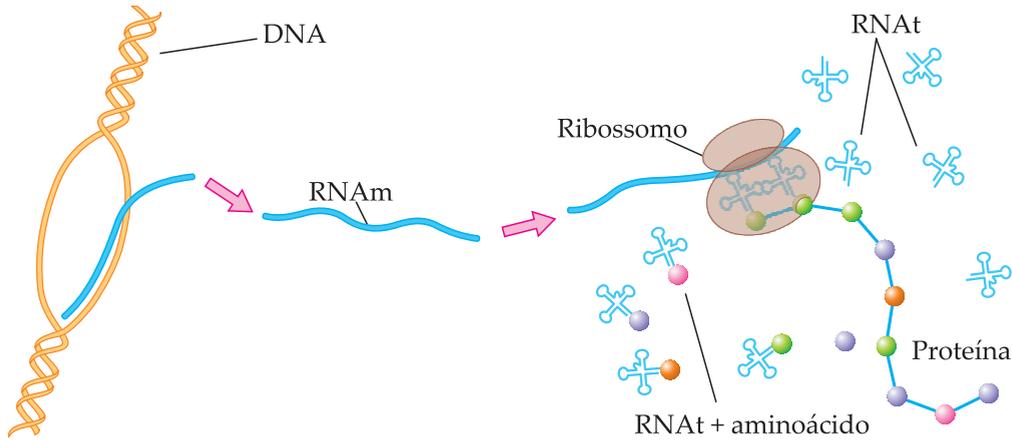
Todas as moléculas de RNAt são semelhantes. Existe pouco mais de vinte tipos de RNAt, um para cada tipo de aminoácido encontrado nas proteínas. A função do RNAt é fazer a ligação entre os aminoácidos e o RNAm na síntese de proteínas.

- III. **RNA ribossômico (RNAr):** forma-se a partir do DNA da região organizadora do nucléolo, presente em alguns cromossomos. Junto com as proteínas, são componentes estruturais dos ribossomos. Embora não totalmente clara, a função do RNAr parece orientar o RNAm, os RNAt e os aminoácidos durante o processo de síntese de proteínas.





O esquema a seguir mostra a relação entre DNA, RNAm, RNAt, RNAr e ribossomos no mecanismo de síntese de proteínas, que estudaremos no capítulo seguinte.



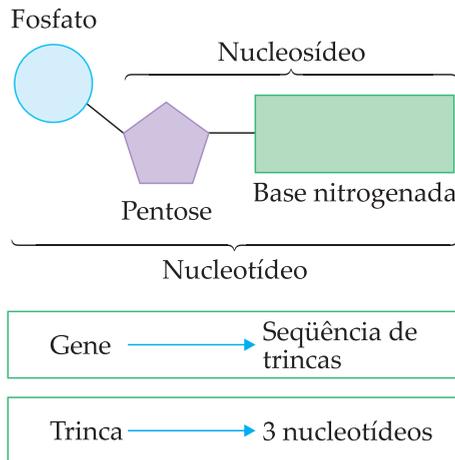
A Transcriptase Reversa

Trata-se de uma enzima presente em certos vírus (os **retrovírus**, por exemplo o HIV, que é causador da Síndrome da Imunodeficiência Adquirida). É capaz de montar o DNA tendo como molde uma molécula de RNA. A seqüência de bases do DNA formado é complementar à do RNA que serve de molde. Acredita-se que, além da aids, os retrovírus estejam envolvidos em algumas formas de câncer, nas quais as células hospedeiras incorporam o DNA (produzido a partir do RNA viral) ao seu genótipo, originando células cancerosas.

4. O Código Genético

O mecanismo de síntese de proteínas é comandado pelas moléculas de DNA. Na verdade, seqüências específicas das moléculas de DNA, denominadas genes, é que comandarão a síntese protéica nos seres vivos.

Os genes podem ser definidos como uma seqüência de **trincas** de nucleotídeos.



Como estudado nos módulos anteriores, o DNA é transcrito para a formação das moléculas de RNA.

As moléculas de RNA podem ser do tipo RNA mensageiro (RNAm), RNA transportador (RNAt) e RNA ribossômico (RNAr), que são importantes no mecanismo de síntese de proteínas.

A síntese de proteínas nas células dos seres vivos é realizada em duas etapas (**transcrição** e **tradução**), com uma grande especificidade entre as trincas do DNA, os códonos do RNA mensageiro (RNAm) e os aminoácidos.

O conjunto de trincas do DNA ou códonos do RNAm formam o **Código Genético**.

O código genético é constituído por 64 códonos para codificar vinte aminoácidos que entram na formação das proteínas.

Dizemos que esse código genético é universal, pois a codificação (especificidade códon e aminoácido) é a mesma para qualquer espécie.

As quatro bases do RNA (adenina, uracila, guanina e citosina), combinadas três a três, formam 64 códonos, que constituem o código genético.

Por que cada códon é formado por uma trinca de nucleotídeos?

Se o códon fosse constituído por uma única base nitrogenada, como existem quatro tipos de bases no DNA ou no RNA, apenas quatro aminoácidos seriam codificados.

4 bases (nucleotídeos) \longrightarrow 4 aminoácidos

$(4)^1 \longrightarrow$ 4 tipos de códonos, cada um codificando um aminoácido.

$(4)^1 =$ significa que cada base codifica um aminoácido.

Se o códon fosse constituído pela combinação de duas bases, como existem quatro tipos de bases no DNA ou no RNA, apenas dezesseis aminoácidos seriam codificados.

$(4)^2 \longrightarrow$ 16 tipos de códonos, codificando 16 aminoácidos.

$(4)^2 =$ significa que as quatro bases, combinadas duas a duas, formam 16 códonos.

Como percebemos, nenhuma das situações anteriores, para a formação dos códonos, seria suficiente para a codificação dos vinte tipos de aminoácidos que formam as proteínas dos seres vivos.

Então, vamos considerar que cada códon é constituído por uma trinca de nucleotídeos.

Se o códon é constituído pela combinação de três bases, como existem quatro tipos de bases no DNA ou no RNA, são 64 códonos possíveis para a codificação de 20 aminoácidos para a formação das proteínas.

$(4)^3 \longrightarrow$ 64 códonos codificando 20 aminoácidos.

$(4)^3 =$ significa que as quatro bases, combinadas três a três, formam 64 códonos.

A tabela a seguir mostra os 64 códonos que constituem o código genético.

Veja que, em muitos códonos, aparece a letra "U", que é o símbolo da base nitrogenada uracila, isto é, corresponde a um nucleotídeo, no qual está presente a base uracila, que é típica do RNA.

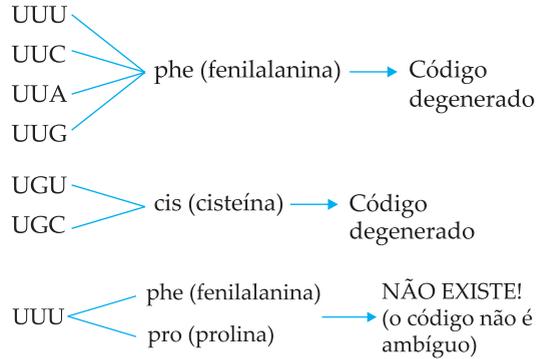
Poderíamos representar uma tabela do código genético baseada na molécula de DNA. Neste caso, ao invés da base uracila (U), teríamos a base timina (T) presente nas trincas do DNA.



SEGUNDA LETRA

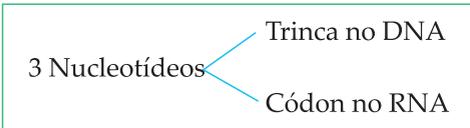
		U	C	A	G	
PRIMEIRA LETRA	U	UUU } phe	UCU } ser	UAU } tir	UGU } cis	U
		UUC } phe	UCC } ser	UAC } tir	UGC } cis	C
		UUA } leu	UCA } ser	UAA parada	UGA parada	A
		UUG } leu	UCG } ser	UAG parada	UGG Tri	G
	C	CUU } leu	CCU } pro	CAU } his	CGU } arg	U
		CUC } leu	CCC } pro	CAC } his	CGC } arg	C
		CUA } leu	CCA } pro	CAA } glu	CGA } arg	A
		CUG } leu	CCG } pro	CAG } glu	CGG } arg	G
	A	AUU } iso	ACU } thr	AAU } asn	AGU } ser	U
		AUC } iso	ACC } thr	AAC } asn	AGC } ser	C
		AUA } iso	ACA } thr	AAA } lis	AGA } arg	A
		AUG Met	ACG } thr	AAG } lis	AGG } arg	G
	G	GUU } val	GCU } ala	GAU } asp	GGU } gli	U
		GUC } val	GCC } ala	GAC } asp	GGC } gli	C
		GUA } val	GCA } ala	GAA } glu	GGA } gli	A
		GUG } val	GCG } ala	GAG } glu	GGG } gli	G

Não existe ambigüidade no código genético, porque um mesmo códon não codificará dois aminoácidos diferentes ao mesmo tempo.



O código genético é constituído por 64 códons.

As letras A, G, C e U representam respectivamente: adenina, citosina, guanina e uracila.



5. Propriedades do Código Genético

Uma das propriedades do código genético é conseqüência do fato de existirem 64 códons para a codificação de 20 aminoácidos no mecanismo de síntese de proteínas.

Observe que existem aminoácidos como a metionina (met) e o triptofano (tri), que são codificados por um único códon.

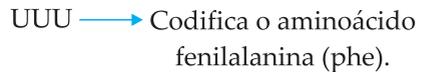


Existem aminoácidos que são codificados por dois ou mais códons, situação que denominamos código genético degenerado.

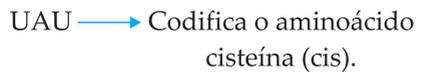
Essa expressão “código genético degenerado” significa que um mesmo aminoácido pode ser codificado por mais de um códon, mas o contrário não ocorre.

Pelo fato de o código genético ser degenerado, isto é, dois ou mais códons codificando um mesmo aminoácido, nem sempre uma mutação no material genético (DNA) provocará alteração na seqüência de aminoácidos de uma proteína.

Veja o esquema a seguir:



Se ocorrer uma mutação alterando o 2º nucleotídeo desse códon: (trocando “U” por “A”),



Na estrutura primária da proteína que está sendo sintetizada, ocorrerá a substituição do aminoácido fenilalanina por cisteína, mudando a seqüência e o tipo de aminoácido na estrutura primária da proteína.

Como conseqüência também se mudariam a estrutura terciária e a função biológica dessa proteína.

Mas se, por exemplo, a mutação provocar uma alteração no 3º nucleotídeo do códon UUU, substituindo a 3ª uracila por citosina, a seqüência de aminoácidos na proteína não sofrerá alteração pelo fato de o código genético ser degenerado para esse aminoácido.

Tanto o códon UUU quanto o códon UUC codificam o mesmo aminoácido (fenilalanina).

UUU — fenilalanina (phe)
 UUC — fenilalanina (phe)

Podemos, então, concluir que, nem sempre, uma mutação provocará alteração na seqüência de aminoácidos de uma proteína e numa característica de um indivíduo.

Repare, ainda, na tabela do código genético, que três códons: UAA, UAG e UGA não codificam aminoácidos. Esses códons são chamados códons de “parada”, sendo importantes pontos de determinação de início e final de seqüências específicas de aminoácidos no mecanismo de síntese de proteínas.

6. Síntese de Proteínas

6.1. A Transferência de Informações

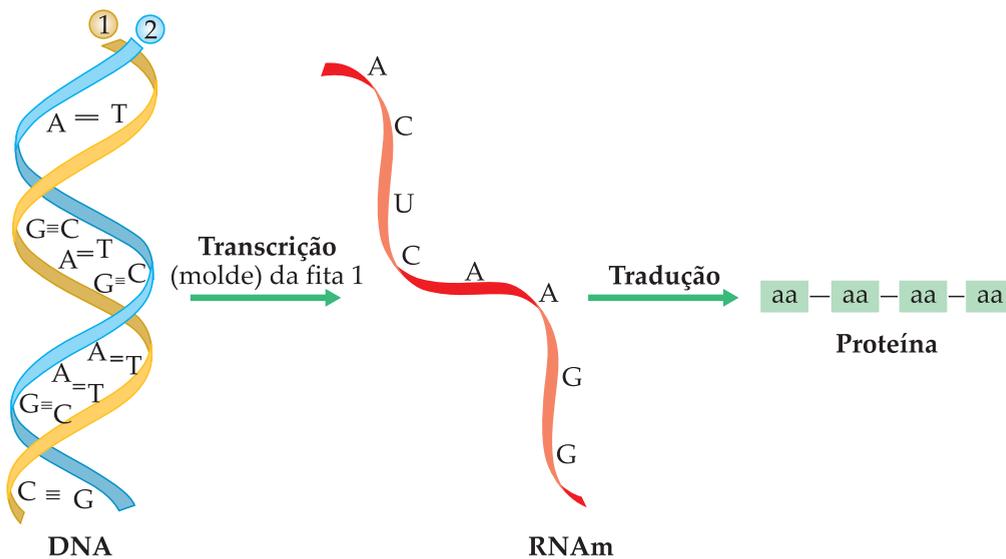
As informações genéticas para controle da atividade celular e para transmissão de características hereditárias estão nas moléculas de DNA, presentes nos cromossomos das

células. O comando metabólico exercido pelo DNA passa pelo controle da produção de enzimas, proteínas que atuam como catalisadores. Determinando a síntese de uma certa enzima, o DNA está, indiretamente, determinando a ocorrência da etapa metabólica por ela catalisada.

1 gene → 1 enzima → 1 característica

Como o DNA comanda a produção de proteínas? As primeiras idéias a respeito sugeriam que a molécula de DNA serviria de “molde” para a formação das proteínas. Essa hipótese foi abandonada pela impossibilidade de se conseguir um encaixe físico-químico entre o DNA (molde) e a proteína (produto).

A descoberta do RNA mensageiro, por Jacob e Monod, esclareceu o vínculo entre o DNA e os ribossomos, organóides que participam da síntese protéica. No processo da **transcrição**, um filamento de DNA serve de modelo para a montagem do RNA mensageiro, que contém seqüência de nucleotídeos complementar à seqüência do filamento de DNA que o originou. Por exemplo:





Observe que a seqüência do RNA_m não é a mesma do DNA, mas é complementar, de acordo com a especificidade das bases dos nucleotídeos.

DNA	RNA _m
A	→ U
T	→ A
C	→ G
G	→ C

A seqüência de nucleotídeos do RNA_m deve, agora, ditar a ordem na qual os aminoácidos irão se ligar para formarem a proteína. A leitura dessa receita é realizada pelos ribossomos. A molécula do RNA_m pode ser vista, então, como uma frase escrita com um alfabeto de apenas quatro letras:

- Adenina – nucleotídeo = A
- Uracila – nucleotídeo = U
- Citosina – nucleotídeo = C
- Guanina – nucleotídeo = G

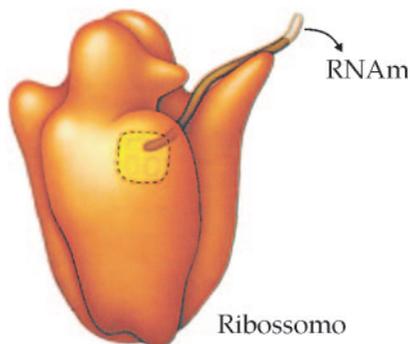
A tradução do código escrito do RNA_m e a produção das proteínas ocorrem nos ribossomos.

6.2. Os Ribossomos

Os ribossomos estão presentes em células procarióticas e eucarióticas. A maioria dos ribossomos está aderida às membranas do retículo endoplasmático, formando o **ergastoplasma**, muito desenvolvido nas células que sintetizam proteínas para exportação, como as enzimas digestivas. Existem ribossomos dispersos pelo citoplasma, relacionados com a produção de proteínas para uso interno ou para crescimento celular. Quando vários ribossomos (de 10 a 20, em geral) se encontram ligados a um filamento de RNA_m, formam os **polirribossomos** ou **polissomos**. Podem ser encontrados ribossomos no interior das mitocôndrias e dos cloroplastos.

Os ribossomos são constituídos por duas subunidades, uma um pouco menor que a

outra. Ambas são constituídas por RNA ribossômico (RNA_r) e por proteínas, algumas com função catalítica, permitindo a ligação dos aminoácidos que irão formar a proteína que está sendo produzida. Imagina-se que o RNA ribossômico estabilize a ligação entre o RNA mensageiro e os RNA transportadores, unindo-se a ambos. O RNA ribossômico representa 80% do RNA celular.

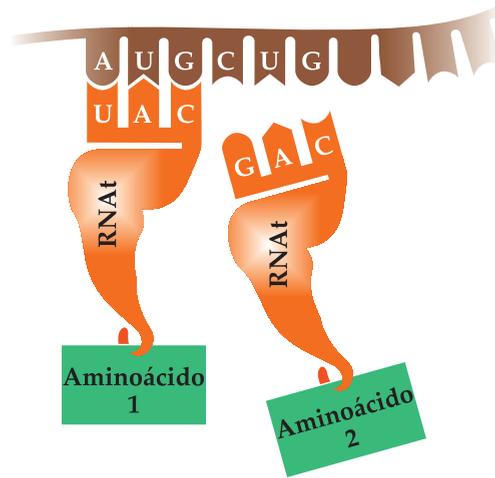


6.3. Tradução

A molécula de RNA_m, produzida a partir de um filamento de DNA, é sintetizada no núcleo e se dirige para o citoplasma. Como já foi dito, cada seqüência de 3 nucleotídeos do RNA_m codifica um aminoácido. No DNA, cada trinca de nucleotídeos constitui um **triplete**. No RNA_m, cada grupo de 3 nucleotídeos é chamado de **códon**.

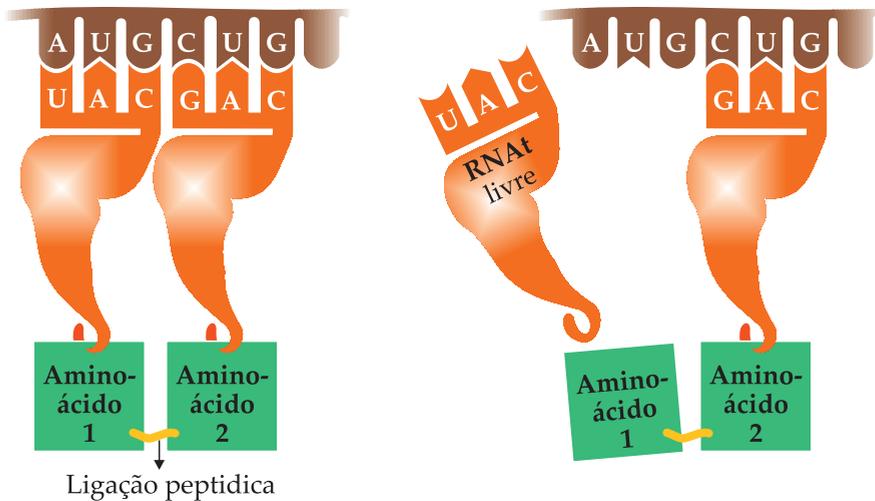
Assim, uma proteína de 100 aminoácidos tem a sua produção comandada por um RNA_m com 300 nucleotídeos, ou seja, 100 **códons**.

No citoplasma, um ribossomo se liga ao RNA_m, dando início à **tradução**. Os ribossomos deslocam-se ao longo do RNA_m, como um bonde sobre os trilhos. A cada seqüência de 3 nucleotídeos (um códon), uma molécula de RNA transportador, com o seu aminoácido, liga-se momentaneamente ao códon do RNA_m. A ligação ocorre porque o RNA_t possui, na extremidade oposta à que se liga ao aminoácido, uma seqüência de 3 nucleotídeos complementares ao códon. É o **anticódon**.



Quando o códon AUG é traduzido pelo ribossomo, o RNA_t com anticódon UAC liga-se ao códon, trazendo o aminoácido correspondente.

Após a leitura do primeiro códon, o ribossomo desloca-se para o seguinte, onde outro RNA_t se liga, trazendo um outro aminoácido. Por ação da enzima **peptidil-transferase**, presente no ribossomo, o aminoácido recém-chegado se une ao primeiro, através de uma ligação peptídica.



Após a ligação peptídica o RNA_t do aminoácido 1 fica livre

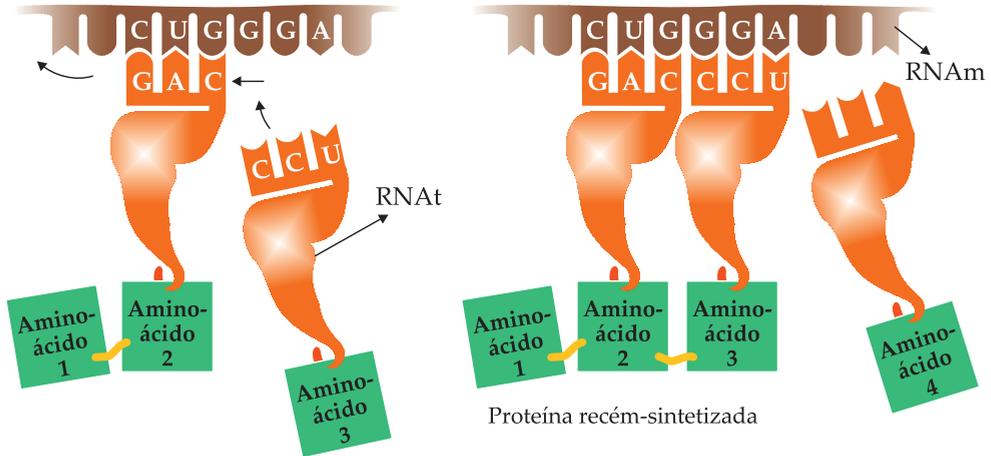
À medida que os códon do RNA_m vão sendo percorridos pelo ribossomo, outros aminoácidos vão se ligando, até se formar a proteína. Como vários ribossomos se deslocam simultaneamente pelo mesmo filamento de RNA_m, várias moléculas de proteínas são produzidas ao mesmo tempo. A seqüência na qual os aminoácidos se ligam obedece à seqüência de códon do RNA_m, que reflete fielmente a seqüência de nucleotídeos da molécula do DNA.

Cada aminoácido tem o seu RNA_t específico. Como existem 20 aminoácidos, devem existir pelo menos 20 RNA_t diferentes.



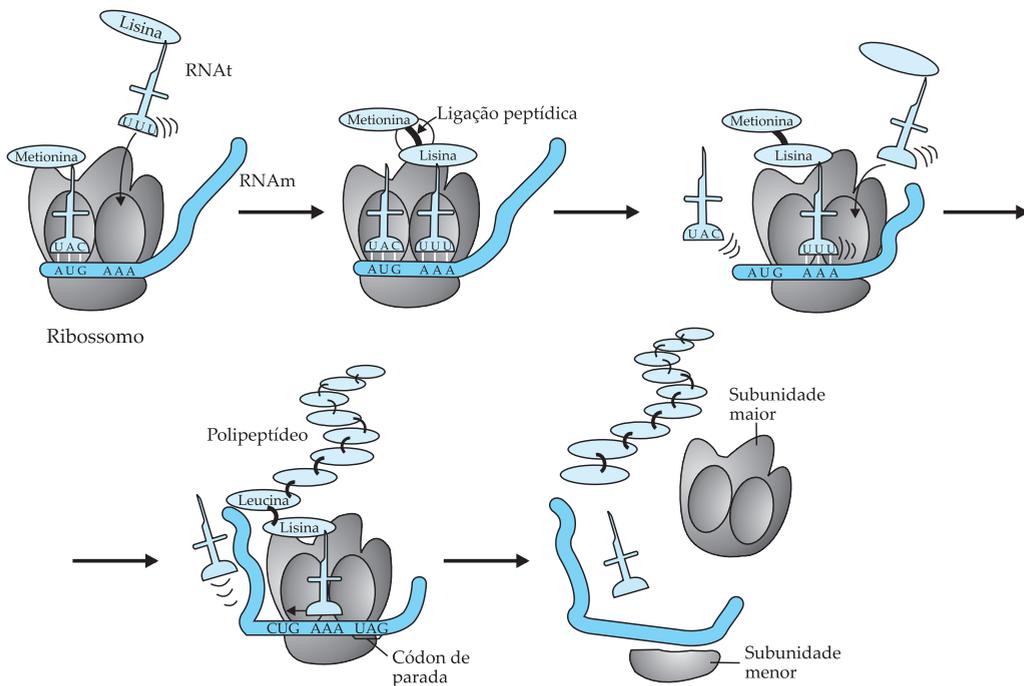
A ligação dos ribossomos com o RNA_m se faz sempre na mesma extremidade do filamento, impedindo que a informação seja lida de trás para frente ou pela metade.

Concluindo, chama-se **tradução** a leitura dos códons do RNA_m pelos anticódons do RNA_t, conforme o ribossomo percorre a fita do RNA_m.



O mecanismo da síntese proteica: cada dois aminoácidos estão ligados por uma ligação peptídica.

O Mecanismo da Síntese de Proteínas



A transcrição e a tradução na síntese de proteínas

Capítulo 04. Membrana Celular

1. Introdução

Todas as células são capazes de controlar a passagem de substâncias do hialoplasma para o meio extracelular e vice-versa. O permanente fluxo de partículas se dá através de um revestimento muito delgado, presente em todas as células vivas. É a **membrana plasmática** ou **plasmalema**. As células eucarióticas possuem, ainda, um rico sistema de membranas em seu interior, formando uma rede de canais (como o retículo endoplasmático) ou revestindo organelas e o núcleo. As mitocôndrias e os cloroplastos possuem um sistema interno de membranas (cristas mitocondriais e lamelas, respectivamente). Essa intensa compartimentação das células favorece a ocorrência simultânea de um grande número de atividades, que não poderiam ocorrer em um meio único.

Tanto a membrana de revestimento externo como os sistemas internos de membranas têm algumas características comuns.

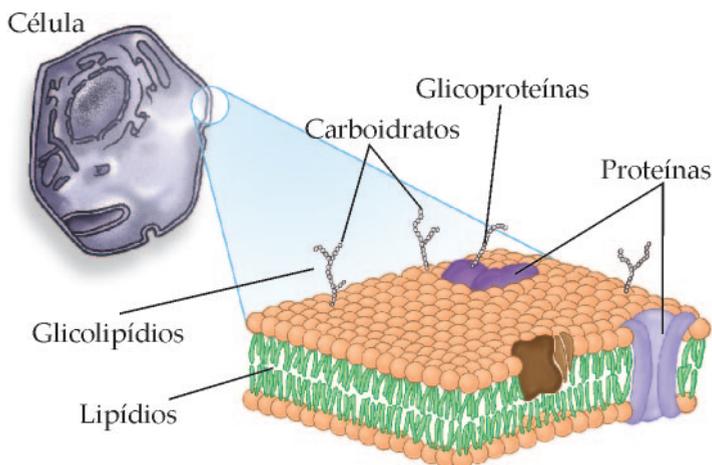
2. Estrutura

A membrana plasmática é muito fina, o que torna impossível sua observação ao mi-

croscópio óptico. Entretanto, sua existência já era admitida antes do advento da microscopia eletrônica. Uma das primeiras evidências disso foi a observação de que o volume celular se modifica de acordo com a concentração das soluções nas quais as células são colocadas.

Estudos químicos diretos e a análise da permeabilidade celular mostram que a membrana tem composição **lipoproteica**, isto é, contém lipídios e proteínas em sua estrutura. A porção lipídica envolve fosfolípídios, esteróides, triglicerídeos e glicolípídios.

Os lipídios possuem, em suas moléculas, uma extremidade **hidrofóbica** (sem afinidade pela água) e outra **hidrofílica** (com afinidade pela água). A membrana plasmática possui uma **camada biomolecular de lipídios**, com suas porções hidrofóbicas voltadas para dentro da membrana, e as porções hidrofílicas voltadas para fora. Mergulhadas neste tapete de lipídios, encontram-se **moléculas de proteínas**, ora expostas na face interna, ora na face externa ou em ambas as faces.



A estrutura da membrana celular ao microscópio eletrônico



Este modelo de arranjo molecular, proposto por Singer e Nicholson, é atraente por apresentar correspondência com a observação da membrana ao microscópio eletrônico. As camadas eletrodensas correspondem às porções hidrofílicas dos lipídios, enquanto a camada central corresponde às porções hidrofóbicas.

A espessura total da membrana é de apenas 75 ângstrons.

A superfície externa da membrana celular é coberta pelo **glicocálix**, um conjunto de substâncias que envolve glicoproteínas, lipoproteínas etc.

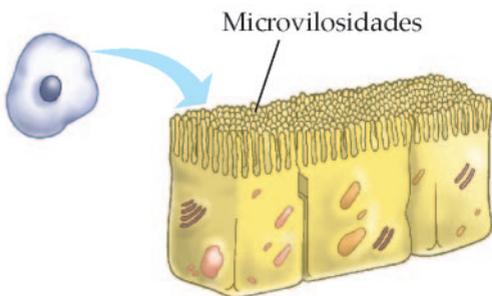
Além de ser uma estrutura de proteção mecânica para a célula, a membrana celular é importante na permeabilidade seletiva, controla a entrada e a saída de materiais da célula.

3. Diferenciações

Para desempenharem algumas funções especiais, as células podem ter modificações específicas em sua membrana.

3.1. Microvilosidades

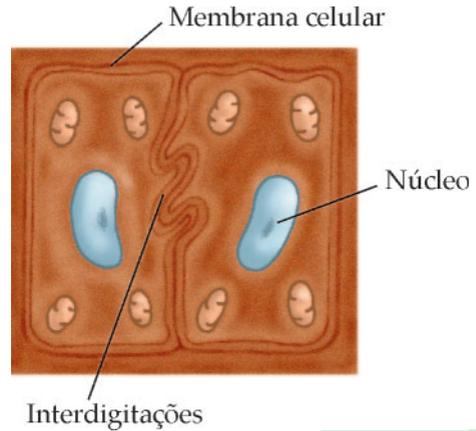
Expansões semelhantes a dedos de luvas, que aumentam a superfície de absorção. Existem na mucosa intestinal e nos túbulos renais.



Microvilosidades na mucosa intestinal

3.2. Interdigitações

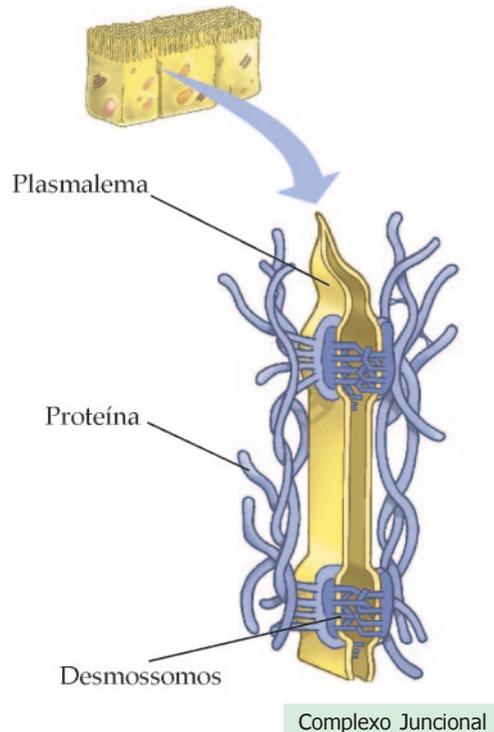
Conjunto de saliências e reentrâncias nas membranas de células vizinhas, que se encaixam facilitando as trocas entre elas. São observadas nas células epiteliais.



Interdigitações

3.3. Desmossomos

São placas arredondadas formadas pelas membranas de células vizinhas. O espaço entre as membranas é ocupado por um material mais eletrodenso que o glicocálix. Na superfície interna, inserem-se filamentos que mergulham no interior da célula. É o local de “ancoragem” dos componentes do citoesqueleto e de forte adesão entre células vizinhas.



4. Transporte

A capacidade de uma membrana de ser atravessada por algumas substâncias e não por outras define sua **permeabilidade**. Em uma solução, encontram-se o **solvente** (meio líquido dispersante) e o **soluto** (partícula dissolvida). Classificam-se as membranas, de acordo com a permeabilidade, em 4 tipos:

- a) **permeável**: permite a passagem do solvente e do soluto;
- b) **impermeável**: não permite a passagem do solvente nem do soluto;
- c) **semipermeável**: permite a passagem do solvente, mas não do soluto;
- d) **seletivamente permeável**: permite a passagem do solvente e de alguns tipos de soluto.

Nessa última classificação se enquadra a membrana plasmática.

A passagem aleatória de partículas sempre ocorre de um local de maior concentração para outro de concentração menor (a favor do **gradiente de concentração**). Isso se dá até que a distribuição das partículas seja uniforme. A partir do momento em que o equilíbrio for atingido, as trocas de substâncias entre dois meios tornam-se proporcionais.

A passagem de substâncias através das membranas celulares envolve vários mecanismos, entre os quais podemos citar:

- I. Transporte passivo
 - Osmose
 - Difusão simples
 - Difusão facilitada
 - Fagocitose
 - Pinocitose
- II. Transporte ativo
 - Bomba de sódio e potássio

5. Transporte Passivo

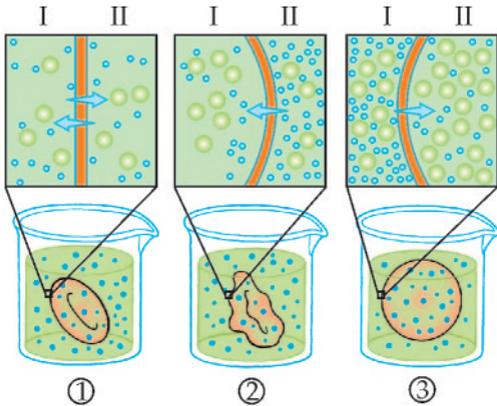
Ocorre sempre a favor do gradiente, no sentido de igualar as concentrações nas duas faces da membrana. Não envolve gasto de energia.

5.1. Osmose

A água se movimentava livremente através da membrana, sempre do local de menor concentração de soluto para o de maior concentração. A pressão com a qual a água é forçada a atravessar a membrana é conhecida por **pressão osmótica**. A osmose não é influenciada pela natureza do soluto, mas pelo número de partículas. Quando duas soluções contêm a mesma quantidade de partículas por unidade de volume, mesmo que não sejam do mesmo tipo, exercem a mesma pressão osmótica e são **isotônicas**. Caso sejam separadas por uma membrana, haverá fluxo de água nos dois sentidos de modo proporcional.

Quando se comparam soluções de concentrações diferentes, a que possui mais soluto e, portanto, maior pressão osmótica é chamada **hipertônica**, e a de menor concentração de soluto e menor pressão osmótica é **hipotônica**. Separadas por uma membrana, há maior fluxo de água da solução hipotônica para a hipertônica, até que as duas soluções se tornem isotônicas.

A osmose pode provocar alterações de volume celular. Uma hemácia humana é isotônica em relação a uma solução de cloreto de sódio a 0,9% (“solução fisiológica”). Caso seja colocada em um meio com maior concentração, perde água e murcha. Se estiver em um meio mais diluído (hipotônico), absorve água por osmose e aumenta de volume, podendo romper (hemólise).



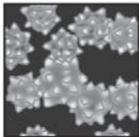
Legenda:

- - Solvente
- - Solute

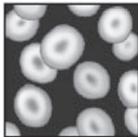
I - meio extracelular
II - meio intracelular



solução isotônica



solução hipertônica

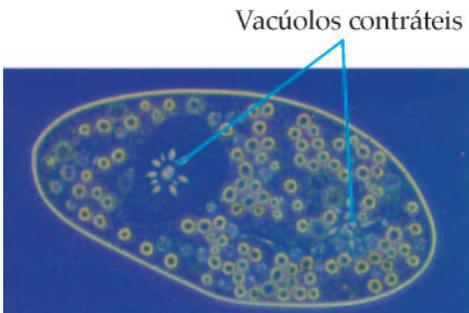


solução hipotônica

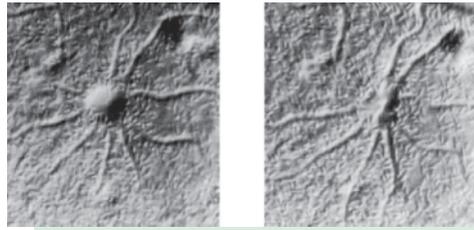
- 1 - Hemácia com volume normal
- 2 - Hemácia crenada
- 3 - Hemácia sofre hemólise

Osmose na célula animal. As figuras mostram o comportamento das células em diferentes situações.

Se um paramécio é colocado em um meio hipotônico, absorve água por osmose. O excesso de água é eliminado pelo aumento de frequência dos batimentos do vacúolo pulsátil (ou contrátil).



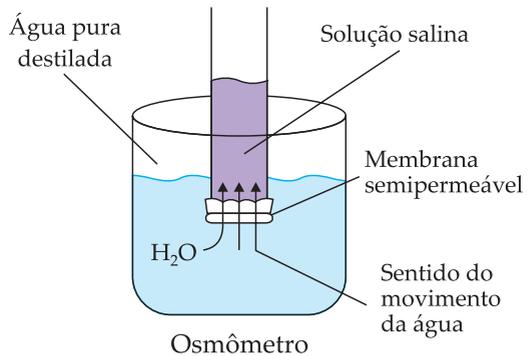
Paramécio - um protozoário de água doce



Vacúolos contráteis ao microscópio eletrônico

Protozoários marinhos não possuem vacúolo pulsátil, já que o meio externo é hipertônico.

A pressão osmótica de uma solução pode ser medida em um **osmômetro**. A solução avaliada é colocada em um tubo de vidro fechado com uma membrana semipermeável, introduzido em um recipiente contendo água destilada, como mostra a figura.

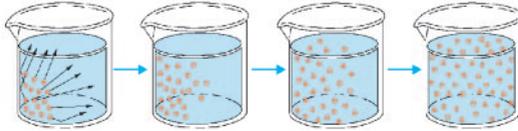


Por osmose, a água entra na solução fazendo subir o nível líquido no tubo de vidro. Como no recipiente há água destilada, a concentração de partículas na solução será sempre maior que fora do tubo de vidro. Todavia, quando o peso da coluna líquida dentro do tubo de vidro for igual à força osmótica, o fluxo de água cessa. Conclui-se, então, que a pressão osmótica da solução é igual à pressão hidrostática exercida pela coluna líquida.

5.2. Difusão

Consiste na passagem das moléculas do soluto, do local de maior para o local de menor concentração, até estabelecer um equilíbrio. É um processo lento, exceto quando o gradiente de concentração for muito elevado

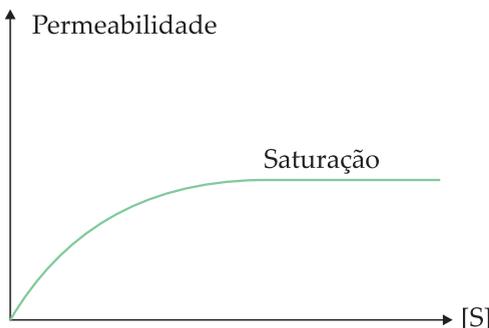
ou as distâncias percorridas forem curtas. A passagem de substâncias, através da membrana, se dá em resposta ao gradiente de concentração.



Processo de difusão simples

5.3. Difusão Facilitada

Certas substâncias entram na célula a favor do gradiente de concentração e sem gasto energético, mas com uma velocidade maior do que a permitida pela difusão simples. Isto ocorre, por exemplo, com a glicose, com alguns aminoácidos e certas vitaminas. A velocidade da difusão facilitada não é proporcional à concentração da substância. Aumentando-se a concentração, atinge-se um ponto de saturação, a partir do qual a entrada obedece à difusão simples. Isto sugere a existência de uma molécula transportadora chamada **permease** na membrana. Quando todas as permeases estão sendo utilizadas, a velocidade não pode aumentar. Como alguns solutos diferentes podem competir pela mesma permease, a presença de um dificulta a passagem do outro.



[S] – Substância a ser transportada.

6. Osmose na Célula Vegetal

6.1. Introdução

Como já foi dito anteriormente, se duas soluções se mantêm separadas por uma membrana semipermeável, ocorre fluxo de água da solução mais diluída para a mais concentrada. Essa difusão do solvente chama-se **osmose**.

Quando uma célula vegetal está em meio hipotônico, absorve água. Ao contrário da célula animal, ela não se rompe, pois é revestida pela **parede celular** ou **membrana celulósica**, que é totalmente permeável, mas tem elasticidade limitada, restringindo o aumento do volume da célula. Assim, a entrada de água na célula não depende apenas da diferença de pressão osmótica entre o meio extracelular e o meio intracelular (principalmente a pressão osmótica do suco vacuolar, líquido presente no interior do vacúolo da célula vegetal). Depende, também, da pressão contrária exercida pela parede celular. Essa pressão é conhecida por **pressão de turgescência**, ou resistência da membrana celulósica à entrada de água na célula.

6.2. As Relações Hídricas da Célula Vegetal

A osmose na célula vegetal depende da pressão osmótica (PO) exercida pela solução do vacúolo, que também é chamada de sucção interna do vacúolo (Si). Podemos chamar a pressão osmótica ou sucção interna do vacúolo de força de entrada de água na célula vegetal.

Conforme a água entra na célula vegetal, a membrana celulósica sofre deformação e começa exercer força contrária à entrada de água na célula vegetal.

Essa força de resistência à entrada de água na célula vegetal é denominada pressão de Turgor ou Turgescência (PT) ou resistência da membrana celulósica (M).



Essa turgescência à entrada de água na célula vegetal pode ser chamada de força de saída de água da célula vegetal.

A diferença entre as forças de entrada e saída de água da célula vegetal é denominada de diferença de pressão de difusão DPD ou sucção celular (Sc).

Assim, temos:

$$DPD = PO - PT$$

ou

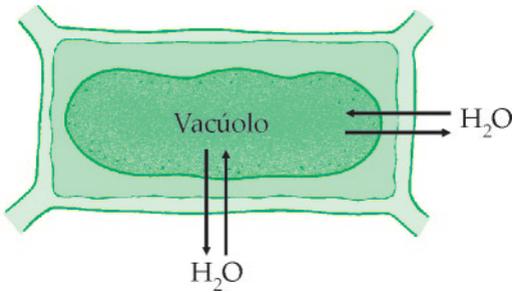
$$Sc = Si - M$$

I. A Célula Vegetal em Meio Isotônico

Quando está em meio isotônico, a parede celular não oferece resistência à entrada de água, pois não está sendo distendida (PT = zero). Mas, como as concentrações de partículas dentro e fora da célula são iguais, a diferença de pressão de difusão é nula.

A célula está **flácida**. A força de entrada de água é igual à força de saída de água da célula.

Como $DPD = PO - PT \Rightarrow DPD = zero$



Célula vegetal flácida

II. A Célula Vegetal em Meio Hipotônico

Quando o meio é hipotônico, há diferença de pressão osmótica entre os meios intra e extracelular. À medida que a célula ab-

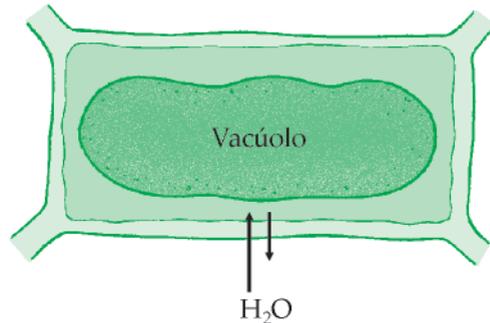
sorve água, distende a membrana celulósica, que passa a oferecer resistência à entrada de água. Ao mesmo tempo, a entrada de água na célula dilui o suco vacuolar, cuja pressão osmótica diminui. Em certo instante, a pressão de turgescência (PT) se iguala à pressão osmótica (PO), tornando a entrada e a saída de água proporcionais.

$PO = PT$, portanto

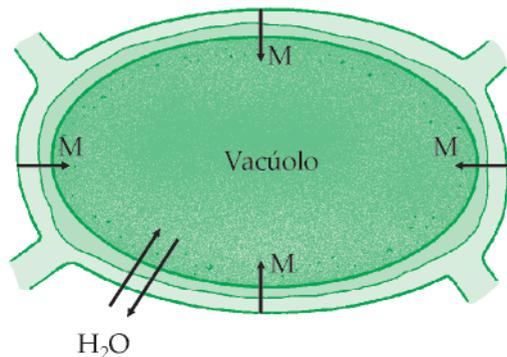
$DPD = PO - PT \Rightarrow DPD = zero$

A célula está **túrgida**.

Início ($PO > PT$)



Final ($PO = PT$)



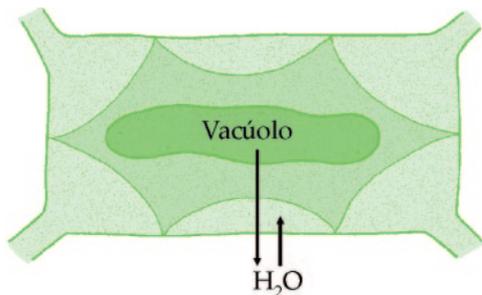
Célula Vegetal Túrgida.

III. A Célula Vegetal em Meio Hipertônico

Quando a célula está em meio hipertônico, perde água e seu citoplasma se retrai, deslocando a membrana plasmática da parede celular. Como não há deformação da parede celular, ela não exerce pressão de turgescência (PT = zero). Nesse caso:

$$DPD = PO$$

Diz-se que a célula está **plasmolisada**. Se a célula plasmolisada for colocada em meio hipotônico, absorve água e retorna à situação inicial. O fenômeno inverso à plasmólise chama-se **deplasmólise** ou **desplasmólise**.



Célula vegetal plasmolisada

Quando a célula fica exposta ao ar, perde água por evaporação e se retrai. Nesse caso, o retraimento é acompanhado pela parede celular. Retraída, a membrana celulósica não oferece resistência à entrada de água. Pelo contrário, auxilia-a. A célula está **dessecada** ou **murcha**.

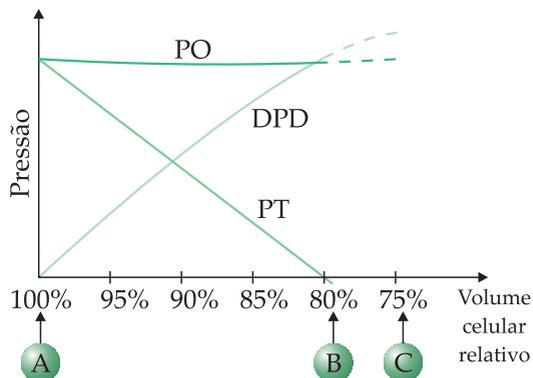
Como a parede celular está retraída, exerce uma pressão no sentido de voltar à situação inicial e acaba favorecendo a entrada de água na célula vegetal. Assim, temos uma situação contrária da célula túrgida e o valor de (PT) ou (M) é negativo.

A expressão das relações hídricas da célula vegetal ficará assim:

$$DPD = PO - (-PT)$$

$$DPD = PO + PT$$

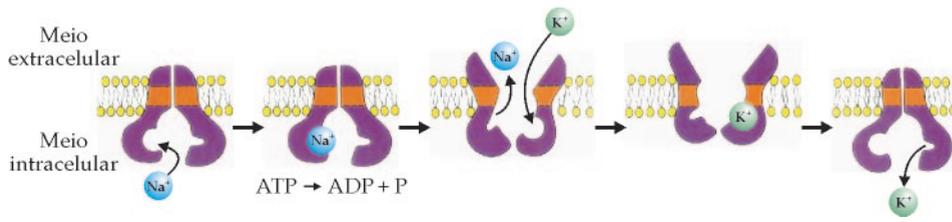
O gráfico a seguir, conhecido por diagrama de Höfler, ilustra as variações de pressões expostas anteriormente.



Na situação A, a célula está túrgida (PO = PT e DPD = zero). Em B, PT = zero e DPD = PO, a célula está plasmolisada. Se a parede celular se retrai, a pressão de turgescência passa a auxiliar a entrada de água (DPD > PO), como indicado na situação C, de uma célula dessecada.

7. Transporte Ativo

Neste processo, as substâncias são transportadas com gasto de energia, podendo ocorrer do local de menor para o de maior concentração (**contra o gradiente de concentração**). Esse gradiente pode ser químico ou elétrico, como no transporte de íons. O transporte ativo age como uma “porta giratória”. A molécula a ser transportada liga-se à molécula transportadora (proteína da membrana) como uma enzima se liga ao substrato. A molécula transportadora gira e libera a molécula carregada no outro lado da membrana. Gira, novamente, voltando à posição inicial. A **bomba de sódio e potássio** liga-se em um íon Na⁺ na face interna da membrana e o libera na face externa. Ali, se liga a um íon K⁺, liberando-o na face interna. A energia para o transporte ativo vem da hidrólise do ATP.



O mecanismo da bomba de sódio e potássio.

Capítulo 05. Secreção e Digestão Celular

1. Complexo Golgiense

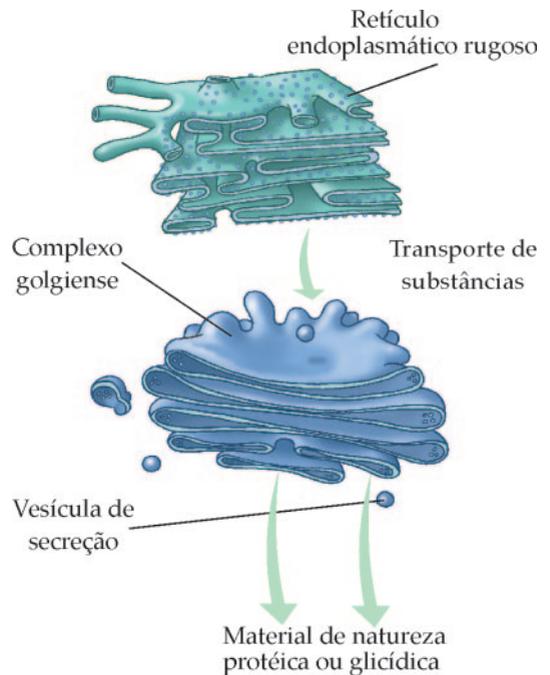
1.1. Introdução

A síntese de proteínas, no interior das células, é realizada pelos ribossomos. Alguns se encontram isolados no citoplasma, outros se associam para formar as cadeias dos **polirribossomos**, e um grande número deles se associa às membranas do retículo endoplasmático rugoso. A produção de proteínas pelos ribossomos do ergastoplasma (RER) se processa de forma diferente, pois introduz, nas dobras das membranas do retículo, as proteínas sintetizadas. A introdução das proteínas no retículo endoplasmático chama-se **segregação** e tem grande importância funcional, pois separa do hialoplasma as substâncias que serão acumuladas em grânulos ou exportadas para fora das células. As proteínas lançadas no retículo endoplasmático podem ter três destinos:

- 1) serem exportadas sem se acumularem em grânulos;
- 2) serem acumuladas em grânulos para utilização na própria célula, como as enzimas lisossômicas;
- 3) serem acumuladas em grânulos para exportação, cuja exteriorização na superfície é denominada **exocitose**.

As células que realizam as atividades acima descritas possuem um ergastoplasma muito desenvolvido. As proteínas passam, no próprio ergastoplasma e no complexo golgiense, por uma série de **transformações pós-traducionais** (após a tradução).

1.2. Estrutura



Retículo endoplasmático, complexo de Golgi e vesículas de secreção.

Descrito por Camilo Golgi, em 1898, esse organóide pertence ao conjunto de cavidades delimitadas por membranas lipoproteicas. Constitui-se de pilhas de sacos achatados, dispersos no citoplasma. Na periferia desses sacos, surgem pequenas vesículas, por brotamento. As unidades estruturais do complexo golgiense são chamadas **dictiossomos**.

As membranas do complexo golgiense são lipoprotéicas e podem ser impregnadas por corantes com sais de ósmio ou de prata.

Suas funções são muito variadas. Nos sacos do complexo golgiense, muitas substâncias podem ser acumuladas, concentradas e empaco-



tadas nas vesículas que brotam da sua periferia. As proteínas produzidas no ergastoplasma podem ser concentradas no complexo golgiense, que participa, também, da produção de polissacarídeos e de glicoproteínas.

Tem papel destacado nas células que produzem suas substâncias de exportação. A produção de substâncias que irão ter função fora da célula constitui a **secreção celular**.

1.3. A Secreção Celular

O estudo da secreção celular pode ser feito pela análise da atividade secretora de uma estrutura glandular como as células acinosas do pâncreas.

O processo de secreção envolve a atividade das organelas do retículo endoplasmático rugoso (RER) e do complexo golgiense com suas vesículas de secreção.

No retículo endoplasmático rugoso, também chamado de ergastoplasma, ocorre síntese protéica com incorporação de aminoácidos – **fase de síntese**.

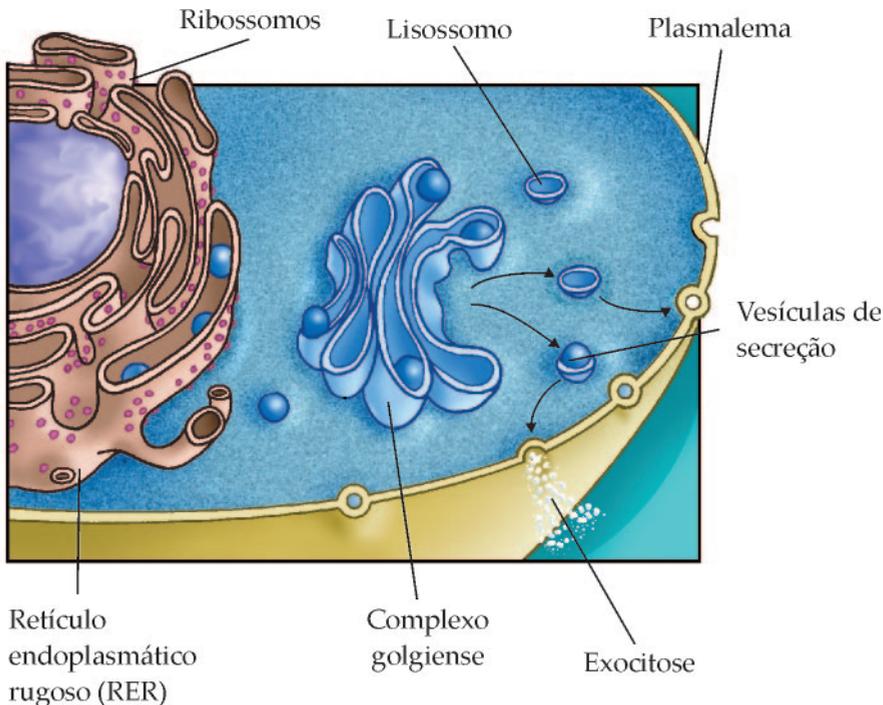
Em vesículas que brotam das cavidades do ergastoplasma, as proteínas são levadas às vesículas do complexo golgiense, fundindo-se a elas.

Do complexo golgiense formam-se grânulos com as proteínas em seu interior – **fase de concentração e embalagem**.

Esses grânulos, denominados grânulos de zimógeno, são direcionados para fora do complexo golgiense na forma de vesículas de secreção – **fase de armazenamento**. No final do processo, as vesículas de secreção são direcionadas para a região da membrana, para liberar a secreção para o local de atuação – **fase de descarga** (exocitose).

O local de atuação da secreção celular pode ser uma cavidade corporal digestiva, fora do corpo, ou no sangue. Neste último caso, a secreção é denominada hormônio.

A figura a seguir mostra a interação funcional entre o retículo endoplasmático rugoso e o complexo de golgiense no mecanismo da **secreção celular**.



1.4. Outras Funções

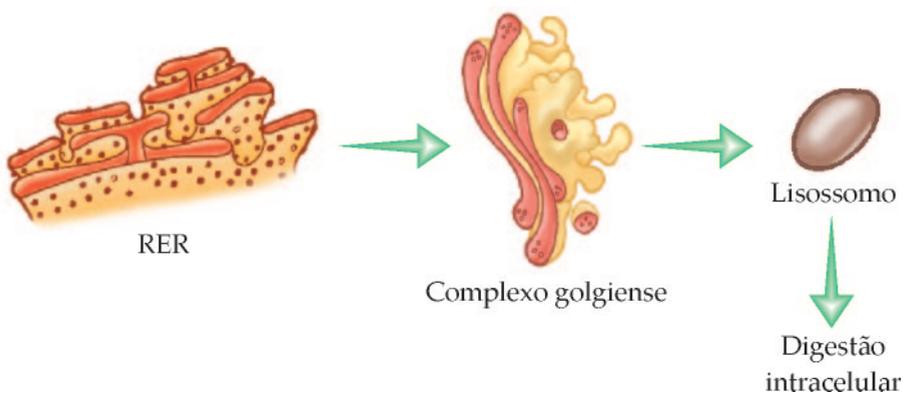
I. Formação dos Lisossomos

No processo de secreção celular descrito anteriormente, após a síntese de proteínas (enzimas) no retículo endoplasmático rugoso, ocorre o armazenamento destas substâncias no complexo golgiense.

Do complexo golgiense são formadas vesículas de secreção e, se esta secreção

corresponder às enzimas digestivas que atuarão no processo de digestão intracelular, as vesículas são denominadas **lisossomos**.

De um modo geral, quando ocorre a formação das vesículas de secreção denominadas lisossomos, as enzimas são produzidas no ergastoplasma, transferidas para o complexo golgiense e empacotadas em vesículas, os lisossomos que participarão na digestão intracelular.



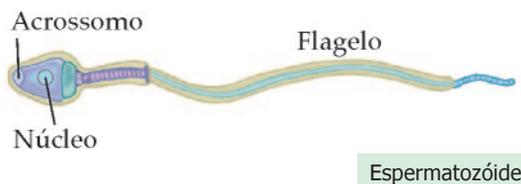
II. Formação do Acrossomo do Espermatozóide

O acrossomo corresponde a uma vesícula de secreção, formada a partir do complexo golgiense, que contém enzimas digestivas.

Estas enzimas do acrossomo são importantes para a digestão do invólucro (membrana) que envolve o óvulo no momento da fecundação.

Durante a espermiogênese, os sáculos do complexo golgiense se aproximam do núcleo da espermátide. As vesículas se fundem até se formar uma vesícula única, o **acrossomo**, que contém enzimas que irão permitir a fusão do espermatozóide com o óvulo.

É bom lembrar que as enzimas presentes no acrossomo do espermatozóide foram produzidas no retículo endoplasmático rugoso e, a seguir, armazenadas temporariamente no complexo golgiense e então liberadas dentro de vesículas de secreção que se fundem para formação do acrossomo.

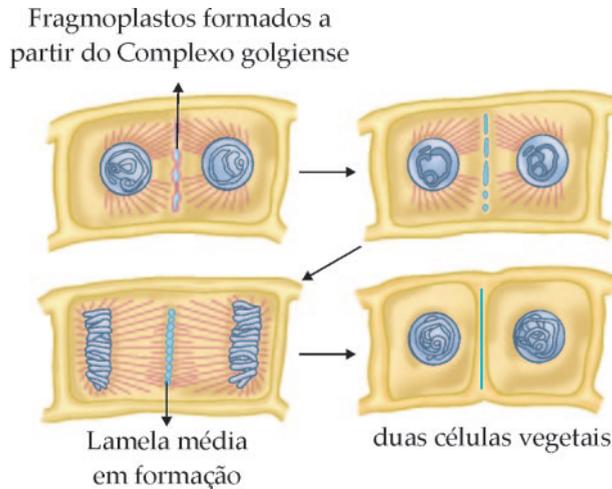




III. Formação da Lamela Média nos Tecidos Vegetais

Nos tecidos vegetais, existe um material que confere aderência e compactação às células, denominado lamela média.

Durante a divisão celular, no final da telófase, vesículas de secreção contendo pectina dirigem-se no plano equatorial, no centro da célula. Conjuntos de vesículas são denominados **fragmoplastos**, que se fundem e formam a lamela média.



2. Lisossomos

2.1. Introdução

Uma vez que as células não são capazes de sintetizar todas as substâncias de que necessitam, principalmente as células dos seres heterótrofos, precisam obter essas substâncias por meio dos alimentos. Todavia, as partículas de alimentos contêm, geralmente, macromoléculas, isto é, moléculas muito grandes que não podem ser empregadas como tal pelas células. Há a necessidade de quebrá-las em moléculas menores. Ao processo de transformação das moléculas do alimento em partículas menores dá-se o nome de **digestão**. Em alguns animais, como nos protozoários e nos poríferos, todo o processo ocorre no interior das células (**digestão intracelular**). Nos que possuem um tubo digestivo incompleto, como a planária, parte da digestão ocorre no tubo e parte dentro das células. Animais com tubo digestivo completo realizam toda a digestão no interior do tubo e as células recebem o alimento já dige-

rido (**digestão extracelular**). Nesses animais, a digestão intracelular tem papéis específicos, como o de destruição de bactérias invasoras ou o de digestão de organelos celulares inativados.

A digestão intracelular conta com a participação das enzimas dos lisossomos, que têm diâmetro entre 0,5 e 1,0 μm . Revestidos por membrana lipoprotéica, possuem, em seu interior, enzimas hidrolíticas (**hidrolases**) que catalisam reações do processo de digestão intracelular.

Estas enzimas são específicas aos diferentes substratos que são hidrolisados no meio celular.

As enzimas lisossômicas são produzidas no ergastoplasma, transferidas para os sáculos do complexo golgiense e armazenadas em vesículas membranosas, os lisossomos primários.

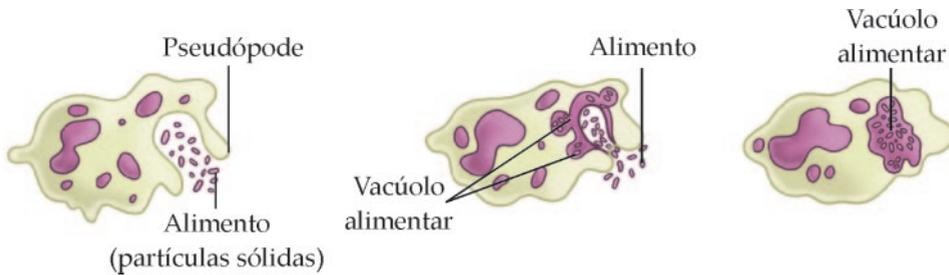
Os lisossomos atuam na digestão de materiais que são englobados pelas células em processos de fagocitose e pinocitose.

2.2. Englobamento de Substâncias

I. Fagocitose

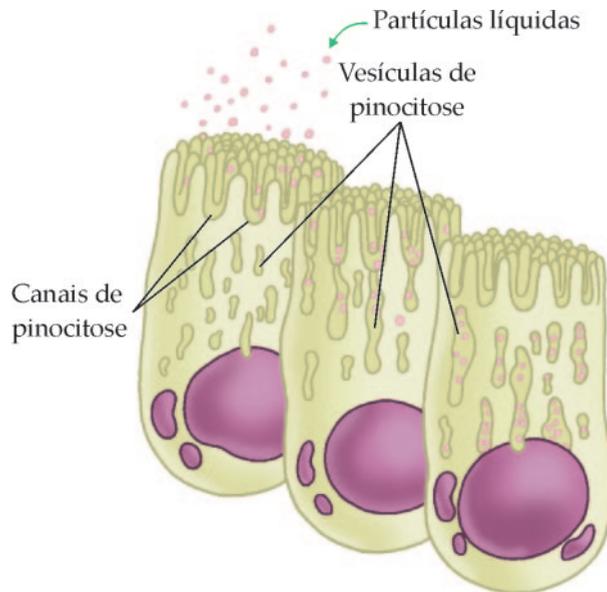
A fagocitose é um processo de englobamento de materiais de natureza sólida pela célula por meio de pseudópodes.

A fagocitose é um fenômeno que está relacionado com a obtenção de alimento, como ocorre nas amebas, ou com a defesa imunológica, como ocorre com os leucócitos do tipo macrófagos e neutrófilos.



II. Pinocitose

A pinocitose é um processo de englobamento de materiais de natureza líquida pela célula por meio da formação de canais de pinocitose.



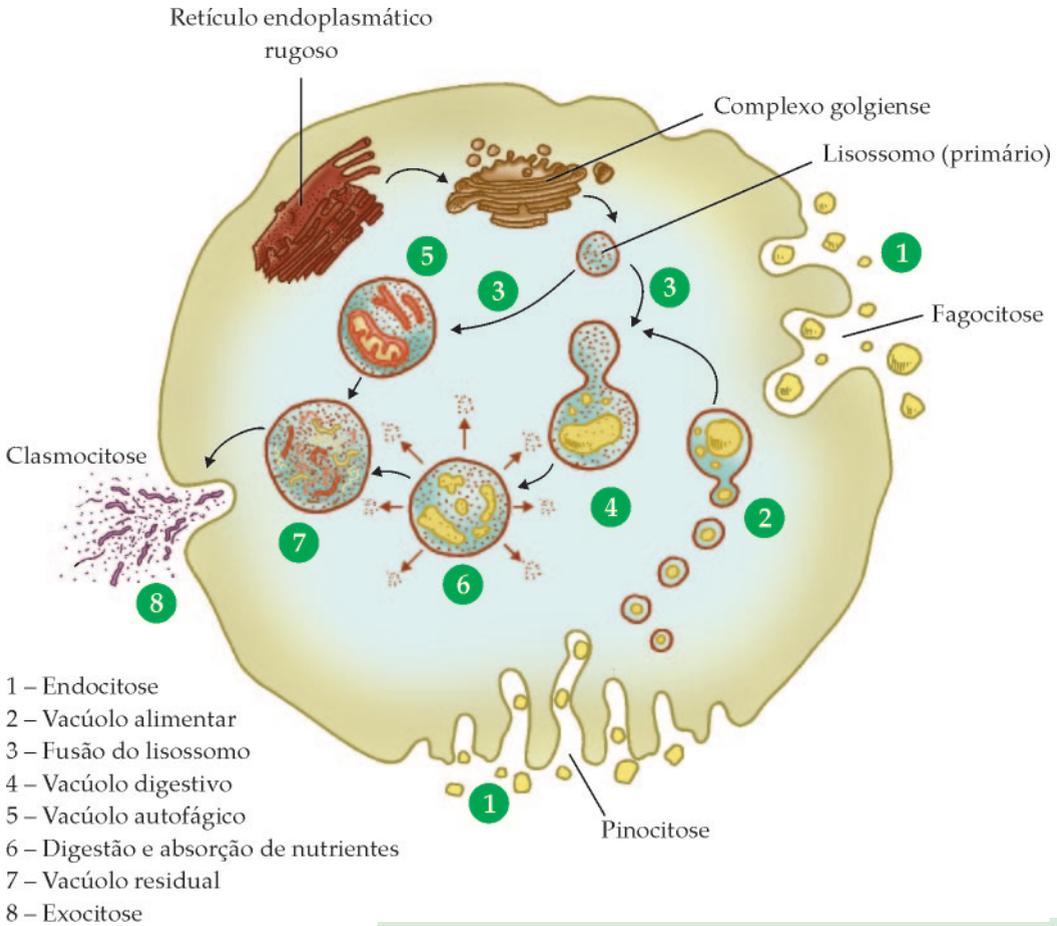
2.3. Digestão Intracelular

I. Digestão Heterofágica (Heterofagia)

Refere-se à digestão de partículas englobadas por fagocitose ou por pinocitose. O alimento englobado permanece no **vacúolo alimentar** (fagossomo ou pinossomo). Os lisossomos primários fundem-se com o vacúolo alimentar, formando o **vacúolo digestivo** ou **lisossomo secundário**. Nessa estrutura, o alimento sofre a ação das enzimas digestivas, e as macromoléculas são hidrolisadas até se transformarem em moléculas pequenas, que passam



pela membrana e são incorporadas ao hialoplasma, podendo ser utilizadas em processos metabólicos da célula. Geralmente, o alimento contém substâncias que não sofrem hidrólise e permanecem no interior do vacúolo digestivo. Quando a digestão termina e restam apenas partículas não assimiladas, o vacúolo recebe o nome de **vacúolo ou corpo residual**. A sua fusão com a membrana plasmática elimina o conteúdo para o meio extracelular, processo conhecido por **clasmocitose**.



O mecanismo da digestão intracelular numa célula hipotética incluindo os fenômenos da fagocitose, pinocitose e autofagia.

Algumas células humanas, como os neutrófilos e os macrófagos, fagocitam agentes invasores, como as bactérias, e os destroem em um processo semelhante à digestão heterofágica. Muitas vezes, a liberação de toxinas bacterianas dentro das células de defesa acarreta a morte dessas células.

II. A Digestão Autofágica (Autofagia)

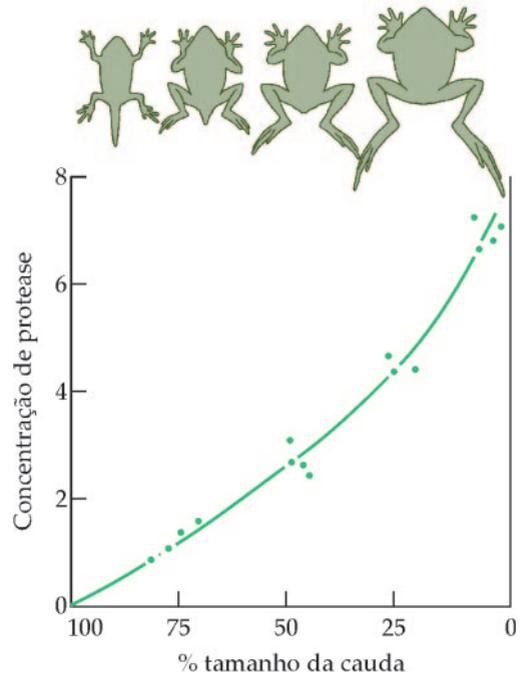
Os lisossomos podem digerir componentes da própria célula, transformando um tipo celular em outro. É o que ocorre, por exemplo, na transformação dos eritroblastos, células jovens e nucleadas presentes na medula óssea dos mamíferos, em glóbulos vermelhos circulantes, anucleados. O núcleo do eritroblasto é eliminado por exocitose e as demais estruturas celulares são digeridas. Todo o citoplasma passa a ser ocupado pela hemoglobina, pig-

mento responsável pelo transporte de oxigênio. A autofagia também ocorre em situações de extrema desnutrição, quando parte do citoplasma é digerido para manter a oferta de energia e a vida da célula.

Estruturas celulares velhas e sem função, como mitocôndrias, cloroplastos ou porções do retículo endoplasmático, podem ser englobadas pelos lisossomos primários, formando o **vacúolo autofágico**. Trata-se de uma forma bastante econômica de reaproveitamento de matéria orgânica.

A membrana dos lisossomos tem papel fundamental na manutenção da integridade da célula, uma vez que impede a ação das enzimas lisossômicas sobre os componentes celulares. Não se conhece o mecanismo que torna a membrana lisossômica resistente às suas enzimas. Certas doenças se devem à liberação das enzimas no citoplasma das células. No pulmão dos mineiros de carvão, as células têm seus lisossomos rompidos pela sílica, componente das rochas, causando a **pneumoconiose**, destruição maciça do tecido pulmonar que determina severa redução da capacidade respiratória. Trata-se de doença gravemente incapacitante.

O mesmo pode ser observado em situações normais, como na metamorfose do girino. Sua cauda desaparece por ação de enzimas lisossômicas, e a matéria resultante é empregada pelo animal para completar sua transformação em anfíbio adulto.





Capítulo 06. Bioenergética

1. Introdução

Na **Bioenergética**, estudamos os processos biológicos que envolvem reações do metabolismo energético.

Se definimos metabolismo como sendo o conjunto de reações químicas, o metabolismo energético é o conjunto de reações que envolvem transferência de energia entre diferentes substâncias.

A noção de energia em Biologia também pode estar relacionada com a realização de trabalho. O trabalho celular, como a síntese e degradação de substâncias, o movimento, a divisão celular, a reprodução, entre outras atividades, depende de uma fonte de energia.

Já estudamos a importância dos carboidratos e dos lipídios como substâncias relacionadas com o metabolismo energético.

Os carboidratos, como glicose, frutose e sacarose, são substâncias que fornecem energia para o metabolismo celular, isto é, são substâncias com função energética para os seres vivos.

Os lipídios, como óleos e gorduras, são substâncias de reserva energética para vegetais e animais respectivamente.

Na verdade, nem carboidratos nem lipídios são utilizados diretamente como for-

necedores de energia para o metabolismo celular. A substância utilizada para tal finalidade é um tipo de nucleotídeo denominado **ATP**.

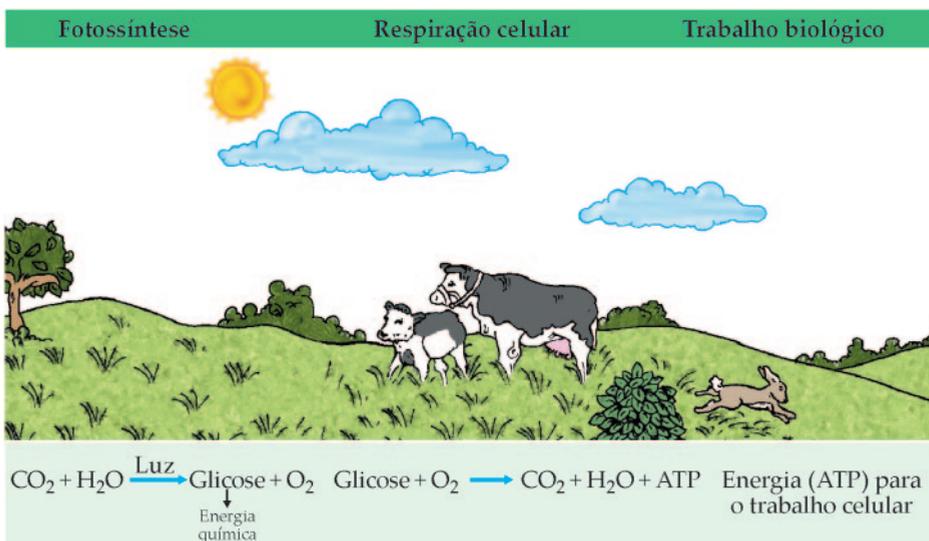
2. Energia para os Seres Vivos

Para o funcionamento de máquinas, eletrodomésticos, computadores e uma infinidade de instrumentos, existe necessidade de uma fonte de energia. Essa fonte de energia pode ser a gasolina, o álcool, a eletricidade, o carvão etc.

Os seres vivos também dependem de fontes de energia.

Qual é a fonte de energia para os seres vivos?

A vida, na Terra, depende da energia luminosa do Sol, captada nos processos da **fotossíntese** (transformação da energia luminosa em energia química). As células vegetais captam a luz e a utilizam para converter água e CO_2 em glicose, amido e outras moléculas orgânicas ricas em energia. Nesse processo, há liberação de oxigênio para o ar. Células animais e vegetais quebram essas substâncias orgânicas, transferindo a energia para moléculas de ATP, empregando oxigênio. Ocorre liberação de CO_2 e de água, fechando o ciclo.

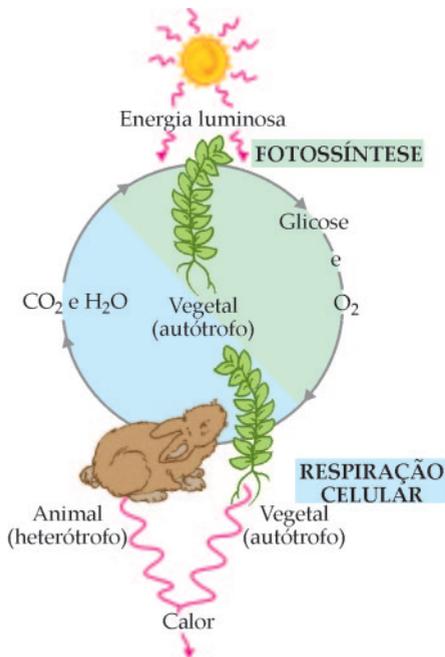


Portanto, quando comemos um pedaço de pão e utilizamos sua energia para andar, escrever ou pensar, essa energia, um dia, foi captada por plantas de trigo, na forma de fótons da luz solar, e armazenada em moléculas de amido, agora componentes do pão.

A eficiência dos sistemas biológicos é muito maior do que de outros sistemas não biológicos, como, por exemplo, o automóvel. A **oxidação** da glicose, por exemplo, é capaz de armazenar cerca de 45% da energia em moléculas de **ATP**. Mesmo o aparente desperdício de 55% da preciosa energia da glicose, perdidos na forma de calor, permite às células manterem o seu meio interno relativamente “aquecido”. Nas aves e nos mamíferos, a capacidade de controlar a quantidade de calor dissipado auxilia a manter constante a temperatura corporal.

Podemos considerar o Sol como a fonte primária de energia para os seres vivos, porque, direta ou indiretamente, os processos energéticos dos seres vivos dependem da energia solar.

No esquema a seguir, relacionamos o Sol como fonte de energia luminosa e térmica para os seres vivos, assim como os processos energéticos da fotossíntese e da respiração celular.

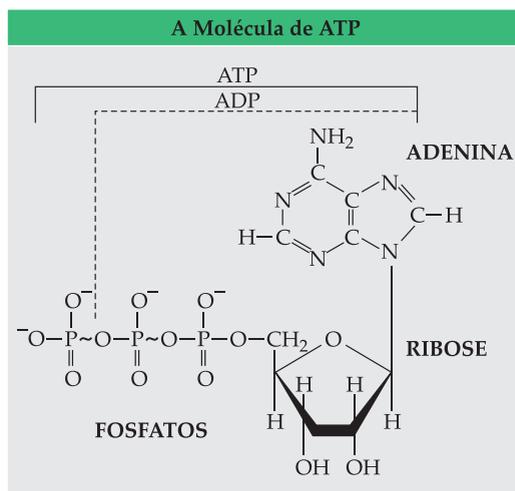


3. ATP: A Molécula Energética

Como mencionamos anteriormente, a energia de carboidratos, como a glicose e a sacarose, não é utilizada diretamente no metabolismo celular.

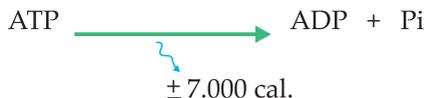
A energia presente nestas substâncias é liberada aos poucos, conforme ocorrem as oxidações no metabolismo celular.

Quando uma molécula orgânica é oxidada, parte de sua energia é transferida para moléculas de ATP (adenosina trifosfato).



O ATP tem uma base nitrogenada, a adenina, um açúcar com 5 átomos de carbono, a ribose, e 3 grupos fosfatos. Possui, portanto, a estrutura de um nucleotídeo de RNA modificado, porque, ao invés de um único grupo fosfato, apresenta 3 grupos fosfatos (trifosfato).

As ligações que unem estes 2 grupos fosfatos adicionais são ricas em energia e podem ser desfeitas por reação de hidrólise:



A remoção de outro fosfato de uma molécula de difosfato de adenosina (ADP) resulta em monofosfato de adenosina (AMP), com liberação de quantidade menor de energia.



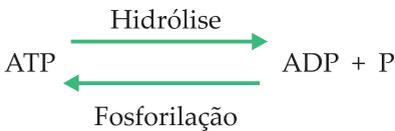
Quando a célula tem energia disponível, pode-se armazená-la em moléculas de ATP.



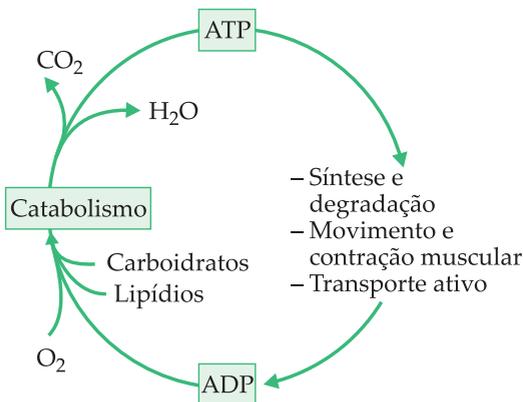
A incorporação de um fosfato na molécula do ADP, com armazenamento de energia, chama-se **fosforilação**. As células fotossintetizantes usam a luz nesse processo (**fotofosforilação**). Quando a energia empregada vem da oxidação de moléculas orgânicas, o processo é conhecido por **fosforilação oxidativa**.

Duas reações podem ocorrer simultaneamente, de tal forma que a energia liberada em uma seja armazenada pela outra. São **reações acopladas**, como algumas que ocorrem na oxidação da glicose, cuja energia é transferida para o ATP. O acoplamento das reações diminui a quantidade de energia perdida.

O ATP pode ser comparado a uma bateria carregada que, ao liberar energia, descarrega-se e se transforma em ADP.



O complexo $\text{ATP} \rightleftharpoons \text{ADP}$ serve, portanto, como portador de energia. É o elo entre os processos de liberação de energia, como a oxidação da glicose, e os processos que dela necessitam. O ATP é constantemente regenerado pela energia liberada no **catabolismo** dos combustíveis celulares.



4. Fermentação

No metabolismo energético das células dos seres vivos, substâncias utilizadas como fontes de energia, como os carboidratos, são degradadas em vias metabólicas que podem ter ou não a participação do gás oxigênio (O_2).

Quando a degradação dos carboidratos (açúcares) ocorre sem a participação do gás oxigênio, isto é, em condições anaeróbicas, o processo é denominado fermentação.

As fermentações são caracterizadas pelos produtos finais e pelos microorganismos que as realizam.

Nas fermentações, o açúcar glicose é o principal combustível utilizado como fonte de energia. A glicose pode ser obtida diretamente dos alimentos disponíveis para os microorganismos ou obtida via digestão de sacarose, maltose, lactose ou amido.

Os microorganismos possuem enzimas específicas para diferentes tipos de substratos (dissacarídeos ou polissacarídeos), transformando-as em açúcares menores e aproveitáveis pela célula, como o monossacarídeo glicose.

Ao longo da história da humanidade, o ser humano aprendeu como os microorganismos transformam a matéria orgânica através de processos fermentativos. Desse aprendizado surgiu a biotecnologia das fermentações, que é um conhecimento utilizado nas indústrias alimentícias, farmacêuticas e na produção de combustível, como o álcool etílico.

É comum caracterizarmos as fermentações, relacionando-as com o metabolismo de bactérias e fungos.

Dependendo do microorganismo, das enzimas e dos produtos finais das onze reações do processo, definimos os diferentes **tipos de fermentação**.

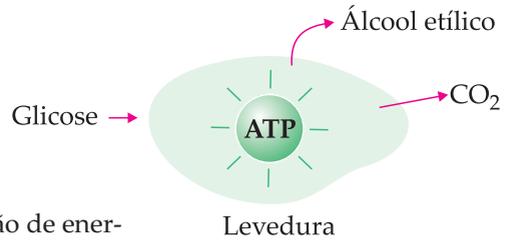
Neste capítulo, estudaremos os tipos mais comuns de fermentação presentes em nosso cotidiano, na produção de alimentos e de combustíveis para os automóveis.

A fermentação alcoólica ou etílica realizada pelas **leveduras** (fungo unicelular) é utilizada nas usinas de produção de etanol, nas panificadoras e pelas donas de casa para produção de pães; é caracterizada pela produção de álcool etílico (etanol).

A fermentação láctica realizada pelas bactérias do tipo **lactobacilos** é utilizada nas indústrias de laticínios para a produção de alimentos derivados do leite, como coalhadas, iogurtes, leites fermentados, entre outros.

4.1. Fermentação Alcoólica

Na fermentação alcoólica (etílica) realizada por leveduras (*Saccharomyces cerevisiae*), um dos produtos finais é o álcool etílico. Além dessa substância, também são produzidas moléculas de gás carbônico (CO₂) e ATP (adenosina trifosfato).

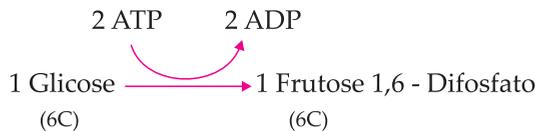


Como a fermentação é um processo de obtenção de energia a partir da degradação de açúcares, podemos dizer que a finalidade maior do processo é a produção de ATP (molécula energética), enquanto o CO₂ e o álcool etílico são eliminados da célula, porque são resíduos tóxicos.

O processo envolve etapas metabólicas de quebra da glicose, sem a participação do oxigênio. Na fermentação, agem 11 enzimas bastante estudadas e muito semelhantes àquelas que iniciam a respiração aeróbica. Estão todas no **hialoplasma**.

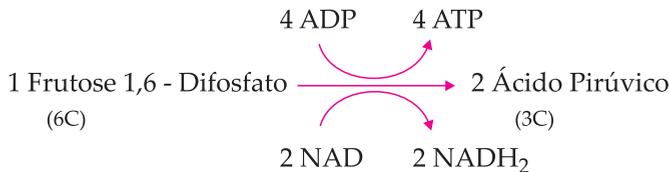
Divide-se a fermentação em duas etapas:

- 1) **Etapa com incorporação de energia:** ocorre o **gasto de duas moléculas de ATP**.

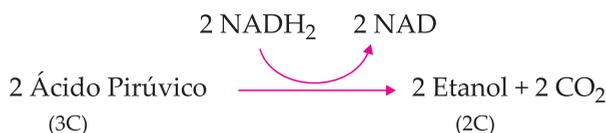


Tanto a glicose como a frutose possuem 6 átomos de carbono (C₆H₁₂O₆).

- 2) **Etapa com liberação de energia:** a molécula com 6 átomos de carbono é quebrada em duas moléculas com 3 átomos de carbono cada uma. A energia liberada permite a **produção de 4 moléculas de ATP**. Átomos de hidrogênio ricos em energia são perdidos e recolhidos pelo co-fator NAD (nicotinamida – adenina – dinucleotídeo), que se transforma em NADH₂.



A seguir, os átomos de hidrogênio incorporados pelo NADH₂ serão empregados na redução do ácido pirúvico, originando o álcool etílico.





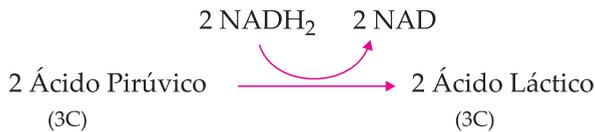
Podemos perceber que nesse processo existe um saldo positivo de 2 ATP para a célula.

Algumas bactérias, como o acetobacter, podem oxidar o álcool etílico, transformando-o em ácido acético, como acontece no processo de produção de vinagre.

4.2. Fermentação Láctica

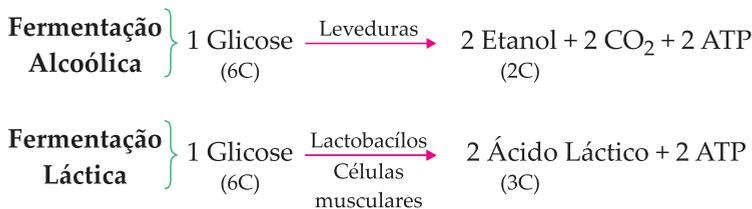
Assim como a fermentação alcoólica, na fermentação láctica existe a produção de 2 ATP por molécula de glicose oxidada pelas bactérias do tipo lactobacilos.

As etapas são parecidas, mas o produto final é o ácido láctico e não existe descarboxilação do ácido pirúvico, isto é, na fermentação láctica não ocorre a liberação de gás carbônico (CO₂).



Além dos lactobacilos, as células musculares também realizam a fermentação láctica quando estão em atividade intensa e com déficit de oxigênio. O acúmulo de ácido láctico nas células musculares é responsável por sintomas como dores musculares e fadiga muscular.

Podemos, então, representar as fermentações por uma equação geral:



ou de um modo geral:



Os processos de fermentação, realizados por microorganismos ou por suas enzimas isoladas, sempre tiveram importância econômica. Na produção do vinho, o suco da uva, rico em glicose, é armazenado em barris sem ar. Fungos presentes nas cascas das frutas transformam o suco em vinho, pela conversão da glicose em álcool etílico (etanol). Como o processo se chama fermentação, as enzimas foram conhecidas por **fermentos**, termo considerado impróprio pela quantidade de ações executadas pelas enzimas.

Na fabricação do pão, o fermento é misturado com a farinha (amido), realizando fer-

mentação etílica, com liberação de CO₂. O gás faz “crescer” a massa do pão.

Na produção de queijo, coalhada ou iogurte, a fermentação da lactose (açúcar do leite) origina o ácido láctico, com diminuição acentuada do pH. As proteínas do leite (caseína) precipitam, formando o “coalho”.

Outro uso industrial importante da fermentação é a produção do etanol usado como combustível, a partir da sacarose, o açúcar da cana.

Ainda podemos lembrar as indústrias de bebidas alcoólicas que utilizam os conhecimentos biotecnológicos para a produção de bebi-

das alcoólicas fermentadas e/ou destiladas, a partir de substratos diferentes. Também é uma atividade industrial importante a produção de álcool combustível nas usinas de álcool.

Substrato	Bebida
Cana (sacarose)	aguardente, rum
Cereais, cevada (maltose)	cerveja
Uva (glicose, frutose)	vinho
Batata (amido)	vodca

5. Respiração Aeróbica

A palavra respiração pode ser usada em Biologia com dois significados distintos.

Um deles se relaciona aos processos de trocas gasosas entre o indivíduo e o ambiente, por meio de estruturas especializadas como brânquias, pele, pulmões etc.

Por meio das trocas gasosas, o organismo obtém oxigênio (O₂) e elimina o gás carbônico (CO₂).

A **respiração celular** pode ser caracterizada como um processo de obtenção de energia que ocorre com a participação do gás oxigênio (O₂).

A maior parte das reações da respiração celular (aeróbica) ocorre no interior das mitocôndrias.

Antes de estudarmos as principais etapas da respiração celular, vamos caracterizar as mitocôndrias.

5.1. As Mitocôndrias

São organelas presentes em todas as células eucarióticas, animais e vegetais. Seu número varia de 1 000 a 50 000 por célula. Têm comprimento entre 5 e 10 µm e largura entre 0,5 e 1 µm.

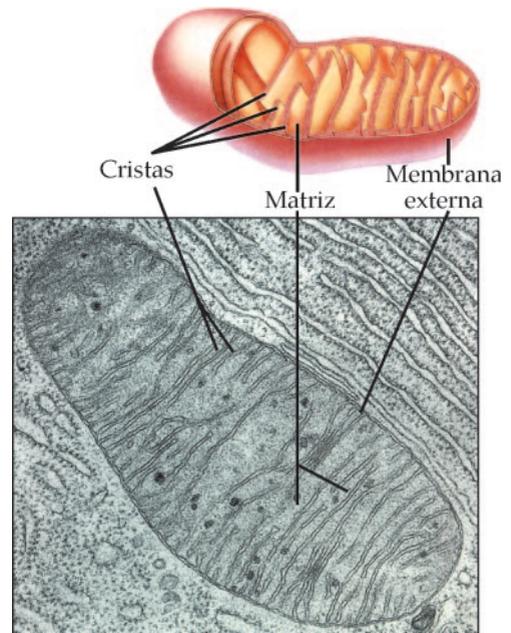
Em sua composição química, encontram-se:

Água	66%
Proteínas	22%
Lipídios	11%
Ácidos nucleicos	0,5%
Íons	0,5%

As mitocôndrias possuem seu próprio DNA, alguns ribossomos e a capacidade de autoduplicação. Por apresentarem tais características, acredita-se que, no passado, eram organismos que viviam fora da célula e que, ao longo do processo evolutivo, foi estabelecida uma relação de mutualismo entre célula eucariótica e mitocôndrias.

Nessa relação de mutualismo, as mitocôndrias forneceriam energia para as células e estas dariam proteção e nutrientes para as mitocôndrias.

A mitocôndria é delimitada por uma membrana externa, separada da membrana interna por um espaço de 60 a 100 Angstroms.



A mitocôndria ao microscópio eletrônico.

A membrana interna forma numerosas dobras, as **cristas mitocondriais**. O espaço interno das mitocôndrias é a **matriz mitocondrial**.

As atividades das mitocôndrias se associam com o **metabolismo energético** das células e a produção de ATP. Essas atividades são compartimentalizadas, isto é, algumas ocorrem na matriz e outras junto às cristas. Quanto mais ativa for uma célula, mais mitocôndrias ela possui e mais cristas as mitocôndrias apresentam.



5.2. Etapas

Por meio da fermentação, as células conseguem transferir menos de 3% da energia da glicose para as moléculas de ATP. A respiração aeróbica obtém rendimento energético **19 vezes maior**. Trata-se de um processo mais complexo, que ocorre com a participação das mitocôndrias, e requer oxigênio.

Basicamente, o que torna a respiração aeróbica mais rentável que a fermentação é a “desmontagem” completa do ácido pirúvico até CO_2 e a remoção de átomos de hidrogênio ricos em energia.

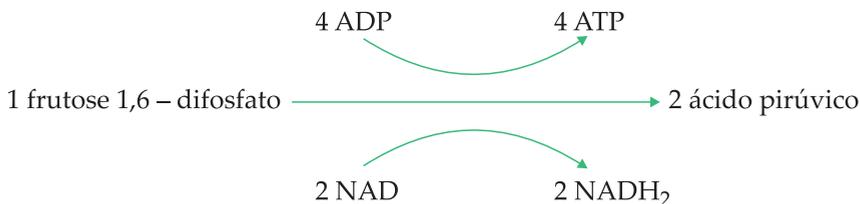
A respiração aeróbica é dividida em três etapas:

I. Glicólise

É idêntica à quebra da glicose na fermentação. Inicialmente, a glicose incorpora dois grupos fosfato, consumindo duas moléculas de ATP.

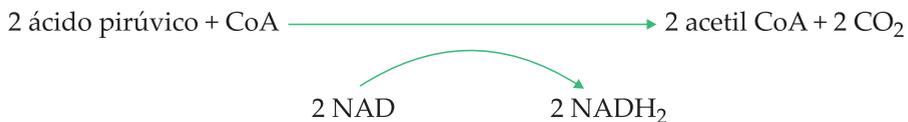


A seguir, essa hexose é quebrada:



Enquanto na fermentação o NADH_2 é usado para reduzir o ácido pirúvico, na respiração aeróbica ele irá levar seus átomos de hidrogênio para dentro da mitocôndria.

Ocorre nova oxidação do ácido pirúvico, com a adição da molécula da **Co-enzima A (CoA)**.



Observe que mais átomos de hidrogênio foram retirados e recolhidos pelo NADH_2 .

Até a produção do ácido pirúvico, todas as etapas da glicólise ocorrem no **hialoplasma**. As moléculas do ácido pirúvico penetram nas mitocôndrias, onde ocorre sua conversão em acetil CoA, que irá movimentar a etapa seguinte.

II. Ciclo de Krebs

Essa etapa da respiração ocorre no interior das mitocôndrias, na região denominada **matriz mitocondrial**.

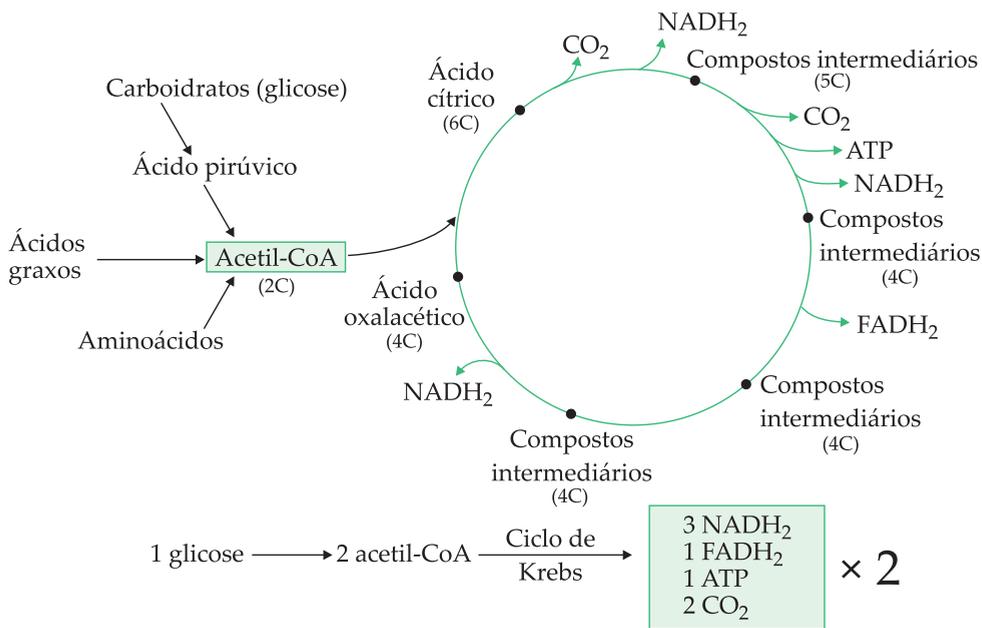
O ciclo de Krebs também é conhecido por ciclo do ácido cítrico ou ciclo dos ácidos tricarboxílicos.

Continuando as reações que começaram com a oxidação da glicose na glicólise, as principais etapas desse ciclo metabólico são reações de desidrogenações, descarboxilações e formação de ATP.

As desidrogenações são caracterizadas pela remoção dos átomos de hidrogênio dos compostos intermediários do ciclo e pela formação do NADH_2 e FADH_2 , que participarão da etapa seguinte – a cadeia respiratória.

As descarboxilações são caracterizadas pela remoção de carbono, na forma de CO_2 , dos compostos intermediários do ciclo.

Em uma das etapas do ciclo, a energia liberada é suficiente para a formação de ATP.



Cada volta do ciclo de Krebs é movimentada por uma molécula de acetil-CoA. Após as etapas resumidas acima, os átomos de carbono são liberados como CO_2 e os átomos de hidrogênio são recolhidos pelo NAD (nicotinamida – adenina – dinucleotídeo) e pelo FAD (flavina-dinucleotídeo) e transformados em NADH_2 e FADH_2 . Uma molécula de ATP é produzida na passagem do ácido cetoglutarico para ácido succínico.

Como uma molécula de glicose origina duas moléculas de acetil-CoA, ela permite dar duas voltas no ciclo de Krebs, originando quatro moléculas de CO_2 , seis moléculas de NADH_2 , duas moléculas de FADH_2 e 2 moléculas de ATP.

Como duas moléculas de CO_2 já haviam sido liberadas na transformação do ácido pirúvico em acetil-CoA, totalizam-se seis moléculas de CO_2 .

Todas as etapas do ciclo de Krebs ocorrem graças às enzimas presentes na **matriz mitocondrial**.

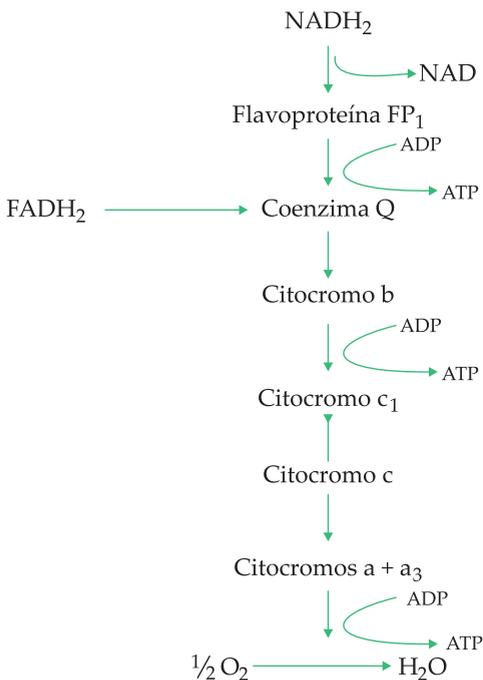


III. Cadeia Respiratória

A molécula de glicose foi completamente quebrada até CO_2 , e parte da energia liberada foi usada para produzir quatro moléculas de ATP (duas na glicólise e duas no ciclo de Krebs). Todavia, a maior parte da energia da glicose ainda se encontra nos átomos de hidrogênio que foram recolhidos pelo NAD e pelo FAD.

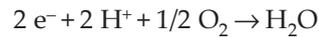
A **cadeia respiratória**, também conhecida como **cadeia transportadora de elétrons**, é composta por uma série de proteínasceptoras de elétrons, os **citocromos**, com níveis energéticos sucessivamente menores. Essas substâncias se encontram aderidas às **cristas mitocondriais**.

Os vários membros da cadeia respiratória são capazes de receber elétrons do composto precedente e transferi-los para o seguinte. Na passagem dos elétrons pela cadeia respiratória, há liberação de energia. Em algumas das etapas, a energia liberada é suficiente para que uma molécula de ADP se ligue a mais um fosfato, originando um ATP. Como essa fosforilação se faz com a energia de elétrons dos átomos de hidrogênio liberados na oxidação da glicose, é chamada **fosforilação oxidativa**.



Observa-se que, quando os elétrons entram na cadeia respiratória, trazidos pelo NADH_2 , eles permitem a produção de três moléculas de ATP. Quando entram trazidos pelo FADH_2 , são produzidas apenas duas moléculas de ATP.

No final da passagem pelos componentes da cadeia respiratória, os elétrons são recolhidos, junto com os íons H^+ , pelo oxigênio molecular, formando moléculas de água.



A formação da água ocorre junto à membrana externa das mitocôndrias, e o oxigênio não penetra em seu interior.

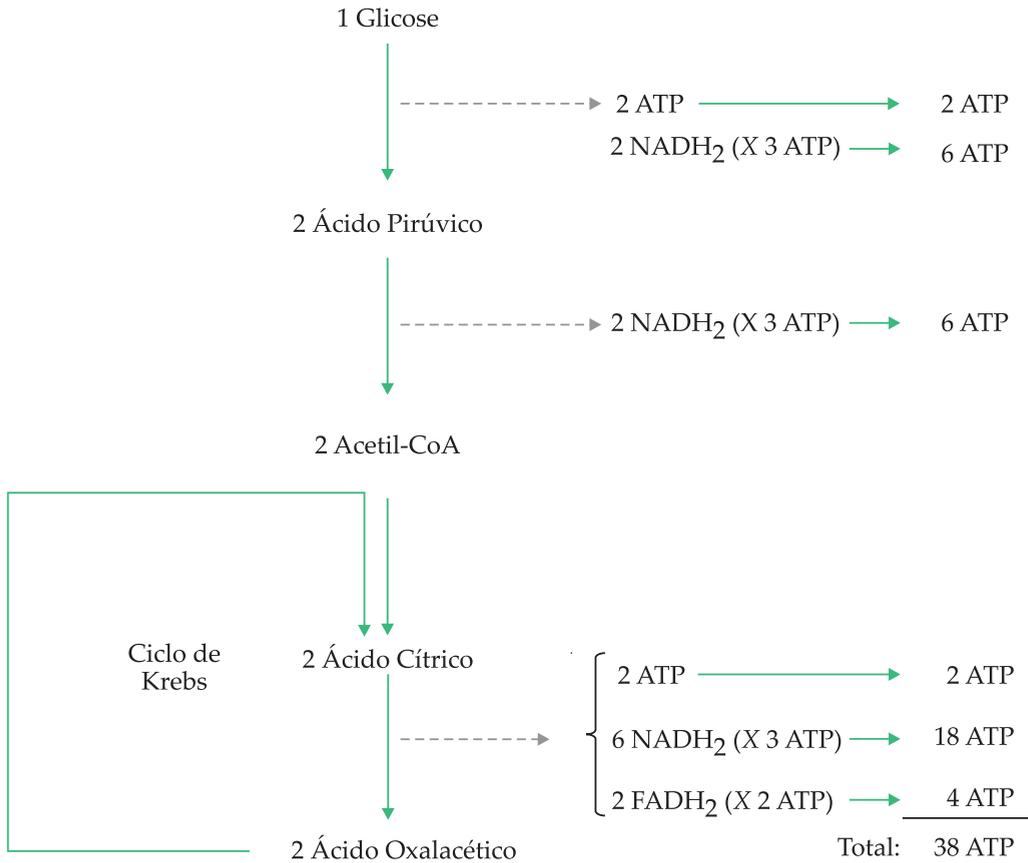
O oxigênio é o **ceptor final de elétrons** da cadeia respiratória. A falta de oxigênio faz com que os elétrons não sejam removidos do complexo de citocromos a + a_3 . Retrogradamente, os outros componentes da cadeia respiratória passam a reter elétrons, por não poder passá-los adiante. Com a parada na progressão dos elétrons, cessa a produção de ATP, o que determina a morte da célula.

O cianeto é um poderoso veneno que se liga ao citocromo a_3 , estabilizando os elétrons em trânsito, que não são cedidos ao oxigênio. O efeito é igual ao da ausência de oxigênio: parada na progressão dos elétrons, interrupção da fosforilação oxidativa e morte celular.

Os citocromos são proteínas com cerca de 100 aminoácidos circundando um anel central semelhante ao da hemoglobina, contendo um átomo de ferro. A chegada dos elétrons no citocromo transforma o íon Fe^{+++} em Fe^{++} , voltando ao estado inicial, quando os elétrons são cedidos para o citocromo seguinte.

A passagem dos elétrons pelos citocromos pode ser comparada a uma queda d'água, na qual a água move, ao cair, várias rodas que geram energia até atingirem a base da queda, ponto de menor energia potencial.

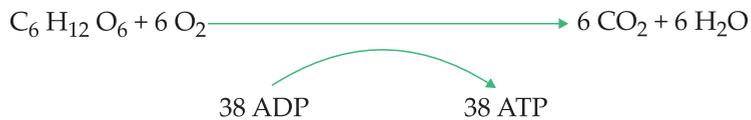
Balço Energético da Respiração Aeróbica



Observação

Considere que cada NADH₂ gera três ATP na cadeia respiratória, e cada FADH₂ gera apenas dois ATP.

Equação Geral da Respiração Aeróbica





6. Fotossíntese

O Sol é a fonte de toda a Energia da biosfera. A fotossíntese é o processo pelo qual a energia luminosa é captada e convertida em energia química.

A capacidade de executar a fotossíntese está presente em eucariontes e procariontes. Os eucariontes fotossintetizantes são os vegetais e as algas. As cianobactérias e algumas bactérias são procariontes que também realizam a fotossíntese. Mais da metade de toda a fotossíntese da biosfera ocorre nos seres unicelulares, particularmente nas algas, que formam o fitoplâncton.

Todos os seres fotossintetizantes, exceto algumas bactérias, utilizam a água como fonte de hidrogênio.

A equação geral para o processo é:

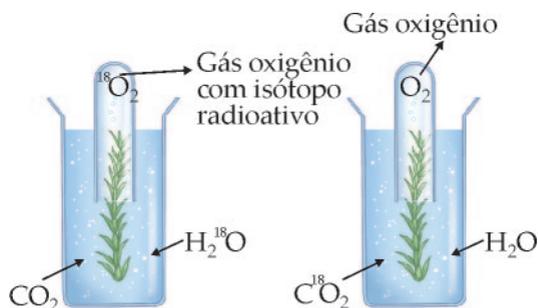


A equação geral do processo indica que o organismo fotossintetizante utiliza o CO_2 (gás carbônico) e a H_2O (água), absorve energia luminosa por meio da clorofila (pigmento fotossintetizante) e produz glicose (açúcar) e O_2 (gás oxigênio).

De acordo com o hábitat do organismo fotossintetizante (algas ou vegetais), o CO_2 pode ser retirado da água ou do solo, e a água pode ser retirada do ambiente aquático ou do solo.

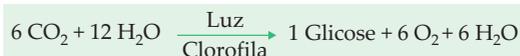
O pesquisador inglês C.B. Van Niel demonstrou que a fotossíntese dos vegetais, das algas e das bactérias são, fundamentalmente, semelhantes, mas apresentam substâncias doadoras de hidrogênios diferentes. Na fotossíntese dos vegetais e das algas, a água (H_2O) é a fonte de hidrogênio e do gás oxigênio; e, na fotossíntese das bactérias, a fonte de hidrogênio é o H_2S (gás sulfídrico), mas neste caso não ocorre liberação de oxigênio e, sim, de enxofre (S), por isso essas bactérias são chamadas de sulfobactérias.

Experimentos com água (H_2O) e gás carbônico (CO_2), marcados com oxigênio isótopo 18, demonstram que a origem do gás oxigênio é a molécula de água e não o gás carbônico (CO_2).



Experiência com planta aquática e isótopo radioativo

Com base no experimento mostrado, sabendo da origem do gás oxigênio a partir da molécula de água, podemos escrever a equação da fotossíntese assim:

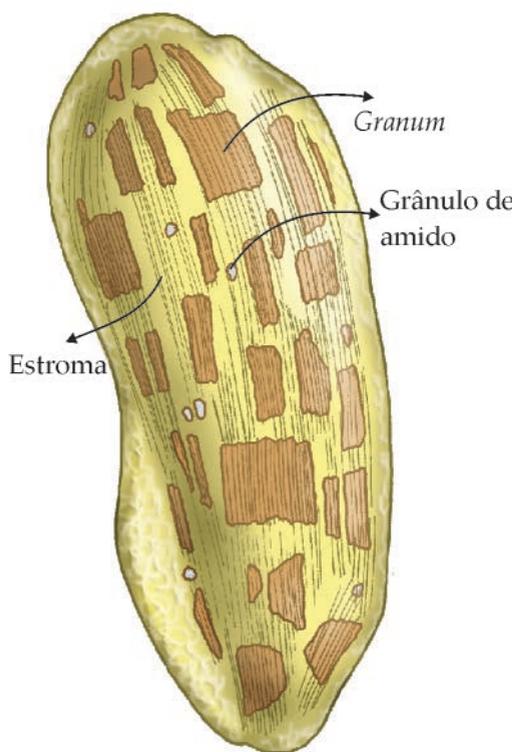


Veja que nessa equação o número de átomos de oxigênio da água (H_2O) corresponde ao número de átomos de oxigênio, presentes no gás oxigênio (O_2), que não é mostrado quando se utiliza a equação resumida da fotossíntese, mostrada a seguir.



6.1. Os Cloroplastos

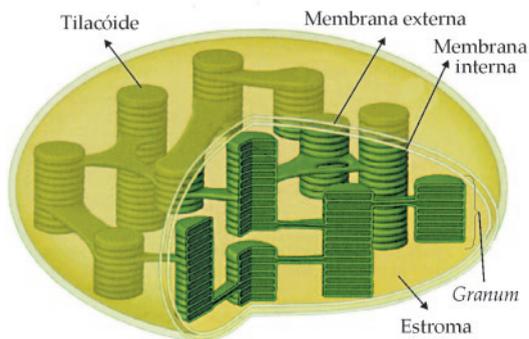
Um tipo de organela característico das células vegetais são os **plastos**. Acumulam substâncias e são classificados de acordo com a natureza da substância armazenada. Os plastos incolores, que armazenam amido, lipídios ou proteínas, são os **leucoplastos**. Os plastos coloridos pela presença de pigmentos são chamados **chromoplastos** e, destes, os mais numerosos e importantes são os **cloroplastos**, que possuem o pigmento verde **clorofila**, nos quais ocorrem as reações da fotossíntese.



Cloroplasto ao microscópio eletrônico

Uma célula da folha contém cerca de 50 cloroplastos. Em um milímetro quadrado da superfície da folha, encontram-se mais de 500.000 deles.

Os cloroplastos guardam algumas semelhanças estruturais com as mitocôndrias.



Estrutura do cloroplasto e os detalhes dos tilacóides

São delimitados por duas membranas. Internamente, são ocupados por uma substância amorfa, o **estroma**. Grânulos de amido podem ser encontrados mergulhados no estroma.

Ao microscópio eletrônico, verifica-se a presença, dentro do cloroplasto, de um complexo sistema de membranas que constituem sacos achatados e unidos entre si. São os **tilacóides**. Nos vegetais, os tilacóides se arranjam como uma pilha de moedas. Cada pilha é chamada *granum* e o conjunto de *granum* é chamado *grana*. Existem membranas que ligam os *grana* através dos tilacóides. Os cloroplastos possuem, em média, a seguinte composição:

Água	50%
Proteínas	25%
Lipídios	15%
Clorofila	3%
Carotenóides	2%

Possuem, ainda, glicídios, nucleotídios, ATP, ADP, aceptores de hidrogênio (NADP, citocromos, vitamina K etc.). O NADP difere do NAD,ceptor de elétrons da respiração celular, pela presença de um grupo fosfato. Contém, também, DNA e RNA. Têm certa autonomia dentro das células, sendo capazes de sintetizar proteínas e de se autoduplicarem.

6.2. Os Pigmentos Fotossintetizantes

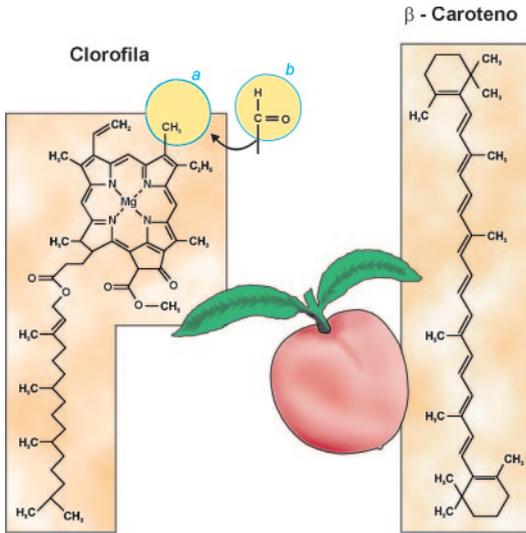
Os pigmentos são substâncias que absorvem luz. A cor de um pigmento depende das faixas do espectro da luz visível que ele absorve ou reflete. A clorofila, pigmento que torna verdes os vegetais, absorve luz principalmente nas faixas do vermelho e do azul; por refletir a luz verde, é verde.

O perfil de absorção de luz de uma substância é o seu espectro de absorção.

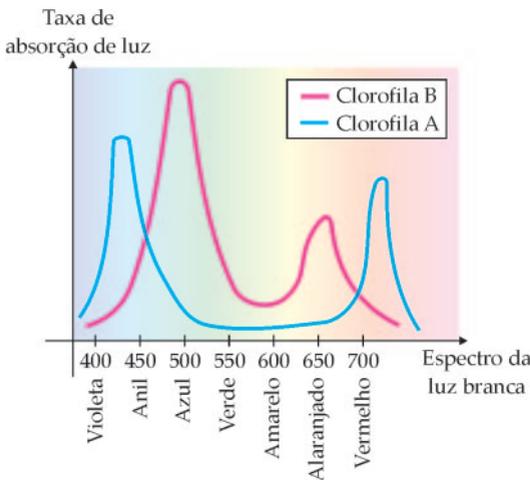
Além das clorofilas, os carotenóides são pigmentos que absorvem luz em comprimentos de onda diferentes da clorofila. Estes pigmentos transferem energia luminosa para a clorofila.



As figuras a seguir mostram as estruturas moleculares das clorofilas "a" e "b" e do β (beta) caroteno.



As clorofilas "a" e "b" apresentam **espectros** diferentes da absorção de luz, sendo a absorção maior nas faixas do violeta-azul e alaranjado-vermelho e menor na faixa do verde, conforme pode ser observado no gráfico abaixo:



7. Fatores Limitantes da Fotossíntese

A intensidade com a qual uma célula executa a fotossíntese pode ser avaliada, por

exemplo, pela quantidade de CO₂ consumido, ou pela quantidade de O₂ liberado pela célula. Observa-se, então, que existem certos parâmetros que, variando, fazem variar a intensidade da fotossíntese. São os **fatores limitantes** da fotossíntese. O "princípio de Blackman" afirma que: *"Quando um processo metabólico é influenciado por vários fatores, que atuam isoladamente, a velocidade do processo é limitada pelo fator de menor intensidade"*.

Para os vegetais são fatores limitantes o gás carbônico, a água, a intensidade luminosa, as enzimas que atuam nas reações, o número de cloroplastos e o pigmento clorofila.

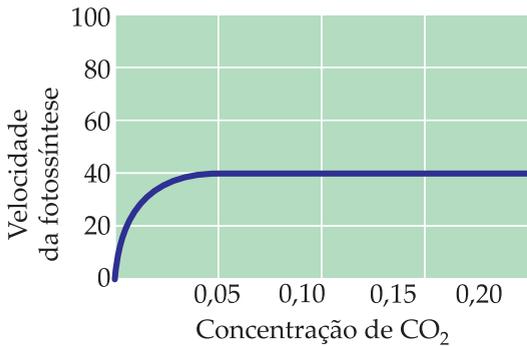
Os fatores limitantes da fotossíntese serão estudados em dois grupos: fatores internos e fatores externos.

7.1. Fatores Internos

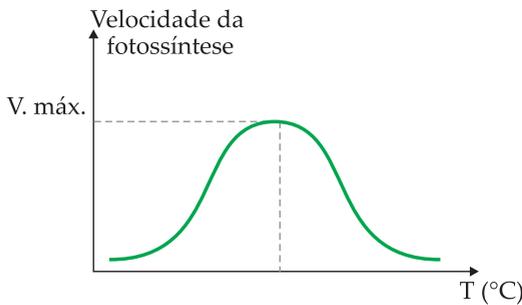
- I. **Disponibilidade de pigmentos fotossintetizantes:** como a clorofila é a responsável pela captação da energia luminosa, a sua falta restringe a intensidade da fotossíntese.
- II. **Disponibilidade de enzimas e de co-fatores:** todas as reações fotossintéticas envolvem a participação de enzimas ou de co-fatores transportadores de elétrons, que devem existir em quantidade suficiente.
- III. **Os cloroplastos:** são as organelas onde ocorrem as reações da fotossíntese. Quanto maior o número de cloroplastos, maior a eficiência do processo.

7.2. Fatores Externos

- I. **Concentração de CO₂ no ar:** o dióxido de carbono é o substrato da etapa química da fotossíntese. Sem CO₂ no ar, a intensidade da fotossíntese é nula. Aumentando sua concentração, eleva-se a intensidade do processo. A elevação não é ilimitada, pois quando todo o sistema enzimático existente já tiver substrato (CO₂) suficiente para agir, a concentração de CO₂ deixa de ser fator limitante.

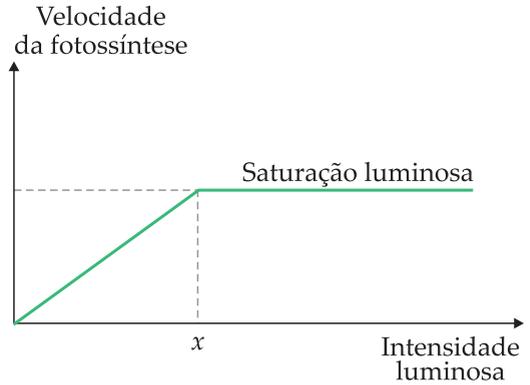


II. Temperatura: na etapa química, todas as reações são catalisadas por enzimas, e estas têm sua atividade influenciada pela temperatura. De modo geral, elevação de 10°C na temperatura duplica a velocidade das reações enzimáticas. Todavia, em temperaturas elevadas, começa a ocorrer **desnaturação** enzimática, com alteração da sua configuração espacial e perda de atividade. Existe, portanto, uma **temperatura ótima** para o processo fotossintético, que não é a mesma para todos os vegetais.



III. Intensidade luminosa: uma planta colocada em completa obscuridade não realiza fotossíntese. Aumentando a intensidade luminosa, a intensidade da fotossíntese aumenta. Todavia, a partir de certa quantidade, o aumento na quantidade de luz não é acompanhado por elevação na intensidade da fotossíntese. A intensidade luminosa deixa de ser o fator limitante quando todo o sistema de

pigmentos já estiver sendo excitado e a planta não tem como captar quantidade maior de luz. Atingiu-se o **ponto de saturação luminosa**.



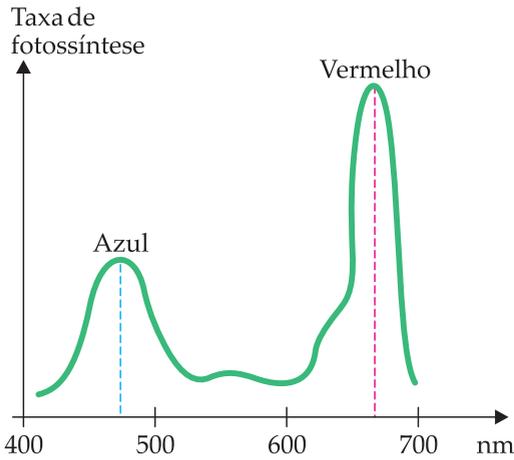
O x corresponde à intensidade luminosa a partir da qual a luz deixa de ser o fator limitante do processo.

Quando estudamos os fatores limitantes da fotossíntese, fazendo a análise individual de como cada um deles interfere no processo, deixamos os outros em condições ideais.

Quando estudamos a interferência da luz na fotossíntese, variamos a intensidade luminosa a que a planta fica submetida e os demais fatores, como CO_2 , temperatura e H_2O ficam em condições ideais e fixas (sem variações) para o vegetal.

IV. Comprimento de onda: já foi dito que os pigmentos fotossintetizantes captam a luz com diferentes intensidades nas várias faixas do espectro da luz visível. A assimilação de luz pelas clorofilas **a** e **b**, principalmente, e pelos carotenóides, determina o **espectro de ação** da fotossíntese.

Nota-se excelente atividade fotossintética nas faixas do azul e do vermelho, mas há pouca atividade na faixa do verde, como seria de se esperar. Afinal, as plantas são verdes porque **refletem a luz verde** e não porque a assimilam.

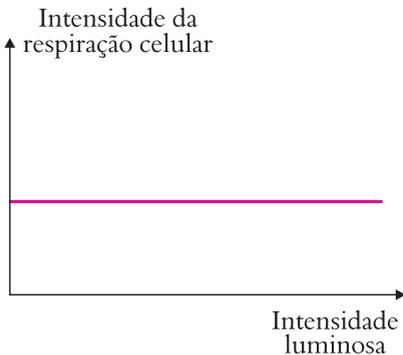


Compare os gráficos da taxa de absorção de luz e da taxa de fotossíntese e veja que as taxas de fotossíntese são maiores nos comprimentos de onda correspondentes às maiores absorções de luz pelas clorofilas.

Veja também que na faixa do verde, apesar da absorção de luz ser muito reduzida, a taxa de fotossíntese não é nula, mostrando que outros pigmentos atuam no processo.

8. Ponto de Compensação Luminosa

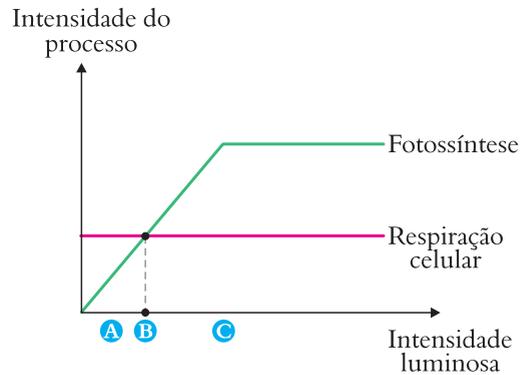
As células vegetais, assim como a enorme maioria das células vivas, realizam a **respiração aeróbica**, processo que absorve O_2 e elimina CO_2 . A intensidade desse processo não é influenciada pela luz, e a célula o realiza tanto no claro como no escuro.



Já a intensidade da fotossíntese é influenciada pela luz. Com respeito às trocas gasosas, a fotossíntese tem papel inverso ao da respiração, pois absorve CO_2 e elimina O_2 .

O gráfico abaixo ilustra o que foi dito.

Identificam-se, no gráfico, situações distintas:



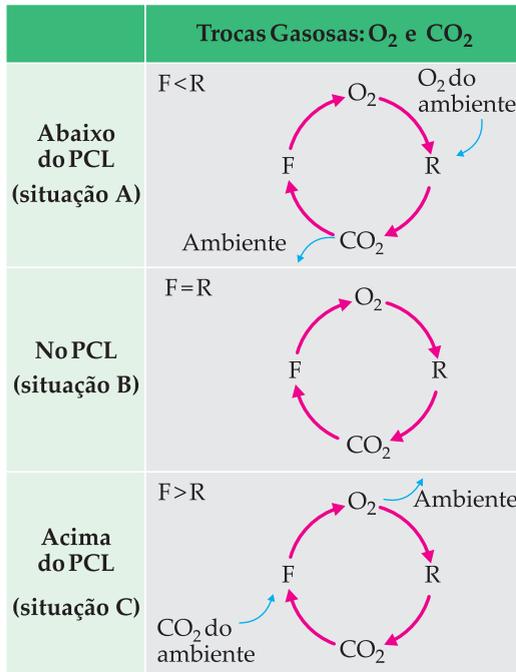
Situação A: sob baixa luminosidade, a intensidade da fotossíntese é pequena, de tal forma que a intensidade da respiração é superior a ela. Nessa situação, a planta **absorve O_2 e elimina CO_2** para o meio ambiente.

Situação B: corresponde à intensidade luminosa na qual a intensidade da fotossíntese é exatamente igual à da respiração celular. Portanto, o oxigênio liberado pela fotossíntese é consumido na respiração celular, e CO_2 liberado na respiração celular é consumido na fotossíntese. Portanto, as **trocas gasosas entre a planta e o ambiente são nulas**. Esta intensidade luminosa é chamada **Ponto de Compensação Luminosa** ou **Ponto de Compensação Fótico**.

As plantas que vivem preferencialmente em locais pouco iluminados (plantas umbrófilas ou "de sombra") têm PCL baixo. Já as que vivem em locais bem iluminados (plantas heliófilas ou "de sol") têm PCL elevado.

Situação C: sob intensa luminosidade, a fotossíntese predomina sobre a respiração. Assim, a planta **absorve CO_2 e elimina O_2** para o ambiente. Como a produção de com-

postos orgânicos é superior ao consumo, nesta situação a planta cresce e incorpora matéria orgânica.



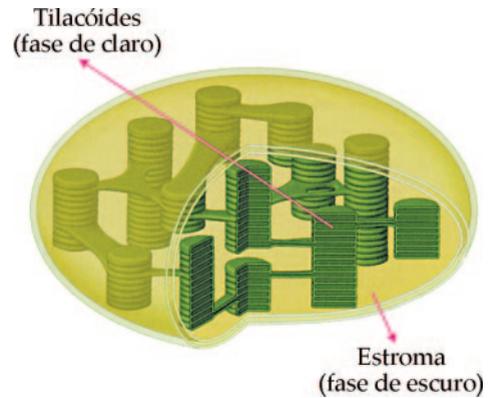
Ao longo de suas vidas, as plantas passam, a cada 24 horas, pelas três situações expostas anteriormente. Para que possam crescer e se desenvolverem normalmente, devem passar a maior parte do tempo em intensidade luminosa superior ao seu ponto de compensação luminosa, sintetizando e incorporando matéria orgânica e liberando oxigênio.

É importante ressaltar que, em um ecossistema em equilíbrio, como uma floresta tropical, as trocas globais são pequenas, uma vez que substâncias liberadas, como oxigênio, são consumidas no próprio ecossistema. Populações vegetais mais abertas e mais dinâmicas têm **balanço positivo**, isto é, sintetizam mais produtos do que consomem. As algas marinhas, por exemplo, constituem a maior massa fotossintetizante da biosfera e seu maior fornecedor de oxigênio.

9. Etapas da Fotossíntese

O processo fotossintético pode ser estudado pela análise das reações químicas que ocorrem nos cloroplastos.

A estrutura dos cloroplastos com tilacóides e estroma são os locais de ocorrência das fases de claro (fotoquímica) e escuros (química).

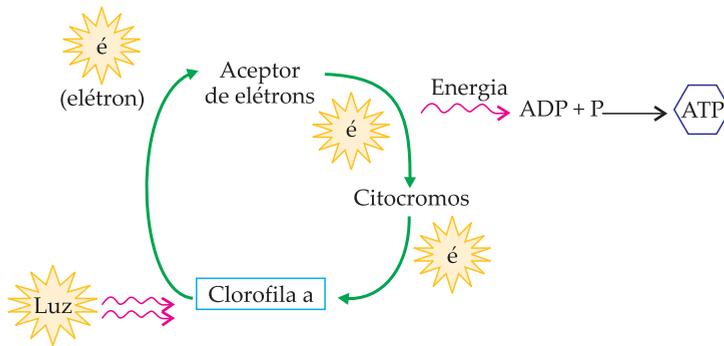


9.1. Etapa Fotoquímica

Também chamada de **fase clara**, uma vez que sua ocorrência é totalmente **dependente da luz**. Nesta etapa, as moléculas de clorofila, iluminadas, perdem elétrons, o que origina "vazios" na molécula. O destino dos elétrons perdidos e a ocupação dos "vazios" nas moléculas de clorofila obedecem a dois mecanismos:

I. Fotofosforilação Cíclica

No chamado **sistema de pigmento I**, predomina a **clorofila a**. Esta, ao ser iluminada, perde um par de elétrons excitados (ricos em energia). O par de elétrons é recolhido por um aceptor, passando depois por uma cadeia de citocromos. Durante a passagem por esta cadeia, os elétrons perdem energia, que é usada para formar duas moléculas de ATP. Após a passagem pelos citocromos, o par de elétrons retorna à clorofila, ocupando o "vazio" que havia sido deixado.

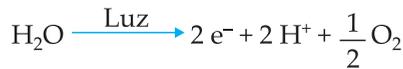


II. Fotofosforilação Acíclica

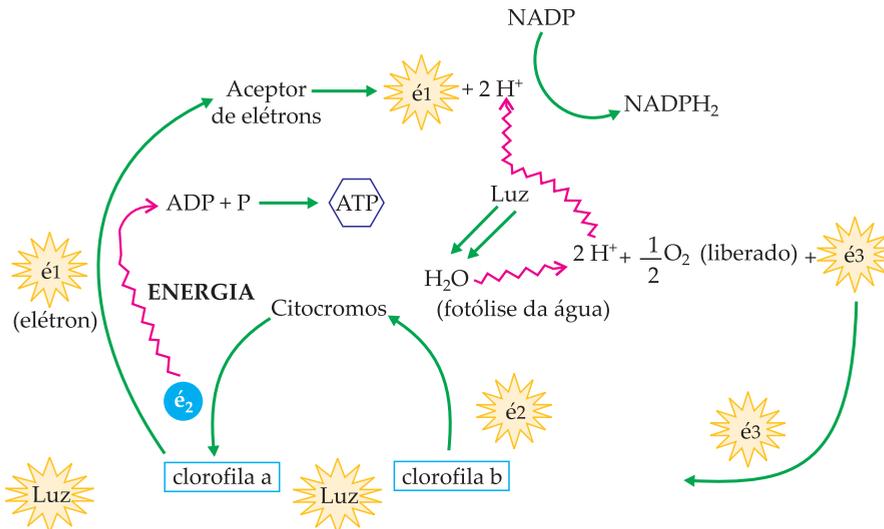
Este processo utiliza o **sistema de pigmento I**, com predomínio da **clorofila a**, e o **sistema de pigmento II**, com predomínio da **clorofila b**.

A **clorofila a**, iluminada, perde um par de elétrons ativados, recolhidos por um receptor, a **ferredoxina**. Ao mesmo tempo, a **clorofila b**, iluminada, perde um par de elétrons que, após percorrer uma outra cadeia de citocromos, ocupa o "vazio" deixado na molécula da **clorofila a**. Durante a passagem dos elétrons pela cadeia de citocromos, duas moléculas de ATP são produzidas.

A água é quebrada pela luz (**fotólise da água** ou **reação de Hill**):



Dos produtos da fotólise da água, os elétrons irão ocupar o "vazio" na molécula da **clorofila b**, os prótons H^+ serão recolhidos pela ferredoxina, que irá reduzir o NADP a NADPH_2 , enquanto o **oxigênio molecular é liberado**. Como já foi afirmado, o **oxigênio liberado** na **fotossíntese provém da água**.



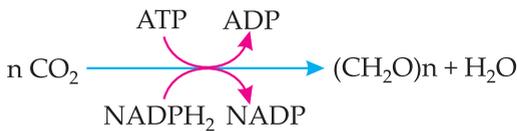
Resumindo, na etapa fotoquímica da fotossíntese, a luz é convertida em energia elétrica (fluxo de elétrons através de aceptores especiais), e esta é convertida em energia química, armazenada nas moléculas de **ATP** e de **NADPH₂**. O oxigênio é outro produto desta etapa, originado na fotólise da água.

9.2. Etapa Química

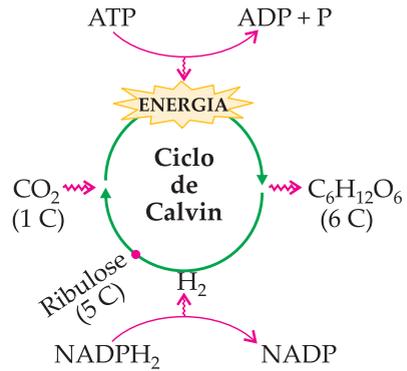
Esta etapa também é conhecida por **fase escura**. Embora não seja dependente da luz, é dependente de substâncias produzidas na etapa fotoquímica (ATP e NADPH₂). Pode, obviamente, claro, ocorrer na presença da luz.

A energia assimilada na fase clara é empregada para incorporar átomos de carbono em moléculas orgânicas.

A redução do CO₂ pode ser assim representada:



A incorporação do carbono ocorre em uma seqüência cíclica de reações, o **ciclo de Calvin** ou **ciclo das pentoses**. As reações da fase escura se processam no estroma dos cloroplastos.

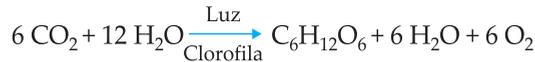


A expressão entre parênteses indica o número de átomos de carbono de cada uma das moléculas.

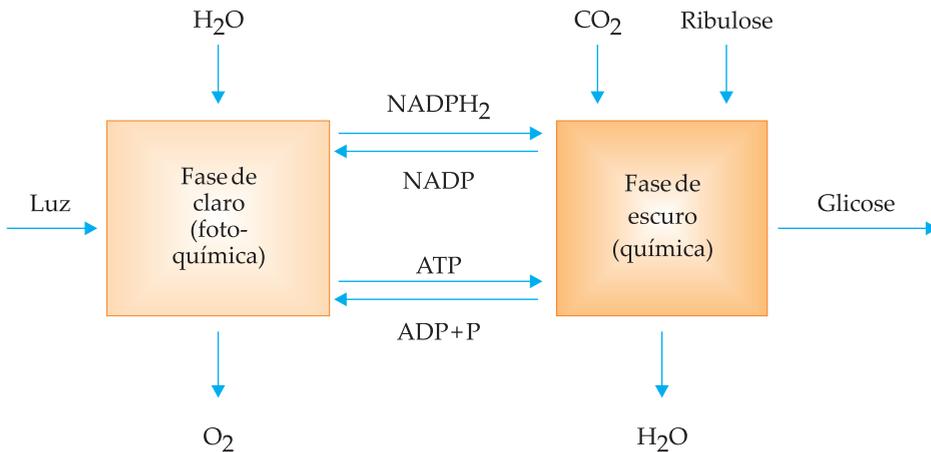
A ribulose é uma pentose, presente nos cloroplastos, que participa das reações do ciclo de Calvin ou ciclo das pentoses.

Monocotiledôneas, como o milho e a cana-de-açúcar, e algumas dicotiledôneas de florestas tropicais incorporam átomos de carbono através de outras vias metabólicas, diferentemente do ciclo de Calvin.

Equação Geral da Fotossíntese



Após a análise das etapas fotoquímica e química da fotossíntese, podemos relacioná-las por um esquema que representa os principais eventos das duas etapas da fotossíntese.





Capítulo 07. Núcleo e Divisão Celular

1. Núcleo Interfásico

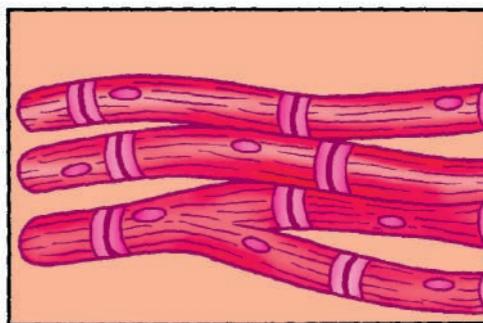
Células procariontes, como as bactérias, possuem material genético (DNA), mas carecem de uma membrana que delimite o núcleo. A palavra se origina do latim *nucleus*, que significa caroço.

Como o núcleo sofre profundas modificações durante a divisão celular, será apresentado no intervalo entre duas divisões (interfase). Esse **núcleo interfásico** é impropriamente chamado de núcleo em repouso, pois, nesse período, há intensa atividade metabólica, com síntese de DNA, RNA e proteínas.

Na maioria das células, o núcleo é único, esférico e tem posição central. Todavia, existem células anucleadas (os glóbulos vermelhos dos mamíferos), binucleadas (células do fígado) e multinucleadas (células musculares e osteoclastos).



Hemácias



Fibras musculares com vários núcleos

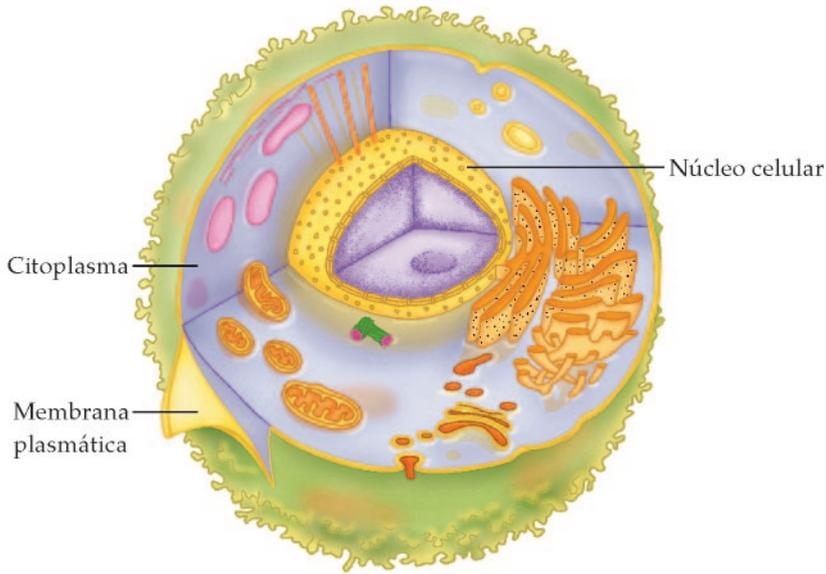
Nas células musculares, os núcleos são alongados, nos glóbulos brancos neutrófilos são segmentados. Algumas larvas de inseto têm núcleo ramificado. Seu tamanho varia de 2 μm a 5 μm .

A **carioteca** (membrana nuclear) só é visível ao microscópio eletrônico. O aparente envoltório visto ao microscópio óptico é a cromatina condensada na periferia do núcleo. Ao microscópio eletrônico, a carioteca se mostra como dois folhetos de membrana sobrepostos, tendo entre eles um espaço de 10 μm . Possui poros de cerca de 100 μm de diâmetro, que permitem intenso intercâmbio de substâncias entre o núcleo e o citoplasma.

Na face citoplasmática, a carioteca tem ribossomos aderidos, e se encontra em continuidade com as membranas do retículo endoplasmático, o que faz crer que ambas sejam compartimentos de um mesmo sistema de membranas. Sua composição é lipoproteica. A massa do núcleo é formada por:

Água: 70%
Proteínas: 22%
DNA: 7%
RNA: 1%

A Organização Eucarionte da Célula Animal



Organização eucarionte de uma célula animal nucleada

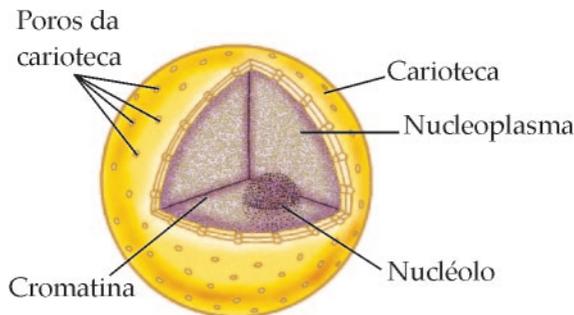
O corante de Feulgen tem grande afinidade pelo DNA (mas não pelo RNA), sendo usado para averiguar o núcleo das células em preparados para microscopia.

O interior do núcleo é ocupado pela **cariolinfa** (ou **nucleoplasma**), gel protéico claro, semelhante ao hialoplasma, mas com maior concentração de RNA e de proteínas.

O **nucléolo** é um corpúsculo denso, esférico, sem membrana e com diâmetro entre 1 μm e 2 μm . Habitualmente, há 1 nucléolo em cada núcleo, embora possa haver 2 ou estar ausente. Constitui-se de RNA, fosfolipídeos, polissacarídeos, DNA (da cromatina associada ao nucléolo) e água.

O nucléolo não é observado nos procariontes. É particularmente freqüente nas células jovens, com intensa síntese de proteínas. Experiências têm mostrado seu papel na formação de ribossomos, como local de produção do RNA ribossômico. O nucléolo desaparece no início da divisão celular, voltando a aparecer no seu final.

Além desses componentes, é extremamente importante a cromatina, que é o conjunto de filamentos cromossômicos.



Organização nuclear

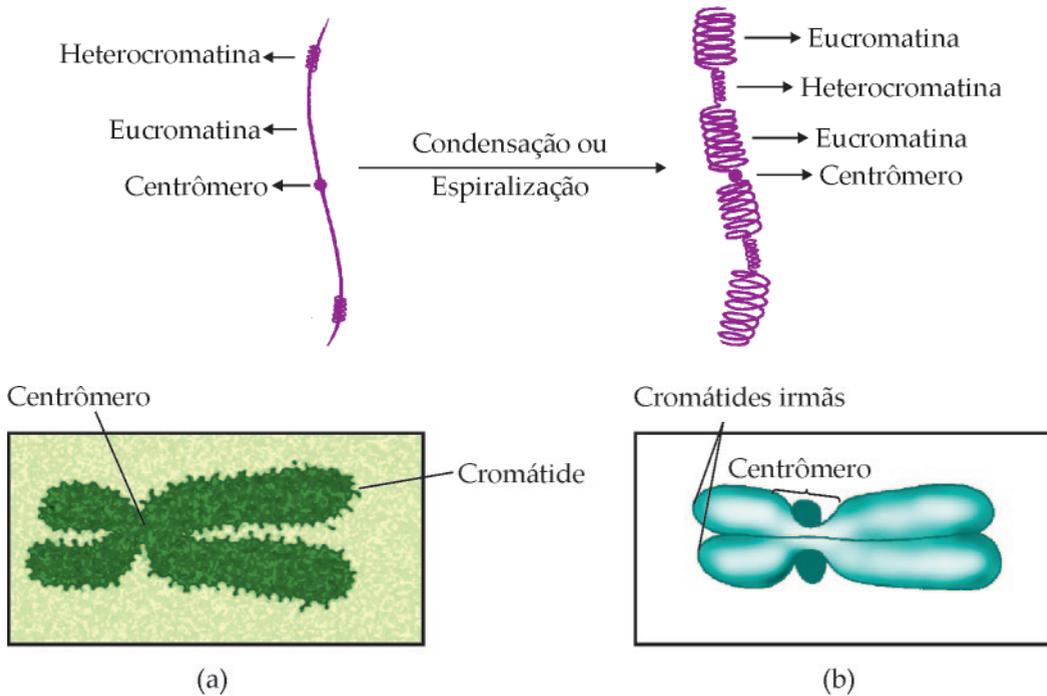


2. Cromatina

É formada por uma rede de filamentos e grânulos, aderida à face interna da carioteca. Durante a interfase, está descondensada, formando a **euromatina**. As porções que, nessa etapa, estão condensadas são os **chromocentros**, formados por **heterocromatina**.

A cromatina é constituída por DNA e por proteínas básicas chamadas **histonas**. Possui, ainda, RNA e cálcio.

Cada filamento descondensado (desespiralizado) na interfase é um **chromonema**. Durante a divisão, sofre condensação e encurtamento, sendo visto individualizado como um **chromossomo**.

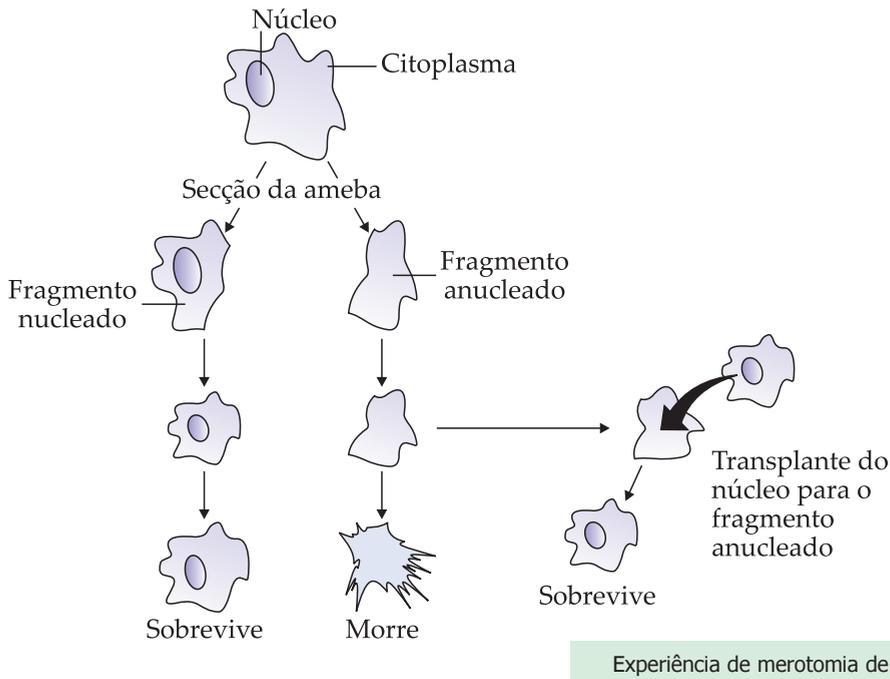


Estrutura do chromossomo
(a) Chromossomo observado ao microscópio
(b) Esquema do chromossomo

3. Atividades Fisiológicas

Os núcleos na interfase estão em intensa atividade. No DNA nuclear, estão as informações genéticas da célula. Esse é o seu principal papel, como depositário de caracteres hereditários e como controlador da atividade celular.

No final do século passado, Balbiani executou o processo conhecido por **merotomia**. Uma ameba é seccionada mecanicamente em dois fragmentos, um nucleado e o outro anucleado. O nucleado vive normalmente, enquanto que o anucleado morre cerca de 20 dias depois.



Se, dentro dos primeiros dias após a merotomia, o fragmento anucleado receber o núcleo de uma outra ameba, volta a se locomover, a se alimentar e pode se reproduzir.

4. Cromossomos

No estudo do núcleo interfásico, é importante a caracterização da cromatina, isto é, dos filamentos cromossômicos.

Os cromossomos são formados por proteínas e DNA, variando em número, forma e posição de centrômero nas diferentes espécies.

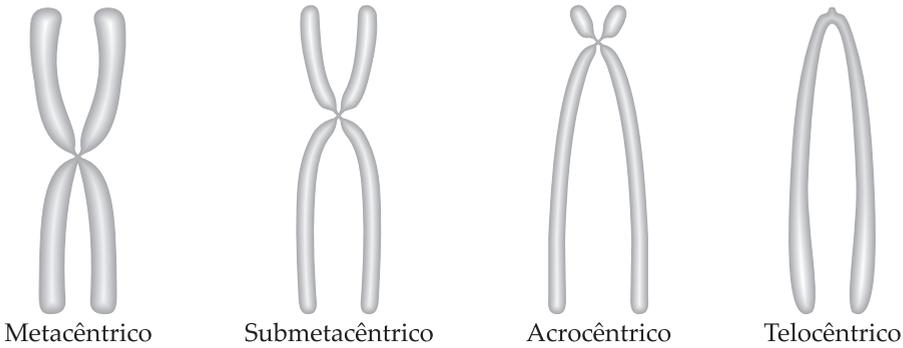
Durante a divisão celular, cada filamento de cromatina se condensa e origina um corpúsculo bastante visível, com formato de um bastão, chamado **cromossomo**. Cada cromossomo simples é formado por uma única molécula de DNA, ligada às proteínas. Nos procariontes, o cromossomo possui apenas DNA.

Cada segmento de cromossomo capaz de determinar a produção de uma proteína é chamado **gene**. O cromossomo pode ser, então, definido como “uma seqüência linear de genes”.

Durante a espiralização da cromatina, as regiões de heterocromatina condensam-se menos que as de eucromatina, originando regiões de estreitamento nos cromossomos. São as **constrições**. Todos os cromossomos têm pelo menos uma constrição, chamada **centrômero (cinetócoro ou constrição primária)**.

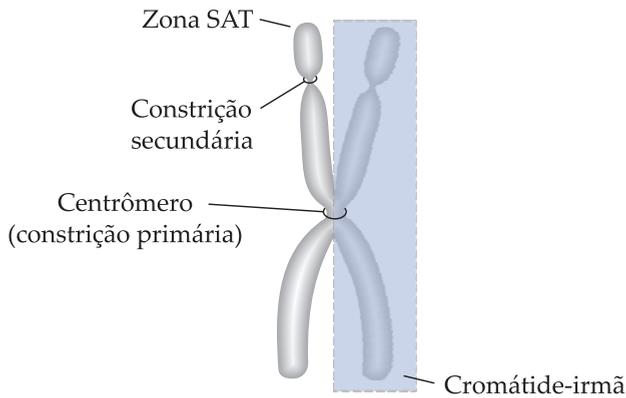
A posição ocupada pelo centrômero permite classificar os cromossomos em:

- 1) **metacêntricos**: o centrômero fica no meio do cromossomo;
- 2) **submetacêntricos**: o centrômero é deslocado para uma das extremidades, e o cromossomo tem dois braços;
- 3) **acrocêntricos**: o centrômero se localiza bem próximo de uma extremidade, e um braço é bem maior que o outro;
- 4) **telocêntricos**: o centrômero está em uma das extremidades.



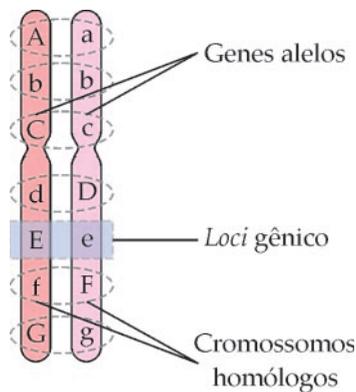
Classificação dos cromossomos quanto à posição do centrômero

Em um dos braços, pode haver uma área de estreitamento, a **constrição secundária**. Em cada espécie, a constrição secundária surge sempre no mesmo cromossomo. A porção separada do corpo do cromossomo pela constrição secundária é a **zona SAT**, também chamada **zona satélite** ou **região organizadora do nucléolo**.

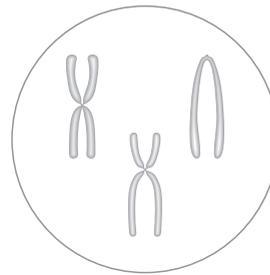


Organização de um cromossomo submetacêntrico

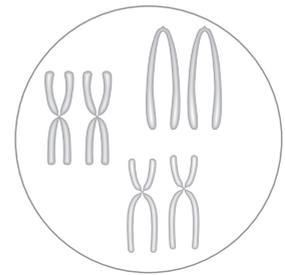
A observação dos cromossomos mostra que, em um núcleo, geralmente, eles ocorrem aos pares, chamados cromossomos homólogos. São iguais quanto ao tamanho, à forma e à posição do centrômero.



Em uma célula somática (muscular, por exemplo), onde os cromossomos existem aos pares, o número cromossômico é chamado **diplóide** ou **2n**, pois há dois lotes idênticos. Em uma célula germinativa (gameta, por exemplo) encontra-se apenas um lote n de cromossomos, chamado **haplóide**.



Célula haplóide
(n = 3)



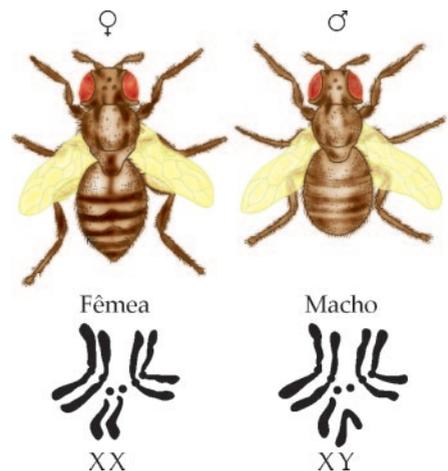
Célula diplóide
(2n = 6)

O número cromossômico é bastante variável de espécie para espécie. Veja na tabela abaixo alguns exemplos.

Espécie	Ploidia
<i>Ascaris univalens</i> (lombriga-de-rato)	2n = 2
<i>Drosophila melanogaster</i> (mosca-das-frutas)	2n = 8
<i>Rattus rattus</i> (rato branco)	2n = 42
<i>Macaca mulatta</i> (macaco Rhesus)	2n = 42
<i>Homo sapiens</i> (ser humano)	2n = 46
<i>Equus caballus</i> (cavalo)	2n = 66
<i>Cucumis sativus</i> (pepino)	2n = 14
<i>Carica papaya</i> (mamão)	2n = 18
<i>Avena sativa</i> (aveia)	2n = 42
<i>Sacharum officinarum</i> (cana-de-açúcar)	2n = 80

Nota-se que espécies muito diferentes, como o rato, o macaco Rhesus e a aveia, têm o mesmo número de cromossomos. Alguns protozoários possuem mais de 300 cromossomos.

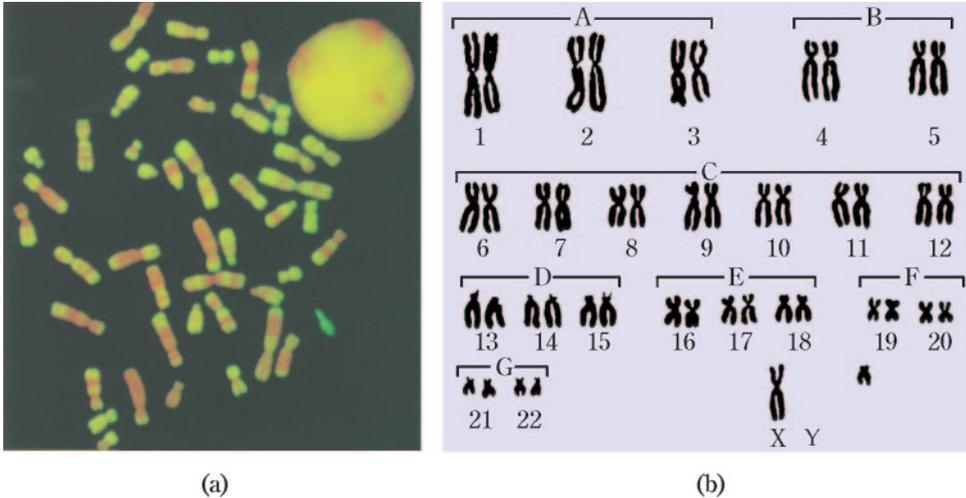
Na maioria das espécies, há um par de cromossomos cujos componentes são diferentes no macho e na fêmea. São os **cromossomos sexuais** ou **alossomos**. Na espécie humana, a mulher possui um par idêntico (XX) enquanto o homem possui um par formado por cromossomos diferentes (XY). Os demais cromossomos, iguais para o macho e a fêmea, são chamados **autossomos**.



Cariótipo de macho e fêmea de *Drosophila melanogaster*



O conjunto de características dos cromossomos de uma espécie constitui o seu cariótipo (número de cromossomos, tamanho e classificação). A observação do cariótipo é melhor durante a divisão celular, pelo alto grau de condensação alcançado pelos cromossomos. Uma vez fotografados ao microscópio, podem ser recortados, e os pares de homólogos agrupados de acordo com o tipo e em ordem decrescente de tamanho. A essa montagem dá-se o nome de **idiograma**.



(a) Cromossomos duplicados em metáfase para preparação do cariótipo
(b) Cariótipo humano masculino.

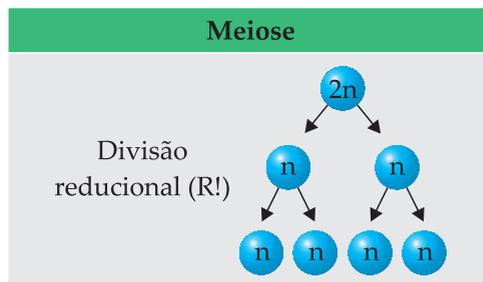
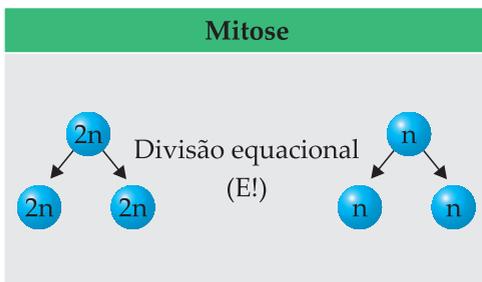
5. A Importância da Divisão Celular

A divisão celular é um processo em que, a partir de uma célula, podem ser formadas duas ou quatro células.

As divisões celulares podem ser do tipo mitose ou meiose, sendo chamadas **divisão equacional** ou **reducional**, respectivamente.

Na divisão equacional (E!), isto é, na mitose, existe a manutenção da **ploidia** nas células – filhas iguais à célula-mãe (original).

Na divisão reducional (R!), isto é, na meiose, existe a redução da ploidia nas células-filhas em relação à célula-mãe (original).



Quando um protozoário se divide, está, na verdade, originando 2 novos indivíduos. Para os seres unicelulares, divisão celular significa **reprodução**.

Para os pluricelulares, divisão celular se relaciona com:

- 1) **crecimento:** o aumento do tamanho do indivíduo se dá pelo aumento do número e do tamanho das células;
- 2) **renovação celular:** certos tecidos substituem periodicamente suas células graças às divisões de células precursoras. Assim ocorre a renovação dos glóbulos vermelhos do sangue e da camada superficial da epiderme;
- 3) **regeneração:** alguns tecidos, como o tecido hepático, têm grande poder de substituir células mortas graças às divisões das células restantes.

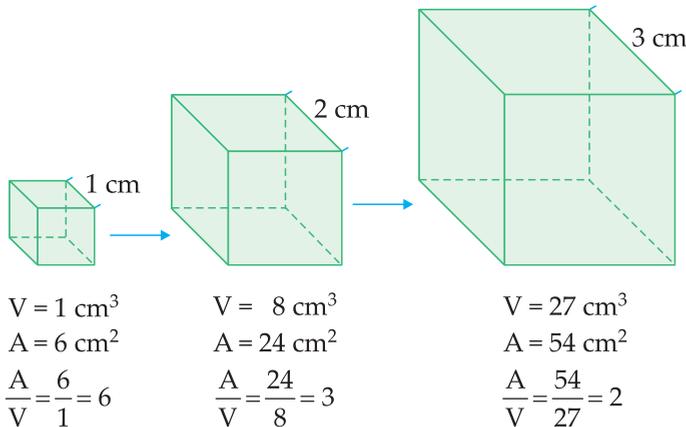
O padrão de divisão comum aos protozoários e aos seres multicelulares é a **mitose**, através da qual uma célula origina

duas células-filhas geralmente idênticas entre si e à célula-mãe, inclusive quanto ao número de cromossomos. A mitose pode ser chamada **divisão equacional**.

A mitose é um evento obrigatório em alguns tecidos (na medula óssea produtora de células do sangue), eventual em outros (no fígado em regeneração) ou não observado em alguns (os tecidos nervoso e muscular). Como a célula "sabe" que chegou a hora de se dividir?

- a) Com o crescimento da célula, a relação entre o volume celular e a área da sua membrana aumenta até alcançar um valor crítico, que desencadeia a divisão.

Para entendermos melhor, vamos comparar uma célula a um cubo de aresta igual a 1 cm. Vamos determinar a relação entre a superfície do cubo e o seu volume.



Podemos perceber que, com o crescimento celular, o volume celular cresce numa razão maior que sua área, ou seja, o crescimento da superfície celular não acompanha o aumento do volume celular.

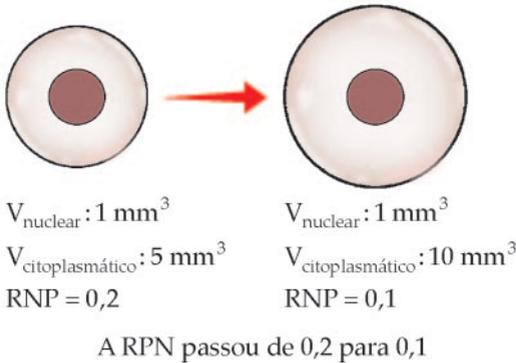
Esta desproporcionalidade entre superfície e volume torna-se, ao longo do processo de crescimento celular, inviável para a manutenção do metabolismo celular, como absorção de nutrientes, trocas gasosas e eliminação de excretas. Com o crescimento celular, essa desproporcionalidade entre superfície celular e volume desencadeia a divisão celular, tornando, assim, a superfície compatível com o volume a cada início de ciclo celular.

- b) Com o crescimento, o volume do citoplasma aumenta proporcionalmente mais que o volume do núcleo, diminuindo a **relação núcleo-plasmática (RNP)**.

$$RNP = \frac{\text{volume do núcleo}}{\text{volume do citoplasma}}$$



Consideremos uma célula que tem volume nuclear de 1 mm^3 e volume citoplástico de 5 mm^3 . Com o crescimento da célula, o volume do citoplasma passa para 10 mm^3 , não se alterando o volume nuclear.



Hertwig, em 1908, propôs que quando a RNP alcança um valor mínimo crítico (Kc), constante para cada tecido, a divisão se inicia.

Não se sabe, ao certo, que fatores controlam a taxa de divisão de um tecido. Estudos com vegetais mostram a ação de hormônios, como as citocininas, estimulando as divisões. Acredita-se que a duração dos ciclos celulares e a ocorrência de mitose sejam influenciadas pelas concentrações intracelulares de algumas substâncias, como o ATP, o AMP cíclico e outras.

O estudo dos indutores e dos inibidores da divisão celular tem papel importante no conhecimento sobre câncer, por se tratar de doença na qual há proliferação anormal de células.

6. O Ciclo Celular

Compreende todo o período que vai desde o surgimento da célula até o momento em que ela se divide. O período que antecede a divisão celular é a **interfase**, de aparente inatividade, uma vez que nele não se observam grandes alterações morfológicas na célula. Constitui, porém, um período de acentuada atividade metabólica, tanto do citoplasma como do núcleo.

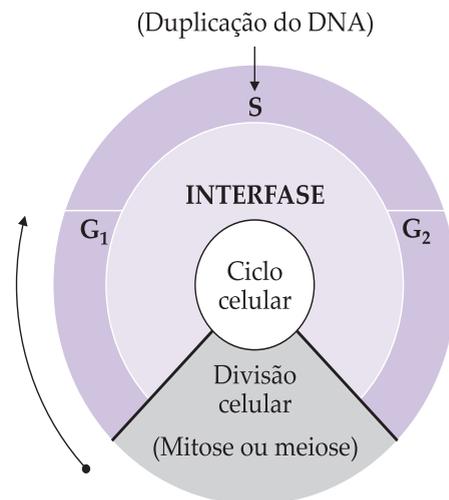
A **interfase** é dividida em três períodos.

- I. **Período G_1** : a letra **G** vem da palavra **gap**, que significa "intervalo", em inglês. Nesse período, ocorre crescimento da célula que surgiu na mitose anterior, até alcançar seu tamanho normal. No período G_1 , há intensa produção de RNA no núcleo, e síntese de proteínas no citoplasma.
- II. **Período S**: vem de **synthesis**. Nele, a célula duplica seu material genético, graças à replicação do DNA da cromatina. A duplicação não é sincronizada, isto é, os cromossomos não iniciam nem encerram a replicação todos ao mesmo tempo.

Após a duplicação, o cromossomo, que era formado por um **cromonema**, passa a ter dois filamentos unidos pelo centrômero. São duas **cromátides-irmãs**.

- III. **Período G_2** : duplicado todo o material hereditário, a célula entra em outro período de crescimento, semelhante ao do G_1 , mas com menor produção de RNA e de proteínas. É o momento de aparecimento das proteínas que irão constituir o fuso mitótico, assumindo um arranjo especial organizado pelos centríolos.

Uma vez iniciada a divisão celular, uma série de alterações ocorre na célula, em uma seqüência contínua de numerosos eventos.



7. Mitose

7.1. Introdução

Ao estudarmos a divisão celular da mitose, verificamos comportamentos característicos dos **chromossomos**, mudanças na estrutura do núcleo, da membrana nuclear, dos centríolos e do nucléolo.

Para facilitar o estudo da mitose, podemos dividi-la em fases com os seguintes nomes: prófase, metáfase, anáfase e telófase.

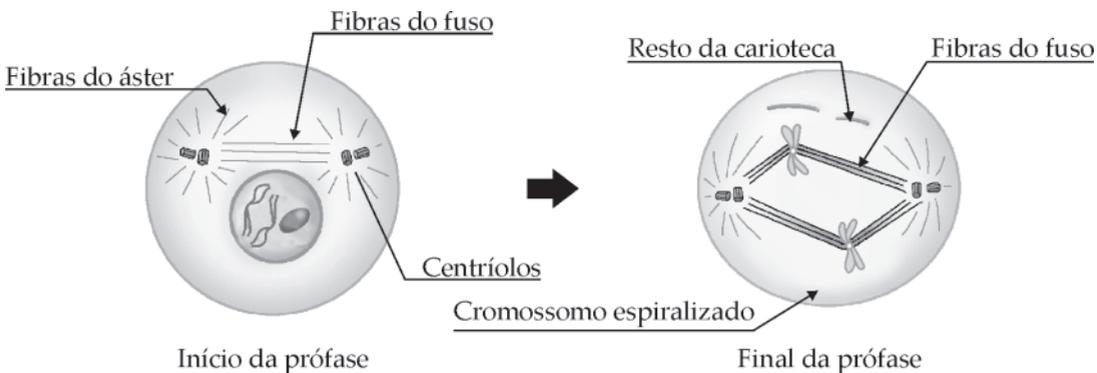
7.2. Fases

I. Prófase

É a mais longa. Tem início com um discreto aumento de volume do núcleo. A cromatina começa a se espiralizar. Os nucléolos desaparecem.

Os centríolos já duplicados migram para os pólos da célula. Durante a migração, fibras protéicas do hialoplasma se colocam como raios ao redor dos centríolos, formando o **áster**. Surgem, também, fibras que ligam um par de centríolos ao outro. Formam o **fuso mitótico** ou **fuso acromático**. Ao conjunto formado pelos centríolos, pelos ásteres e pelo fuso mitótico dá-se o nome de **aparelho mitótico**.

A carioteca se rompe e os cromossomos se soltam no citoplasma. Através dos centrômeros, ligam-se as fibras do fuso mitótico. As fibras do fuso que se ligam aos cromossomos são chamadas **fibras cromossômicas**. As que vão de um par de centríolos ao outro, sem se ligar a cromossomo nenhum, são as **fibras contínuas**.



II. Metáfase

Os cromossomos se colocam na região equatorial da célula. As cromátides-irmãs, ainda unidas pelo centrômero, atingem seu grau máximo de condensação, tornando-se bem visíveis ao microscópio. Pela facilidade de observação dos cromossomos, a metáfase é chamada **fase do cariótipo**. Para facilitar o estudo cromossômico, a divisão celular pode ser interrompida na metáfase, por substâncias como a colchicina e a vimblastina, que impedem a polimerização das proteínas do fuso mitótico.



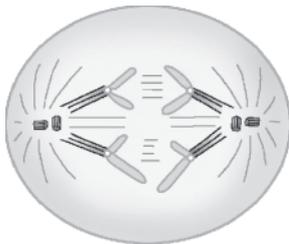
Metáfase



III. Anáfase

Seu início é marcado pela bipartição dos centrômeros e separação das cromátides-irmãs. As fibras do fuso mitótico tracionam os cromossomos. As cromátides-irmãs migram para pólos opostos (**metacinese**). O aparente encurtamento das fibras cromossômicas do fuso mitótico ocorre graças ao seu deslizamento sobre as fibras contínuas.

No final dessa fase, em cada pólo, há número de cromossomos igual ao que havia na célula que iniciou a divisão, embora agora com apenas um filamento cada um. Tem início a desespiralização dos cromossomos.



Anáfase

IV. Telófase

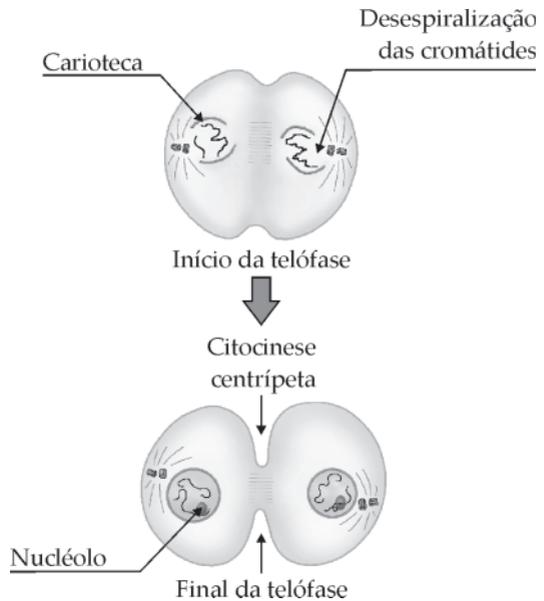
Os cromossomos desespiralizados estão dispostos em dois conjuntos, um em cada pólo. Cada conjunto é envolvido por uma nova carioteca, que surge pela fusão de segmentos do retículo endoplasmático. Desaparecem os filamentos do áster e do fuso mitótico. Na constricção secundária de certos cromossomos, reconstitui-se o nucléolo.

Na região equatorial, em toda a circunferência da célula, surge o **sulco de divisão** e, à medida que se aprofunda, aumenta o estrangulamento nesta região. Ocorre a separação das duas células-filhas, denominada **citocinese**. As proteínas citoplasmáticas actina e miosina tomam parte dessa divisão do citoplasma.

Surgem duas células-filhas com o mesmo número de cromossomos da célula-mãe (mesma ploidia), embora não visíveis no final da

divisão, pois o núcleo de cada uma já se encontra no estado interfásico.

Ao mesmo tempo que ocorre a separação do material genético para as células-filhas, também ocorre a distribuição dos componentes celulares, como as organelas, uniformemente, para as futuras células.



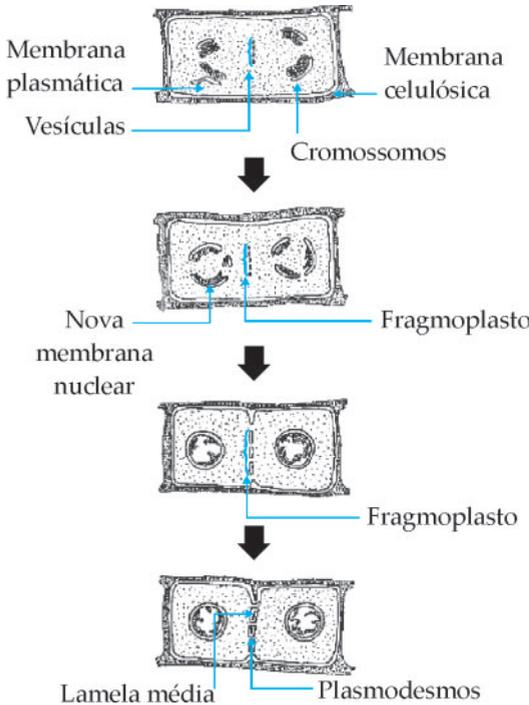
7.3. Mitose na Célula Vegetal

Em linhas gerais, a mitose da célula vegetal segue os mesmos passos da mitose animal. Serão enumeradas, a seguir, as **principais diferenças**.

- A célula vegetal superior não possui centríolos. Durante a formação do fuso mitótico, as fibras convergem para pontos localizados em pólos opostos na célula, mas não orientados em direção aos centríolos. A mitose vegetal é **anastral**. Como a célula animal tem centríolo e forma áster, sua mitose é **astral**.
- A célula animal sofre estrangulamento na região equatorial, que termina por dividi-la em duas (**citocinese centrípeta**). Na célula vegetal, não há estrangulamento. No final da telófase, vesículas originadas no complexo golgiense se colocam no plano equatorial, no centro da célula. O conjun-

to de vesículas chama-se **fragmoplasto**, que forma a **lamela média**.

Como a formação do fragmoplasto ocorre do centro para a periferia, a **citocinese é centrífuga**. Persistem falhas na parede celulósica recém-formada, através das quais se estabelecem pontes citoplasmáticas entre as células, denominadas **plasmodesmos**.



8. Meiose

8.1. Importância e características

A meiose é um tipo de divisão celular que envolve duas etapas, nas quais, a partir de uma célula diplóide ($2n$) são formadas quatro células haplóides (n).

Nos animais, o fenômeno da meiose está relacionado com a formação de gametas, e, nos vegetais, a meiose ocorre para a formação dos esporos.

Durante a plantação de um canavial, um caule de cana é seccionado em vários pedaços, as “mudas”. Cada pedaço irá originar

uma nova planta. A anêmona-do-mar, um celenterado, forma novas anêmonas por brotamento de seu próprio corpo. Nos dois casos, há uma forma de reprodução na qual um indivíduo origina vários que são cópias idênticas dele mesmo. São exemplos de **reprodução assexuada**, que ocorrem em muitos vegetais e em alguns invertebrados. Por reprodução assexuada, um indivíduo origina, geralmente, grande número de **descendentes muito semelhantes**, pois todos possuem o mesmo patrimônio hereditário do ancestral.

A **reprodução sexuada**, por sua vez, envolve dois eventos:

1. a produção de células especiais, os **gametas**;
2. a **fecundação**, caracterizada pela união de dois gametas.

Os animais superiores reproduzem-se sexuadamente.

Em relação a reprodução assexuada, a reprodução sexuada origina menor número de descendentes, com dispêndio de energia muito maior. Nos vegetais, a reprodução sexuada implica a formação de flores vistosas e perfumadas, atraentes para os polinizadores. Animais de sexos opostos usam vários artifícios (plumagem, canto, odor etc.) para se tornarem atraentes. Os machos produzem milhares (ou milhões) de gametas para cada gameta feminino produzido.

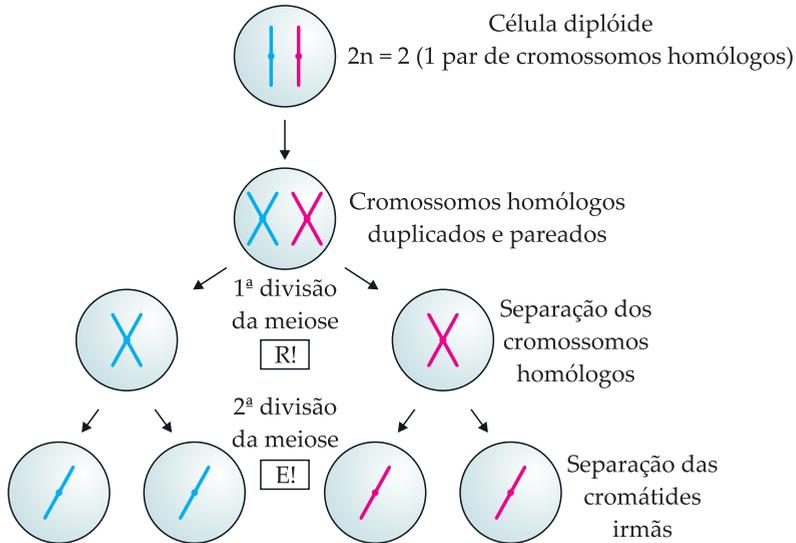
Qual é a vantagem de todo esse esforço?

A resposta é: **variabilidade genética**.

Como, na reprodução sexuada, cada novo indivíduo é resultado da fusão de gametas diferentes, cada um possui patrimônio hereditário diferente dos demais, o que garante a **diversidade** dentro das populações. Como elas sofrem, continuamente, pressões da **seleção natural**, quanto maior for o número de variações, maior será a chance de indivíduos aptos serem selecionados e originarem descendentes.

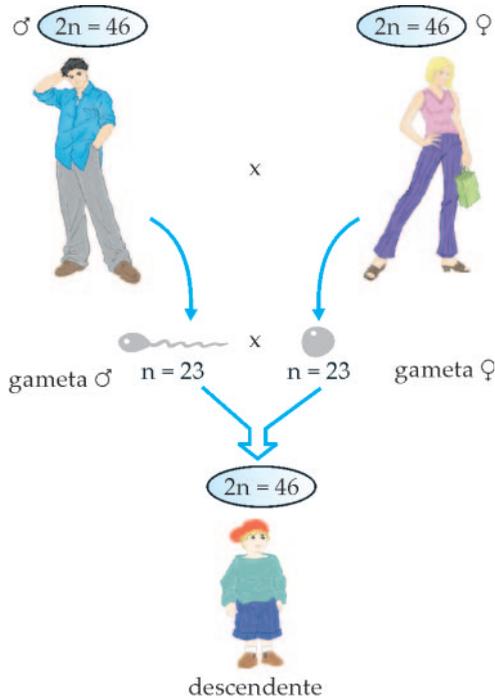


A meiose é chamada de **divisão reducional**, por dividir pela metade a quantidade de cromossomos da célula. Ela ocorre em células diplóides ($2n$) e origina quatro células-filhas haplóides (n). Consiste em duas divisões sucessivas, como mostradas a seguir:



Quatro células haplóides ($n = 1$), com a metade da ploidia da célula inicial

A produção de gametas, com metade da quantidade de cromossomos da espécie, faz com que a fusão de dois deles, na fecundação, reconstitua a quantidade inicial de cromossomos.



8.2 Fases

A divisão de meiose é do tipo reducional, ocorrendo a redução da ploidia da célula.

Uma célula diplóide ($2n$), ao sofrer meiose, produz quatro células haplóides (n), que podem ser **gametas** nos animais ou **esporos** nos vegetais.

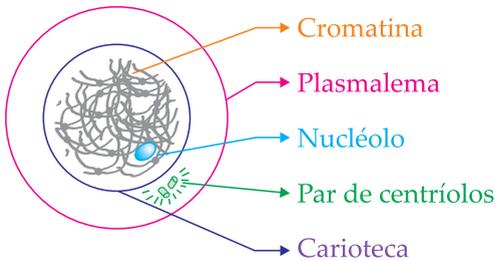
Como ocorre na divisão da mitose, também na meiose, antes de se iniciar a divisão celular, a célula passa pela intérfase com os períodos G_1 , S e G_2 .

A primeira etapa da meiose difere muito de uma mitose, pois ocorrem os fenômenos de pareamento e separação de **chromossomos homólogos**, os quais não ocorrem na mitose.

A segunda etapa da meiose é semelhante à mitose.

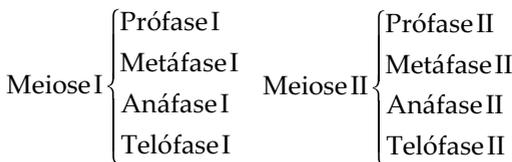
Como já vimos na mitose, a intérfase na meiose também é uma etapa de intensa atividade metabólica, com síntese de proteínas e RNA.

A figura a seguir representa uma célula em intérfase onde os cromossomos ainda não podem ser vistos individualizados.



A divisão de meiose é estudada em duas etapas: meiose I e meiose II.

Os nomes das fases da meiose são os mesmos usados para a mitose.

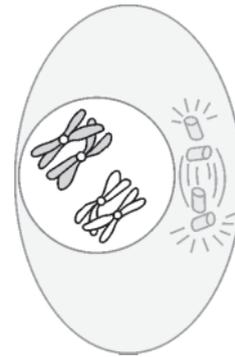


A primeira divisão meiótica (meiose I) compreende:

I. Prófase I

A prófase I é caracterizada pelo fenômeno do pareamento dos cromossomos homólogos. Nesta fase, pode ocorrer o fenômeno de **permutação** ou *crossing-over*, que é uma importante fonte de **variabilidade** genética nas populações, com a formação de gametas recombinantes.

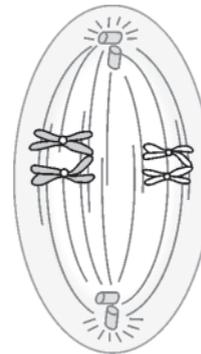
A figura a seguir destaca a prófase I em uma de suas fases mais marcantes e características, quando ocorre o pareamento dos cromossomos homólogos.



$2n = 4$

II. Metáfase I

Metáfase I: com grau máximo de condensação ou espiralização, maior que na mitose, os cromossomos estão emparelhados no equador celular.

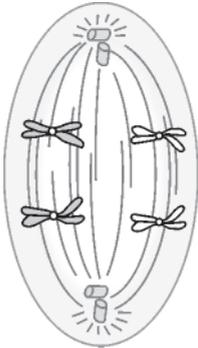


$2n = 4$



III. Anáfase I

Com o encurtamento das fibras do fuso, os cromossomos homólogos se separam e se dirigem para pólos opostos (**disjunção**). Não há bipartição dos centrômeros, e as cromátides irmãs permanecem unidas. Em cada pólo, está a metade dos cromossomos da célula-mãe, ainda duplicados.



$$2n = 4 \rightarrow n = 2$$

IV. Telófase I

Telófase I: os cromossomos se desespiralizam, a carioteca se refaz e o citoplasma se divide, formando duas células-filhas **haplóides**.

Entre o final da divisão I e o início da divisão II, pode ocorrer um pequeno intervalo, a **intercinese**, no qual não há duplicação do DNA.

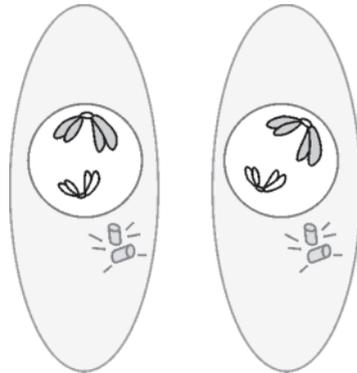


$$n = 2$$

Os eventos da segunda divisão meiótica são idênticos aos da mitose, uma vez que duas células haplóides, resultantes da divisão I, irão originar quatro células haplóides no final da divisão.

V. Prófase II

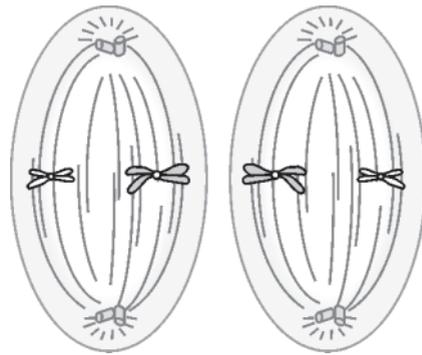
A carioteca se fragmenta, os cromossomos iniciam sua espiralização e se ligam às fibras do fuso, que se dirigem para ambos os pólos.



$$n = 2$$

VI. Metáfase II

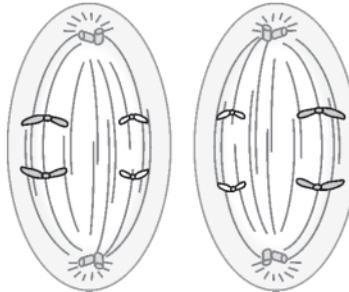
Nesta fase, os cromossomos estão bem condensados ou espiralizados, localizados no plano equatorial da célula.



$$n = 2$$

VII. Anáfase II

Ocorre a bipartição dos centrômeros e as cromátides irmãs se separam, tracionadas pelas fibras do fuso para pólos opostos das células.



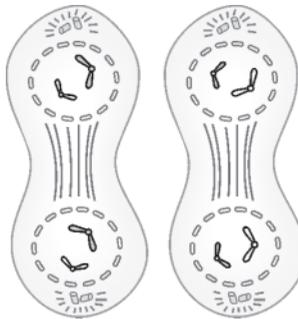
n = 2

Importante

A anáfase I separa os cromossomos homólogos, enquanto a anáfase II separa as cromátides irmãs.

VIII. Telófase II

Nesta última etapa, ocorre a reorganização do núcleo, a desespiralização dos cromossomos e a divisão do citoplasma (citocinese).



n = 2

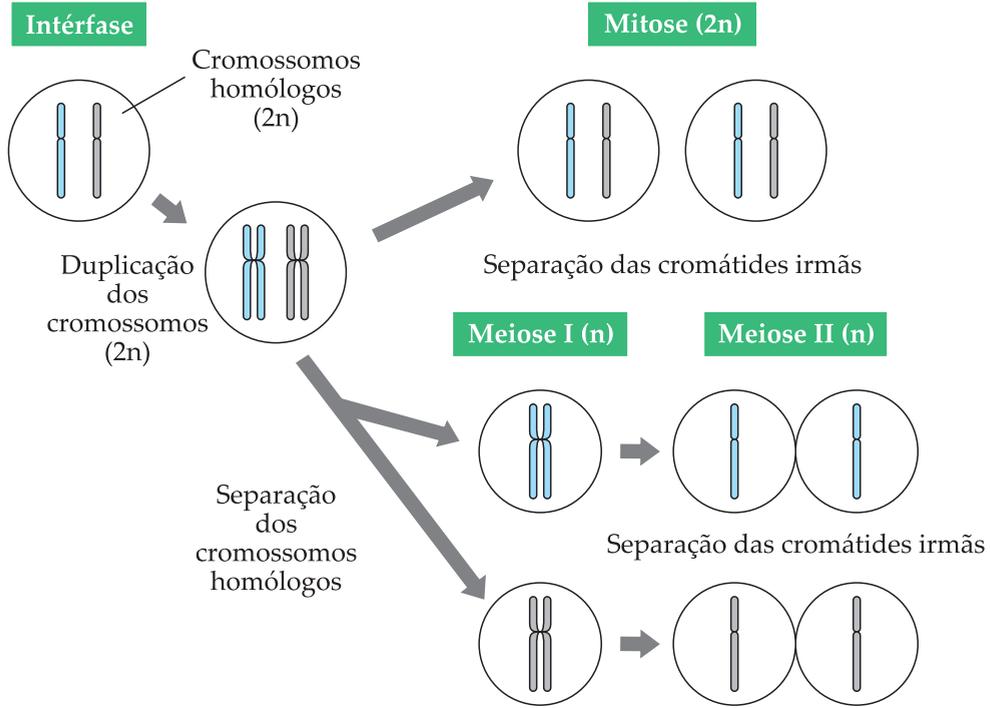
Observe que foram formadas quatro células (n = 2) com a metade da ploidia da célula inicial.



n = 2



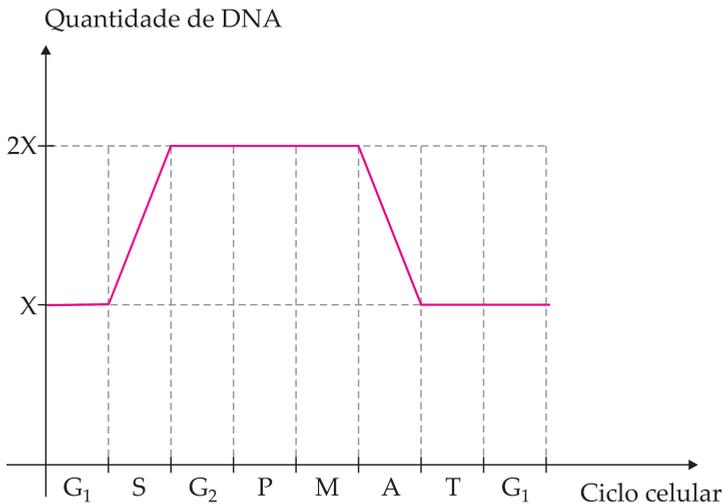
8.3. Comparação entre Mitose e Meiose



8.4. Variação da Quantidade de DNA na Mitose

Durante o ciclo mitótico celular, ocorrem modificações na quantidade de DNA da célula, mas não na quantidade de cromossomos. Para se evitar confusão entre a quantidade de filamentos de cromatina e a quantidade de cromossomos, a contagem de cromossomos se baseia na contagem de centrômeros.

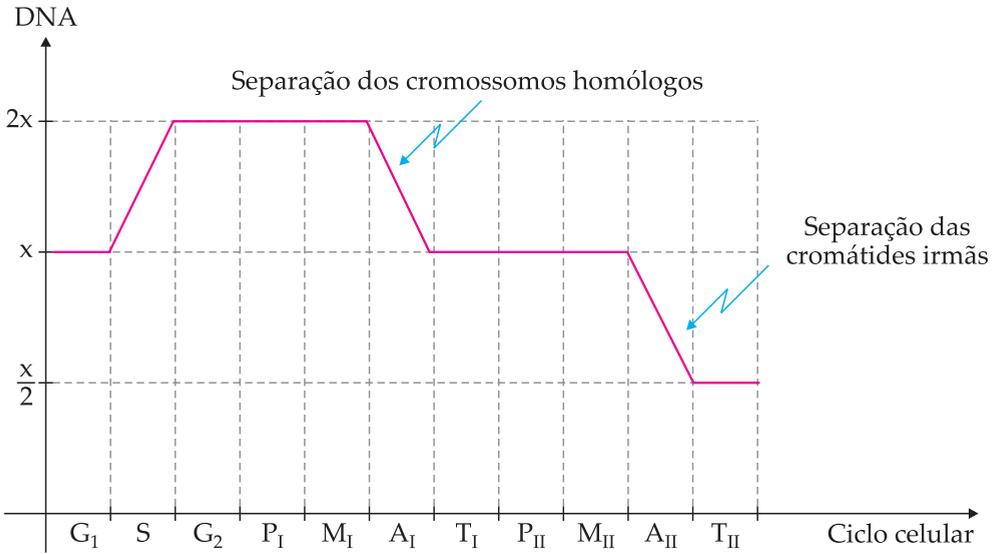
A variação na quantidade de DNA, durante o ciclo celular, obedece ao seguinte gráfico.



8.5. Variação da Quantidade de DNA na Meiose

Na meiose, ocorre também variação da quantidade de DNA no núcleo celular.

A variação da quantidade de DNA ocorre em dois momentos: durante a separação dos cromossomos homólogos (anáfase I) e na separação das cromátides irmãs (anáfase II).



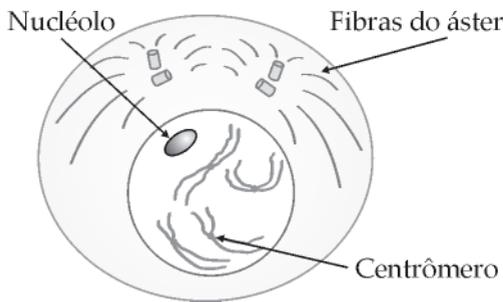
Observe que as células resultantes da meiose, assim como os gametas dos animais e os esporos dos vegetais, apresentam metade da quantidade de DNA e da ploidia da célula inicial.

Leitura Complementar

As Subfases da Prófase

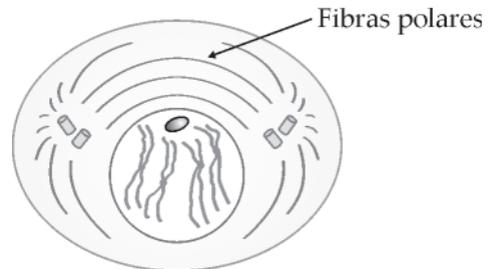
É a fase mais longa e complexa, contendo cinco estágios.

I) **Leptóteno** (*leptos* = fino): nesse estágio, os filamentos de cromatina, já duplicados, iniciam sua espiralização.



Leptóteno

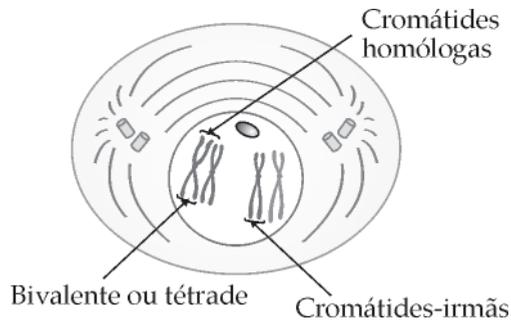
II) **Zigóteno** (*zygos* = par): prosseguindo na condensação, cada cromossomo se move e se coloca lado a lado com seu homólogo. O emparelhamento se chama **sinapse** e cada par de homólogos constitui um **bivalente**.



Zigóteno

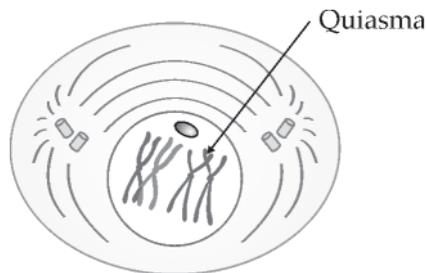


- III) **Paquíteno** (*paquis* = espesso): pareados e mais condensados, os cromossomos evidenciam suas duas cromátides. Assim, o par terá quatro cromátides lado a lado (**tétrade**). É possível a troca de fragmentos entre cromátides de cromossomos homólogos, denominado permutação ou *crossing-over*.



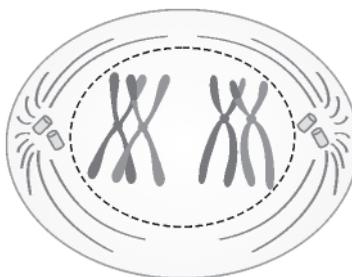
Paquíteno

- IV) **Diplóteno**: após a troca de fragmentos entre os cromossomos homólogos, a imagem em "X" observada ao microscópio é o **quiasma**.



Diplóteno

- V) **Diacinese**: ocorre a terminalização dos quiasmas, isto é, seu deslizamento para as extremidades dos cromossomos e sua completa separação. O nucléolo desaparece e a carioteca desintegra-se, ficando os cromossomos soltos no citoplasma. Cada cromossomo do par de homólogos se liga a fibras do fuso acromático, que se dirigem a um dos pólos celulares.



Diacinese

Anotações



