

SECRETARIA DE ESTADO DA EDUCAÇÃO  
DEPARTAMENTO DE EDUCAÇÃO BÁSICA



Biologia • Química

SECRETARIA DE ESTADO DA EDUCAÇÃO  
Avenida Água Verde, 2140  
Telefone: (0XX) 41 3340-1500  
80240-900 - CURITIBA - PARANÁ  
[www.diaadiaeducacao.pr.gov.br](http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br)



Pré-vestibular

Prezado(a) aluno(a)

O material que você está recebendo é fruto de uma parceria entre a Secretaria de Estado da Educação do Paraná e o Programa Eureka, veiculado pela TV Paraná Educativa desde 2003.

Trata-se de um material com características específicas, uma vez que não se destina ao ensino regular, mas diretamente a você, estudante de terceiro ano, interessado no concurso vestibular para o ingresso no ensino superior.

A Secretaria de Estado da Educação, através do Departamento de Educação Básica e da TV Paulo Freire, em atendimento a essa demanda específica, assumiu a parte administrativa, cuidando da editoração, impressão, distribuição do material, gravação de aulas e da contratação de professores, com experiências significativas em cursos pré-vestibulares, que se responsabilizaram pela produção pedagógica do material.

A produção de 100 aulas, que serão transmitidas pela TV Paulo Freire e pela TV Educativa, complementam esta ação e articulam o material impresso à linguagem televisiva, possibilitando a você aprofundamento nos conteúdos disciplinares.

Nossa expectativa é que, tendo acesso a todos estes materiais, você e seus colegas se organizem junto à direção escolar e a seus professores para realização dos estudos.



**GOVERNO DO PARANÁ**

Roberto Requião

**SECRETARIA DE ESTADO DA EDUCAÇÃO**

Mauricio Requião de Mello e Silva

**DIRETORIA GERAL**

Ricardo Fernandes Bezerra

**SUPERINTENDÊNCIA DA EDUCAÇÃO**

Yvelise Freitas de Souza Arco-Verde

**DEPARTAMENTO DE EDUCAÇÃO BÁSICA**

Mary Lane Hutner

**COORDENAÇÃO PEDAGÓGICA**

Marlus Humberto Geronasso

Regina Elisabeth Luque





**Biologia**



## AULA Nº 01

## INTRODUÇÃO À BIOLOGIA

A BIOLOGIA trata de tudo que direta ou indiretamente esteja relacionado à existência do fenômeno vida e dos seres vivos, em geral.

Esse estudo se processa desde o nível molecular até as relações que envolvem os seres vivos entre si e deles com o seu meio.

**Algumas Divisões da Biologia**

- **Citologia** – estuda tudo que se relaciona à célula;
- **Histologia** – estudo dos tecidos;
- **Embriologia** – estuda a formação e o desenvolvimento do embrião.
- **Fisiologia** – estuda o funcionamento de células, tecidos, órgãos ou sistemas.
- **Anatomia** – estuda a estrutura e a forma de células, tecidos, órgãos ou sistemas.
- **Zoologia** – estuda os animais;
- **Botânica (fitologia)** – estuda os vegetais;
- **Taxonomia (sistemática)** – estuda a classificação dos seres vivos;
- **Genética** – estuda a hereditariedade e suas variações;
- **Evolução** – estudadas as mudanças que os seres vivos sofrem ao longo dos tempos e suas causas;
- **Ecologia** – estuda as relações dos seres vivos entre si e deles junto ao seu meio.

**Características Gerais dos Seres Vivos**

Considerando a dificuldade em definir vida, estuda-se as características dos seres vivos que os diferem dos seres “brutos”.

As principais são:

**1. Composição química**

Os elementos químicos mais abundantes da matéria viva são o Carbono, Hidrogênio, Oxigênio e Nitrogênio; na matéria bruta, Oxigênio, Silício e Alumínio.

As moléculas orgânicas apresentam alto peso molecular em comparação às inorgânicas. Existem também moléculas inorgânicas nos seres vivos.

A proporção relativa média entre as substâncias que constituem o corpo de um ser vivo é, aproximadamente, de 80% de água, 1% de sais

minerais, 14% de proteínas, 3% de lipídios, 1% de carboidratos e 1% de ácidos nucleicos.

**2. Organização celular**

Os seres vivos apresentam como unidade estrutural e funcional a célula. Excetua-se, por exemplo, os vírus que são acelulares.

Os seres constituídos por uma só célula são os unicelulares e os formados por várias células, pluricelulares ou multicelulares.

**3. Metabolismo**

É o conjunto das reações químicas de uma célula ou de um organismo. Essas reações permitem a transformação e utilização da matéria e da energia.

São dois os processos básicos do metabolismo:

- **Anabolismo** – conjunto de reações de síntese de uma célula ou de um organismo. Ocorre produção de moléculas e armazenamento de energia.
- **Catabolismo** – conjunto das reações de análise (quebra) de moléculas de uma célula ou organismo. Ocorre destruição de moléculas com liberação de energia.

**4. Reprodução**

É a capacidade de gerar novos seres da mesma espécie. A reprodução garante a perpetuação da espécie, sendo, portanto, indispensável para a mesma, mas não para o indivíduo.

**5. Crescimento**

Processo que permite o aumento do tamanho físico do organismo.

O crescimento nos seres vivos pode ocorrer pelo aumento do volume em unicelulares ou pelo aumento do volume e do número de células nos pluricelulares.

A matéria bruta também pode crescer, como acontece com os cristais. Na realidade, esse crescimento ocorre de fora para dentro (superposição), por deposição de matéria em sua superfície. Não há metabolismo, todavia.

A matéria viva cresce como consequência de sua atividade metabólica que resulta da incorporação de material ao seu corpo. Logo, crescem de dentro para fora (intussuscepção).

**6. Hereditariedade**

É a capacidade de transmitir informações genéticas aos seus descendentes.

## 7. Evolução

Modificações sofridas pelos seres vivos ao longo do tempo através de processos que possibilitam uma maior adaptação ao meio.

A mutação é o fenômeno que possibilita o surgimento de novos genes, alterando, portanto, a informação biológica da espécie. Pode ser espontânea ou induzida por agentes físicos ou químicos do meio.

## 8. Reação

Capacidade que os seres vivos têm de perceber e de reagir a estímulos do meio.

Denominamos irritabilidade à capacidade de responder a estímulos provenientes do meio, como mudanças de temperatura, umidade, pressão, pH, salinidade, etc.

Quando as respostas são monitoradas pelo sistema nervoso, chamamos de sensibilidade.

## 9. Regulação

Os seres vivos são capazes de regular suas atividades internas em função das condições do meio em que vivem. Capacidade essa chamada de homeostase (equilíbrio dinâmico entre o ser e o meio).

Os sistemas homeostáticos operam por um mecanismo de "feed-back" negativo.

## 10. Movimento

Considera-se por movimento a variação da posição de um corpo no decorrer do tempo em relação a um ponto de referência.

Nos animais é realizado através do deslocamento e nos vegetais, as curvaturas (tropismos e nastismos).

## Classificação dos Seres Vivos

Os sistemas de classificação dos seres vivos sofrem aperfeiçoamento sempre que os conhecimentos biológicos crescem. Com isso, as nossas interpretações do mundo vivo têm mudado.

Uma das classificações mais aceitas dos seres vivos, em relação aos reinos, foi proposta por Whittaker em 1969. Assim, os seres vivos foram agrupados em cinco reinos: Monera, Protista, Fungi, Plantae e Animalia.

### 1. Reino Monera:

Procariontes, unicelulares, sem plastos e sem mitocôndrias, autótrofos (realizam fotossíntese ou quimiossíntese), com aproximadamente 10 mil espécies descritas. São as bactérias e as cianofíceas (algas azuis ou cianobactérias).

### 2. Reino Protista:

Eucariontes, unicelulares, autótrofos (fazem fotossíntese), com plastos, ou heterótrofos. São as algas simples e os protozoários. Com 42 mil espécies.

### 3. Reino Fungi:

Eucariontes, unicelulares ou pluricelulares (maioria), apenas heterótrofos por absorção, sem cloroplastos, sem celulose, sem amido. Compreende os fungos. Conta com 60 mil espécies.

### 4. Reino Plantae (Metaphyta):

Eucariontes, pluricelulares e autótrofos. Apresentam células com parede de celulose, cloroplastos com clorofilas, logo, fotossintetizantes. São as algas pluricelulares, briófitas, pteridófitas, gimnospermas e angiospermas. Com 290 mil espécies.

### 5. Reino Animalia (Metazoa):

Eucariontes, pluricelulares, heterótrofos por ingestão. Todos os animais, das esponjas até o homem. Com cerca de um milhão e cento e oitenta mil espécies descritas.

## Metodologia Científica

Uma característica básica do ser humano é o ponto de partida de todo trabalho científico: a **curiosidade**. O cientista trabalha numa constante busca dos "porquês" e os "comos" de tudo que nos cerca.

O fazer ciência exige mais do que a simples observação de fatos, busca a explicação de sua existência mas requer as conseqüências de sua ocorrência. O cientista além de acumular informações, indaga as relações entre os fatos observados para possibilitar a compreensão da natureza e a aplicabilidade de suas descobertas.

A ciência começou a surgir, na Europa, entre os séculos XV e XVI, durante o Renascimento.

A ciência é uma forma de conhecimento que usa métodos rigorosos para explicar os fenômenos naturais.

**Podemos citar as seguintes etapas do método científico:**

#### 1. Observação

O cientista não deve apenas observar de forma contemplativa os fatos, mas de forma "crítica". Assim é o início do fazer ciência, observando criticamente os fatos: fazendo perguntas sobre eles na tentativa de entendê-los.

#### 2. Identificação de um problema

Através de uma observação crítica e de perguntas pertinentes é possível isolar um problema que espera por solução.

#### 3. Elaboração de um hipótese

Após a reunião de informações sobre um fenômeno, elas são rigorosamente analisadas e interpretadas, levando o cientista a formular uma hipótese científica. **A hipótese científica se constitui numa tentativa de explicação do fenômeno.**

Evidentemente, uma hipótese científica não é um simples palpite, mas tem como base informações já conhecidas sobre o assunto. Durante a sua formulação, o cientista analisa, interpreta e reúne todas as informações disponíveis, processo conhecido como “indução”.

#### 4. Dedução

Uma hipótese somente poderá ser aceita se for passível de teste.

O cientista, então, imagina a aplicabilidade da hipótese, se for verdadeira, e suas conseqüências. Assim ele fará uma dedução, prevendo o que irá acontecer.

#### 5. Experimentação científica

Muitas vezes, os cientistas geram condições controladas para testar suas hipóteses, método chamado experimentação. Quando processamos um experimento científico, comparamos duas situações que diferem entre si por um único aspecto, exatamente aquele que desejamos testar.

O experimento científico, certamente, deve estar adequado à hipótese que se deseja testar.

#### 6. Conclusão

Após o teste da dedução através de novas observações ou experimentos, é possível tirar conclusões a respeito da mesma.

Se não for confirmada, é rejeitada e novas deduções são formuladas para serem testadas. Se confirmada, ela será aceita.

#### 7. Publicação

As descobertas e conclusões científicas são publicadas em revistas científicas, nas quais o cientista descreve em detalhes a pesquisa realizada, como elaborou e testou as hipóteses, e, como chegou às suas conclusões.

Um trabalho científico deve ser claro o suficiente para que qualquer pessoa, com os mesmos recursos do autor, possa repeti-lo e comprovar sua veracidade.

Todo conhecimento para ser considerado científico deve ser tornado público, para que seja acessível a todos.

#### Importante

**Método:** é o caminho a ser trilhado pelos pesquisadores na busca do conhecimento.

**Hipótese:** consiste na tentativa de explicação de um fenômeno isolado.

**Lei:** é a comprovação científica da relação causa e efeito prevista pela hipótese.

**Teoria:** é um conjunto de conhecimentos mais amplos, que procura explicar fenômenos abrangentes da natureza. A teoria ou sistema é a síntese de leis particulares ligadas por uma explicação comum.

Suponha que você esteja em aula, na sua sala, e repentinamente você percebe fumaça entrando pelo alto da janela, vinda do corredor. A janela é alta e você não consegue observar do outro lado. Como você investigaria esse fato, utilizando todas as etapas do método científico?

#### TEXTO PARA CASA

#### *A pesquisa científica deve ter seus limites?*

Enquanto o genoma humano revela parte de seus segredos, na Itália explode a polêmica sobre a pesquisa científica.

Uma polêmica de várias faces, com os verdes (partidos) e o ministro Pecoraro Scanio que colocam o problema dos limites da ciência principalmente no terreno dos alimentos transgênicos, enquanto os cientistas, pela primeira vez, vão às praças pedindo mais espaço e mais recursos para um setor que assinala como poucos, o grau de civilização e de desenvolvimento de um país e que, a nós parece ser transcurado.

Acusando também um problema sério de relações e confiança entre a ciência e política. E também de relação com a igreja, a qual multiplica os seus interventos sobre o tema da bioética.

Temas “quentes” e complexos nos levam a “fazer as contas” com as esperanças mais profundas e com os medos mais escondidos do homem. Temas que passamos aos nossos leitores. É justo por limites à pesquisa? E se assim, qual tipo? É justo que o homem procure resolver através da manipulação genética das plantas e de animais, problemas como a fome e a saúde? Vos dá medo a “transgenética” ou vocês pensam que as mutações fazem parte e estão ligados com a história do homem? Como garantir recursos e liberdade aos cientistas? O que vocês pensam dos interventos nesse assunto da igreja?

(fonte: Jornal “La Repubblica”, 2001, Itália).

*Como sugestão discuta as perguntas propostas com seus colegas e familiares.*

## AULA Nº 02

### ORIGEM DA VIDA

#### *Abiogênese E Biogênese*

##### **Introdução**

Um dos assuntos mais estimulantes da biologia, sem dúvida, é a origem da vida.

São dois momentos muito distintos na discussão do tema: como apareceram as primeiras formas de vida no Planeta Terra e como seres vivos, por mais estranhos que pareçam, surgem num determinado momento histórico.

Até o final do século XVII ninguém duvidava sobre a origem de determinados seres vivos, como nós humanos, por exemplo. Porém, muitas dúvidas existiam sobre a forma como apareciam outros. Sem uma explicação viável as pessoas deixam solta a imaginação: muitos surgiam espontaneamente a partir da matéria bruta; determinados animais podiam surgir de plantas; como determinadas plantas podiam surgir de animais. Perceba que ninguém estava a questionar a origem das primeiras formas vivas no Planeta, mas simplesmente, num determinado momento, como muitas estruturas vivas são produzidas.

Pois, o primeiro tópico da nossa discussão é exatamente o questionamento da origem da vida num dado momento histórico.

##### **Teoria da Geração Espontânea ou Abiogênese**

Durante muito tempo se acreditou que a matéria bruta, em condições especiais, fosse capaz de originar matéria viva, de forma espontânea, idéia que originou a chamada **teoria da geração espontânea ou abiogênese**. Essa hipótese da geração espontânea foi desenvolvida para tentar explicar o surgimento, aparentemente súbito, de animais e plantas.

A abiogênese foi muito difundida entre povos antigos da Índia, China e Egito. A influência desta teoria nos povos ocidentais ocorreu via obra de Aristóteles, filósofo grego, no século IV a.C. A influência de Aristóteles chega ao renascimento e influencia cientistas importantes, como René Descartes (1596-1650) e Isaac Newton (1642-1727).

A hipótese proposta por Aristóteles tinha como base a existência de um certo **"princípio ativo"** encerrado no interior de certas porções de matéria. Essa força chamada princípio ativo poderia originar um ser vivo a partir da matéria bruta, desde que em condições amplamente favoráveis. Observe que o princípio ativo não é uma substância mas somente uma força geradora,

uma capacidade para fazer determinada coisa, contida em alguns tipos de matérias. O princípio ativo aristotélico explica, por exemplo, porque um ovo fecundado podia se desenvolver e originar um novo ser vivo. Afirmou que cada ovo continha um princípio ativo diferente, particular, o que explica a impossibilidade de nascer um tipo de animal a partir do ovo de outro tipo de animal.

Aristóteles acreditava que anfíbios e répteis podiam nascer do lodo orgânico do fundo dos lagos, espontaneamente.

No século XIII havia a crença de que gansos fossem originados a partir de certas árvores que cresciam à beira-mar. Viajantes orientais afirmavam que certas árvores tinham frutos contendo carneiros perfeitamente formados em seu interior.

Um famoso médico do século XVI, Paracelso, descreveu várias observações sobre a geração espontânea em ratos, sapos, enguias e tartarugas, tendo como ponto de partida a água, o ar, a palha e a madeira podre, entre outras coisas.

No século XVII, o médico belga Jean Baptiste van Helmont (1577-1644), divulgou uma receita para produzir ratos por abiogênese: "...coloca-se, num canto sossegado e pouco iluminado, camisolas suja e suadas, espalhando-se grãos de trigo sobre elas. Surgirão camundongos espontaneamente em 21 dias..." Segundo van Helmont, o princípio ativo era o suor humano.

Os defensores da abiogênese não eram pessoas quaisquer, estavam sempre entre os mais destacados intelectuais da época. Todas as conclusões foram baseadas em observações diretas e na firme suposição de que a geração espontânea fosse realmente possível.

##### **Biogênese**

O tema origem da vida começou a se tornar interessante a partir do século XVII. Muitos cientistas passaram a questionar a geração espontânea. Foi proposta a teoria de que "todo ser vivo era formado a partir de um outro ser vivo pré-existente", sendo chamada, para contrapor à geração espontânea, **Teoria da Biogênese**.

##### **Biogênese versus Abiogênese**

##### **Francesco Redi, o começo**

Em meados do século XVII, Francesco Redi (1626-1697), biólogo e médico de Florença, realizou um dos primeiros experimentos sobre a origem dos seres vivos. O objetivo do experimento foi investigar a origem de seres **vermiformes** que surgiam na carne em putrefação.

Acreditava-se que tais “vermes” surgiam espontaneamente da própria carne em processo de apodrecimento.

Pela observação Redi lançou uma hipótese: “os seres vermiformes que aparecem na carne em putrefação representam um estágio na vida das moscas, são larvas”. Ele acreditava que as moscas colocavam ovos sobre a carne tendo o nascimento de tais seres como resultado.

**Previu Redi: se a hipótese fosse verdadeira, carne protegida do assédio das moscas não originaria larvas.**

Assim, realizou vários experimentos em que colocou carne de vários animais em frascos de boca larga. Alguns foram vedados com fina gaze e outros não. Nos frascos vedados pela gaze nenhuma larva apareceu, porém, nos abertos, onde as moscas tinham livre acesso, logo as larvas apareceram.

Observando a evolução das larvas verificou que se transformavam em moscas idênticas aquelas que rodeavam as carnes que ficavam expostas, por exemplo, em açougues.

**Com as experiências de Francesco Redi ficou comprovado que aqueles seres vermiformes que apareciam na carne em putrefação não eram originados por geração espontânea, ao contrário, faziam parte do ciclo de vida das moscas, eram apenas larvas.**



### ***A abiogênese toma novo fôlego***

Os experimentos de Francesco Redi abalaram a credibilidade da teoria da abiogênese. Mas uma nova descoberta trouxe um reforço extra para os defensores da geração espontânea, o holandês Antonie van Leeuwenhoek (1632-1723) ainda no século XVII, usando um dos microscópios que ele mesmo fabricara, descobriu os microorganismos (bactérias).

Os defensores da abiogênese acreditaram que microorganismos, tão pequenos e tão simples, não poderiam ser dotados da capacidade de

reprodução. Logicamente, deveriam surgir por geração espontânea.

A esta altura a “biogênese” já conta com um número maior de adeptos, e, estes cientistas passaram a investigar para provar que a geração espontânea não acontecia sequer nos microorganismos.

### ***Um novo experimento, uma nova luz***

Em 1711, o pesquisador francês Louis Jablot (1645-1723) montou um experimento para verificar a origem dos microorganismos. Ferveu um “caldo nutritivo” tendo por base o caldo de carne e colocou em vários frascos previamente limpos. Alguns foram cobertos com pergaminho e outros permaneceram abertos.

Em alguns dias observou que os frascos abertos continham muitos microorganismos e os que ficam vedados, ao contrário, estavam isentos de microorganismos.

**Concluiu então Joblot que os microorganismos surgem a partir de “sementes microscópicas” oriundas do ar, e não espontaneamente a partir da matéria contida no caldo nutritivo.**

### ***A ciência em debate***

O naturalista inglês John Needham (1713-1781), em 1745, espalhou caldo nutritivo em vários frascos e os ferveu por trinta minutos, vedando-os a seguir com rolhas. Esses sucos nutritivos foram feitos a base de caldo de galinha, suco de vegetais e outros líquido que continham partículas alimentares. Poucos dias depois os caldos continham grande quantidade de microorganismos.

Considerando que a fervura deveria ter destruído todos os microorganismos presentes no frascos e que, uma vez vedados nenhum microorganismo deveria ter atravessado qualquer rolha, como explicar a origem dos mesmos?

**Concluiu que só havia uma explicação: surgiram por geração espontânea.**

### ***Uma “briga particular”: Spallanzani e Needham***

Um padre italiano, Lazzaro Spallanzani (1729-1799), vinte e cinco anos mais tarde, repetiu várias vezes experimentos semelhantes aos de Needham, porém, obtendo resultados diferentes. Colocou suco de vários vegetais em 19 frascos que foram vedados e fervidos durante uma hora. Os preparados de Spallanzani mantiveram-se livres de microorganismo mesmo vários dias depois.

Alguém estava errado. Quem?

Spallanzani concluiu que haviam duas alternativas para o erro de Needham: ou o tempo de fervura não fora o suficiente para “esterilizar” o caldo nutritivo, ou a vedação não fora eficiente para impedir a contaminação do caldo nutritivo por “sementes” de microorganismo presentes no ar.

Needham, o que dizer?

Respondeu Needham que a fervura prolongada destruía o **princípio ativo** do caldo nutritivo, não podendo se manifestar em virtude das modificações sofridas pelo ar com o calor da fervura.

### ***Nova descoberta, nova confusão***

No final do século XVIII houve uma descoberta que caiu como uma bomba no meio da discussão abiogênese versus biogênese: a do oxigênio ( $O_2$ ) e todo o seu grau de importância para a manutenção da vida.

Os defensores da abiogênese, desgastados, tomam novo fôlego. Concluíram eles que o aquecimento demasiado dos caldos nutritivos e a própria vedação hermética, propostos por Spallanzani, impediam o surgimento dos microorganismos simplesmente pela ausência do oxigênio, gás vital à sobrevivência de qualquer forma de vida.

### ***O prêmio***

Em 1860 a Academia Francesa de Ciências ofereceu um prêmio para quem realizasse um experimento que fosse definitivo sobre a questão abiogênese versus biogênese.

### ***Finalmente, os experimentos de Pasteur***

Louis Pasteur (1822-1895), cientista francês, que já se dedicava ao assunto, antes mesmo que a academia oferecesse o prêmio, apresentou os resultados de seus experimentos, iniciados por volta de 1860.

Pasteur colocou caldo nutritivo em alguns frascos e os submeteu a fervura, sendo que a seguir derreteu os gargalos ao fogo, vedando-os. Em grandes altitudes, no Alpes, Pasteur abriu os frascos e os expôs ao ar das montanhas. Logo, em seguida, derreteu os gargalos e os vedou novamente. Alguns dias depois, em seu laboratório, notou que dos vinte frascos expostos ao ar da montanhas, apenas um estava contaminado por microorganismos.

Concluiu que não era a fervura que destruía o princípio ativo ou a falta de ar que não possibilitava o desenvolvimento dos microorganismo. Convenceu-se que o ar das montanhas continha “menor quantidade de sementes” dos microorganismos que o ar da cidade.

Pasteur apresentou sua conclusão à Academia Francesa de Ciências onde quebrou o gargalo de alguns frascos para que o caldo nutritivo ficasse exposto ao ar da cidade por alguns minutos. Vedou-os novamente, ao fogo. Após três dias os frascos estavam completamente tomados por microorganismos.

Os membros da Academia, entretanto, exigiram provas mais contundentes.

Pasteur, então, teve uma outra idéia para refazer o experimento. Preparou quatro frascos de vidro e repetiu a experiência. Desta vez, porém, amoleceu os gargalos ao fogo, esticou-os provocando uma curvatura ao que tomaram a forma de um pescoço de cisne, razão pela qual ficaram conhecidos como **os frascos com pescoço de cisne**. Os frascos, agora com um longo e curvo gargalo, foram fervidos até que o vapor saísse pela abertura.

***Qual a hipótese? O ar, sendo expansivo, pode facilmente chegar ao caldo nutritivo. Porém, as “sementes” de microorganismos provavelmente ficaram retidas ao longo do gargalo sinuoso, que deve funcionar como um filtro.***

O resultado? Nenhum frasco se contaminara. Quebrou, então, o gargalo de alguns frascos e em poucos dias o caldo nutritivo estava tomado por microorganismos.

Este experimento forneceu o prêmio da Academia Francesa de Ciências a Pasteur ao mesmo tempo que definitivamente soterrou a idéia da abiogênese.

**Conclusão: todo ser vivo é formado por um ser vivo pré-existente.**

### ***Importância da biogênese***

A aplicação prática de que os organismos não são formados espontaneamente a partir da matéria não viva já começara antes mesmo dos experimentos de Pasteur.

Tomando por base os trabalhos de Spallanzani o confeiteiro francês, François Appert, concluiu que alimentos cozidos e fervidos podiam ser guardados sob vedação hermética sem se estragar. Eis aí o surgimento da indústria de enlatados.

Imagine a vida após Pasteur. A higiene pessoal, a esterilização e a assepsia em hospitais, por exemplo. Antes de Pasteur em hospitais europeus os estudantes de medicina manuseavam cadáveres e, em seguida, faziam partos sem lavar as mãos. Muitas mulheres, evidentemente, faleciam por infecção pós-parto. A higiene nos restaurantes modernos, o próprio método criado por Pasteur e difundido ao longo do tempo, a **pasteurização**, são outros exemplos práticos que resultaram dos experimentos com os frascos pescoço de cisne.

## Origem das primeiras células

### Introdução

Uma vez resolvida a questão das formas vivas na atualidade que somente surgem a partir de seres pré-existentes, resultou uma dúvida: e as primeiras formas vivas no Planeta Terra, como apareceram?

Para que se possa discutir este assunto, devemos revisar a própria origem e o desenvolvimento do Planeta Terra. Uma indicação nós temos de imediato, o fato de que a base dos seres vivos da atualidade e do passado, sabemos através dos fósseis, é a célula. Se a unidade padrão de vida é a célula, discutir a origem da vida na Terra, em tese, é discutir como surgiram no Planeta as primeiras células. Se outras estruturas vivas surgiram ou passaram por aqui, diferentes das células, não foram selecionadas positivamente e não possuímos registro algum dessa existência. Logo, voltamos ao mesmo ponto: a origem das primeiras células.

Uma hipótese criada por Lemaître e Gamow, a mais aceita, afirma que uma grande bola de material primitivo, um plasma altamente comprimido, sofreu uma explosão há mais ou menos 16 bilhões de anos, lançando fragmentos em todas as direções, originando, a partir daí, os corpos celestes atuais. Este plasma altamente comprimido originou a matéria, na sua estrutura atômica. Esta hipótese é conhecida com a **hipótese da grande explosão ou do "Big Bang"**.

O fato notadamente importante para que tal hipótese fosse formulada foi a descoberta do astrônomo norte-americano V. M. Slipher (1875 – 1969), no início o século XX, de que todas as galáxias estão se afastando de nós. O também astrônomo norte-americano, Edwin Hubble (1889-1953) em 1929, confirmou as observações de Slipher. Tem sido utilizada como prova do "Big Bang" esta constatação de que o Universo está em expansão: este afastamento das galáxias é uma consequência da grande explosão que originou o Universo. Quanto mais afastada estiver uma galáxia maior será a sua velocidade de afastamento.

Uma nuvem de poeira cósmica existente na Via Láctea originou o Sol e toda a sua família planetária, o sistema solar. A hipótese mais aceita para o surgimento dos Planetas é a de que eles tenham surgido a partir de restos da poeira cósmica que originou o Sol.

As indicações são de que a Terra e os outros Planetas formaram-se entre 4,5 e 5 bilhões de anos atrás. Houve agregação das partículas da poeira cósmica em pontos diferentes do espaço, formando os Planetas. Quanto mais material se agregava

maior se tornava o campo gravitacional da Terra, atraindo mais partículas e impedindo que os gases dissipados se perdessem no espaço. Após um período de intenso aquecimento, iniciou o resfriamento da crosta. Esse resfriamento possibilitou a formação de muitos compostos químicos novos, os mais pesados afundaram para o centro e formando o núcleo da Terra, enquanto os mais leves permaneceram na sua superfície, formando a crosta. Mesmo após a solidificação da superfície, em muitas áreas continuou a atividade vulcânica, jogando uma grande quantidade de gases na atmosfera, inclusive, de vapor d'água. Toda a crosta terrestre original e toda a água, inclusive a oceânica, resultaram, principalmente, da atividade vulcânica. O conjunto de gases presos pela atração gravitacional da Terra ao seu redor, constituiu a atmosfera primitiva da Terra.

Até hoje de 10 a 20% do conteúdo expelido pelos vulcões é vapor d'água. Com o resfriamento do Planeta o vapor d'água sofreu condensação nas mais altas camadas atmosféricas, precipitando-se, pela primeira vez, na forma de chuva. Ao atingir a superfície, com a crosta muito quente, a água imediatamente evaporava e ganhava a atmosfera em forma de densas nuvens, para condensar e precipitar em forma de chuva novamente. Acredita-se que esse processo tenha ocorrido no primeiro bilhão de anos de existência do Planeta e que tenha durado, com a ocorrência de chuvas torrenciais (como fosse um tempestade de verão) acompanhada de contínuas descargas elétricas, por muitos milhões de anos.

Durante a formação da Terra a atmosfera primitiva, provavelmente, tinha apenas hidrogênio ( $H_2$ ) e hélio ( $He_2$ ), sendo dita atmosfera primária. Já há 4 bilhões de anos, com a Terra formada, a chamada atmosfera secundária era constituída por gás carbônico ( $CO_2$ ), muito pouco; gás nitrogênio ( $N_2$ ), amônia ( $NH_3$ ), gás hidrogênio ( $H_2$ ), metano ( $CH_4$ ), vapor d'água ( $H_2O$ ) e alguns outros gases, como sulfeto de hidrogênio. O pouco oxigênio, que poderia ter, perdia-se por se combinar com metais da superfície, oxidando-os.

Foi neste contexto que, de alguma forma, surgiram as primeiras células.

## As teorias sobre a origem das células na Terra

### *Criacionismo ou da Criação Especial*

Uma hipótese difundida até os dias atuais, principalmente na civilização ocidental, que diz: "tudo que existe e todas as formas vivas foram criadas por Deus da mesma forma que são e que sempre serão".

Exatamente esta hipótese serve de ponte para o fixismo, que é uma teoria, na prática, antievolucionista: “o princípio da imutabilidade das espécies”.

O livro de **Gênesis** no Velho Testamento diz: “a Terra e tudo que nela existe procedem da criação divina”.

Não se discute a condição religiosa, porém, em termos científicos faltam dados que comprovem tal hipótese.

### ***Hipótese Cosmogênica ou Cosmozóica ou da Panspermia Cósmica***

Essa hipótese presume que esporos de bactérias, oriundos de partículas de poeira ou em meteoritos, de pontos muito distantes do Universo, foram semeados na Terra e servidos de fonte da vida.

O físico-químico Arrhenius foi um grande defensor desta hipótese proposta por Anaxágoras: “a vida é formada a partir de germes etéreos dispersos por todo o Universo, que aguardam o instante propício para o seu completo desenvolvimento”.

As principais objeções a essa hipótese são: em primeiro lugar ela explica como a vida chegou na Terra mas não justifica o surgimento da mesma, de onde quer que as primeiras formas vivas tenham vindo; o tempo de viagem teria sido muito grande, com enormes variações de temperatura e uma exposição muito grande às radiações. Nem mesmo as bactérias em forma de esporos teriam suportado esse deslocamento; em nenhum meteorito estudado houve algum vestígio de molécula orgânica.

Os defensores da hipótese falam que os esporos, que se deslocaram em meteoros, teriam reduzido drasticamente o tempo de viagem, sendo capazes de suportar as condições inóspitas de um deslocamento pelo espaço.

Há algum tempo os cientistas descobriam, em meteoritos encontrados na Sibéria e no Canadá, vestígios de aminoácidos e bases nitrogenadas. Para os defensores da Teoria, uma prova de que existem moléculas orgânica fora da Terra.

Os críticos afirmam que os meteoritos quando entram na atmosfera terrestre o fazem em grande velocidade e, devido ao atrito com o ar, sofrem um intenso aquecimento, o suficiente para destruir qualquer forma viva. Além disso, esses vestígios podem ser restos de organismos que estavam na atmosfera da própria Terra, com o impacto e o calor eles se fundiram ao material do meteorito.

Por que esta teoria não é aceita? Faltam provas. Portanto, a questão continua em aberto.

### ***Origem por evolução gradual dos sistemas químicos***

Esta é a hipótese aceita atualmente. Afirma que “a vida na Terra teria surgido de forma espontânea no Planeta, por evolução química de moléculas simples”.

#### **• Hipótese autotrófica**

Segundo vários pesquisadores as primeiras células necessitavam de alimento, logo, deveriam elas terem sido capazes de produzi-lo. Como todo ser que produz suas próprias moléculas orgânicas é chamado autótrofo, a hipótese ficou conhecida com **hipótese autotrófica da origem da vida**.

Há uma forte objeção contra essa hipótese: as reações química envolvidas na produção de alimento são extremamente complexas, exigindo organismos muito especializados e complexos para realizá-las.

Ao admitir tal hipótese estaríamos indo contra a trajetória natural da vida neste Planeta; caminha-se sempre do simples para o complexo. Ora, em sendo os primeiros organismos autótrofos já teriam que Ter surgido altamente complexos. Por outro lado, se fossem autótrofos, fotossintetizantes, por exemplo, deveriam eliminar  $O_2$  livre na atmosfera, e isso não aconteceu. O  $O_2$  apareceu bem mais tarde.

A hipótese não é aceita atualmente, isto não significa que ela seja um absurdo ou que nunca seja validada: nossos dados são contrários a ela.

#### **• Hipótese Heterotrófica para a Origem da Vida**

Esta hipótese supõe que a “forma mais primitiva de vida era incapaz de sintetizar o seu próprio alimento, tendo sido formada, a partir de substâncias inorgânicas na condições da Terra primitiva, e extremamente simples”.

Para que você não faça confusão entre a hipótese heterotrófica e a geração espontânea observe atentamente: a hipótese heterotrófica trata da origem das primeiras formas vivas no Planeta que teriam surgido muito simples e pela evolução gradativa a partir da matéria bruta há bilhões de anos atrás, nas condições da Terra primitiva; a geração espontânea tratava do súbito aparecimento de formas complexas de vida a partir da matéria bruta, sendo que esse processo seria capaz de ocorrer ao longo do tempo, todo dia.

Já, em 1869, **Thomas Huxley** (1825 – 1895) afirmava que “os primeiros seres vivos surgiram como resultado de um longo processo de evolução química em nosso Planeta”. Esta idéia foi retomada a partir de 1920 por Haldane.

A teoria atualmente aceita se deve ao trabalhos dos cientistas **J.B.S. Haldane** (1892 – 1964), biólogo inglês, em 1929, e do bioquímico russo **Alexandr I. Oparin** (1894 – 1980), em

1936. Inclusive, Oparin publicou sua hipótese em detalhes no livro “**A Origem da Vida**”, em 1936. Um modelo esquemático das idéias de Haldane e Oparin está esboçada, logo abaixo:

- Os gases simples da atmosfera primitiva, vapor d’água, hidrogênio, metano e amônia, continham a matéria prima necessária para a vida.
- A radiação ultravioleta e as descargas elétricas da primeira forte e torrencial chuva, foram a fonte de energia para que essas moléculas simples fossem desfeitas e os átomos, umas vez livres, pudessem se ligar, originando novos compostos, muitos deles carbonados. Não vamos falar em moléculas orgânicas porque seres vivos ainda não haviam. Por isso, em vez de moléculas orgânicas vamos adotar compostos carbonados. Por exemplo, devem ter sido formadas moléculas como a dos aminoácidos, açúcares e álcoois.
- A água da chuva acabava arrastando moléculas mais complexas para a superfície e estas moléculas foram se acumulando sobre as rochas;
- O calor das rochas formava um ambiente favorável para que elas reagissem e originassem compostos maiores. Desta forma os aminoácidos reagiram entre si formando proteinóides;
- Com a diminuição da temperatura planetária a água pode se acumular na superfície, constituindo mares, oceanos, lagos e lagoas.
- Em água, as moléculas de proteínas (proteinóides) reagem entre si, formando complexos protéicos;
- Em função da característica bipolar da água, estas reagem com o complexo protéicos, originando pequenas vesículas gelatinosas, os **colóides**;
- Os colóides se uniram e formaram grandes vesículas, contendo complexos protéicos, e com água ao redor deles, caracterizando sistemas isolados, estruturas chamadas **coacervados**, dotadas de grande estabilidade;
- Estes coacervados foram absorvendo moléculas do meio, cresceram e se reproduziram para adquirir nova estabilidade;
- Ao conquistarem, com o tempo, a capacidade e o controle do crescimento e da reprodução, tornaram-se células;
- Esse processo deve ter durado em torno de 2 bilhões de anos;
- Estas células eram procariontes, heterotrofas (recolhiam nutrientes do meio) e anaeróbicas ( pois não havia oxigênio livre na atmosfera).

### A sustentação da hipótese da origem da vida por transformação gradual dos sistema químicos – hipótese heterotrófica

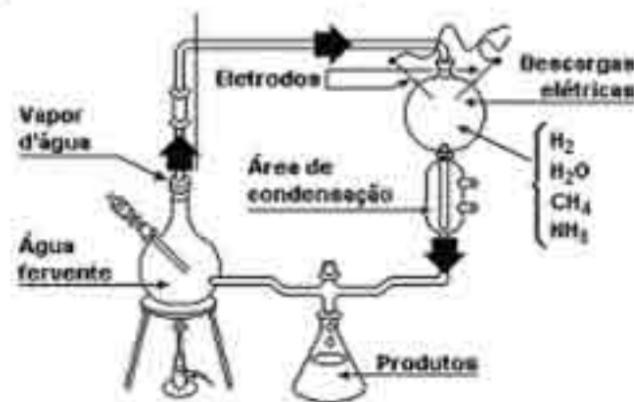
Muitos foram os experimentos realizados capazes de dar suporte à hipótese

**Experiência de Wohler**, em 1828 – Wohler conseguir sintetizar uréia a partir de substâncias inorgânicas. Acreditava-se que somente os organismos vivos pudessem sintetizar moléculas orgânicas. Os defensores da hipótese usaram o experimento de Wohler como sustentáculo: se é possível sintetizar substâncias orgânicas em laboratório, também é viável que elas tenham surgido na Terra primitiva a partir de compostos simples.

Harold Urey (**prêmio Nobel de Química-1893 - 1981**) – defensor da hipótese, comentou com um de seus alunos, **Stanley Miller**, e o ajudou a construir um aparelho para testar parte da idéia.

**Stanley Miller** – publicou em 1953 um artigo intitulado “Produção de Aminoácidos nas Possíveis Condições da Terra Primitiva”. Miller construiu um aparelho isolado do ar, contendo dois balões conectados entre si por tubos, um condensador e um reservatório. a) introdução no aparelho metano, amônia, hidrogênio e vapor d’água; b) o vapor d’água foi conseguido após a fervura da água no balão; c) Com o aquecimento, os gases se deslocaram em direção ao balão; d) eletrodos foram colocados no balão; e) no interior do balão a mistura recebe as descargas elétricas, simulando os raios; f) logo abaixo do balão o tubo é resfriado por um condensador; g) o vapor de água resfriado, condensa-se, simulando a chuva; h) os compostos formados foram depositados no reservatório, um tubo em forma de “U”, na base do aparelho, o que simulava o mar primitivo.

Miller deixou com que os gases circulassem durante uma semana. O líquido acumulado no reservatório apresentava cor de tijolo. A análise química do líquido mostrou que vários novos compostos foram formados, inclusive aminoácidos.



Agora observe a análise dos resultados: qual era a proposta de Miller? Foi testar se nas

condições da atmosfera primitiva havia a formação de aminoácidos. Em segundo lugar, o experimento de Miller prova que realmente Oparin estava certo e a vida de originou da forma por ele prevista? Absolutamente. O experimento de Miller comprova que nas condições da atmosfera primitiva, a partir dos gases da atmosfera primitiva, foi possível a produção de aminoácidos. Concluindo, Miller prova que a primeira parte da hipótese de Oparin é viável.

**Sidney W. Fox**, em 1957, numa conferência sobre a origem da vida, mostrou o resultado de seus experimentos, os quais foram baseados nos resultados da experiência de Miller. Fox aqueceu uma mistura seca de aminoácidos. Após sofrerem resfriamento, verificou que, muitos deles, haviam reagido e se ligado pra formar moléculas maiores e mais complexas. A água formada durante as ligações havia evaporado e as moléculas assim obtidas eram muito semelhantes à proteínas.

**Coacervados** – moléculas protéicas dissolvidas em água, tornam-se em parte ionizadas. Essas moléculas eletrizadas atraem moléculas de água de tal forma que ao redor de uma grande molécula protéica se forma uma película organizada de moléculas de água. Logo, um grupo de íons protéicos envoltos por uma única película de moléculas de água, forma um coacervado.

### ***E a questão da energia?***

Os coacervados precisam produzir moléculas maiores e mais complexas, organizar um padrão molecular estrutural e, por fim, garantir a manutenção dessa organização.

Você não tem dúvida que há o envolvimento de um gasto considerável de energia. Qual seria esta fonte energética? Nem as radiações nem as descargas elétricas podiam ser usadas por possuírem grande quantidade de energia e por esta ser incontável. Desestabilizaria, por certo, os coacervados.

Esta fonte de energia teria que ser, portanto, constante e controlável. Mas qual? O combustível das células na atualidade é um carboidrato, a glicose. Mas haveriam carboidratos naquela época?

O cientista Melvin Calvin realizou experimentos como os de Miller e Fox. Recolhendo os compostos formados pelos gases da atmosfera primitiva que foram bombardeados por radiações altamente energética, atestou a presença de carboidratos. Qual a conclusão destes experimentos? Eles simplesmente nos mostram que os carboidratos poderiam ter se formado nas condições da atmosfera primitiva.

## **Evolução das primeiras células**

No capítulo anterior estudamos todos os passos, segundo a hipótese atualmente aceita, para os surgimento das primeiras células no Planeta.

Sabemos que era algo semelhante à uma bactéria, que era heterotrófica e anaeróbica. Lógico é supor que estas primeiras estruturas vivas retirando seus nutrientes de uma sopa nutritiva que era o mar primitivo, um dia deveriam desaparecer por exaustão destas reservas. A não ser que mudanças tenham ocorrido com o tempo fazendo surgir novas opções de vida.

Algo que não foi mencionado por Oparin, mas que merece destaque hoje (ele não tinha idéia, inicialmente, da importância do tema), é a questão da origem e evolução dos ácidos nucleicos. Acredita-se que a função de gene tenha sido exercida no início pelo RNA. Descobriu-se, faz pouco, que pequenos pedaços de RNA podem funcionar como enzimas de duplicação. Esses segmentos, as riboenzimas, possibilitam que uma fita de RNA seja produzida a partir de um molde de outra fita de RNA. O DNA, teria aparecido somente mais tarde e a partir do RNA.

Em rochas da Groelândia foram encontradas as mais antigas evidências de vida: algumas substâncias orgânicas que datam de 3,9 bilhões de anos. Os vestígios de seres vivos, semelhantes às bactérias, datam de 3,5 bilhões de anos.

A manutenção da vida na Terra dependeu do aparecimento de células autotróficas. Tempo houve o suficiente para que muitas mudanças (mutações) ocorressem a ponto de permitir o aproveitamento da energia luminosa do sol para a produção de moléculas orgânicas, aparecendo, assim, os seres **procariontes anaeróbicos autotróficos**. Estima-se que há 3 bilhões de anos a Terra era intensamente povoada por seres autótrofos. Há 2 bilhões de anos a quantidade de seres autótrofos já era tão grande que uma outra modificação essencial ocorreu no Planeta.

### ***Os seres aeróbicos***

Como todos os seres eram anaeróbicos o oxigênio liberado pela fotossíntese foi acumulando na atmosfera. Em grandes altitudes as moléculas de oxigênio ( $O_2$ ), foram rompidas pela ação da radiação ultravioleta, liberando os átomos de oxigênio que se recombinaram para formar o ozônio ( $O_3$ ), com grande capacidade de absorver radiação ultravioleta.

Com a proteção dada pela recém formada camada de ozônio, a vida pode passar por uma nova fase de florescimento, ao mesmo tempo que o  $O_2$  pode acumular na nossa atmosfera, atingindo

uma taxa em torno de 20%, que se mantém até hoje.

O acúmulo de oxigênio permitiu, finalmente, o aparecimento dos primeiros seres aeróbicos. Com a nova realidade, a vida começa um período de multiplicação e diversificação das estruturas vivas, processo que continua até os nossos dias.

### ***Próximo desafio, as células eucariontes***

Após o florescimento e o aperfeiçoamento das células procariontes autótrofas foi o aparecimento das células eucariontes. Existem três teorias acerca do assunto.

#### **Teoria da invaginação da membrana plasmática**

Você já sabe que a característica fundamental que diferencia uma célula eucarionte de uma procarionte, é a grande quantidade de membranas da primeira.

Esta hipótese prevê que, através de mutações, novas proteínas foram sintetizadas, permitindo o desenvolvimento de um sistema complexo de membranas, ao ponto de invaginar e se espalhar por dentro da célula.

Desta forma teriam surgido as diferentes organelas envoltas por membranas, tais como o retículo endoplasmático, os lisossomos, o golgiossomo e as mitocôndrias. O desenvolvimento do mesmo processo conduziu ao surgimento de uma carioteca.

Até hoje, entretanto, nenhuma célula ou fóssil foram encontrados em estágio intermediário entre as duas formas de células: procariontes e eucariontes.

#### **Teoria simbiótica (mutualística) de procariontes**

Esta hipótese prega que algumas células procariontes passaram a viver dentro de outras, gerando células mais complexas e eficientes. O embasamento foi encontrado em organelas, como as mitocôndrias e os cloroplastos, que possuem DNA próprio. Existem várias semelhanças entre as mitocôndrias e as bactérias, inclusive o DNA circular.

#### **Teoria mista**

Segundo esta hipótese as organelas que não possuem DNA, possivelmente, surgiram a partir da invaginação da membrana plasmática, como o retículo endoplasmático, o golgiossomo e os lisossomos.

As organelas que contêm DNA (mitocôndrias e cloroplastos), por outro lado, resultaram de endossimbiose (mutualismo) entre procariontes.

## AULA Nº 03

### INTRODUÇÃO À CITOLOGIA

A célula é a unidade morfo-fisiológica dos seres vivos. Modernamente conceitua-se **célula** como a **menor porção da matéria viva** dotada da capacidade de **autoduplicação independente**.

#### **A descoberta da célula**

O estudo das células está intimamente ligado ao desenvolvimento da microscopia.

O desenvolvimento da microscopia possibilitou o desbravamento de um mundo totalmente novo: o mundo da célula. Possibilitou que mergulhássemos dentro de nós mesmos. Em termos evolutivos é algo único na história do Universo: nós tomamos consciência de nós mesmos. Neste momento, eu, que sou um conjunto de células, escrevo para vocês, que são sociedades celulares, sobre células. É um maravilhoso processo de autoconhecimento.

Atribui-se a dois fabricantes de óculos holandeses, **Hans e Zacharias Janssen**, no fim do século XVI, a construção do primeiro microscópio.

Mas foi outro holandês, **Antonie van Leeuwenhoek** ( 1632 – 1723 ), o primeiro a empregar um microscópio na investigação biológica. O modelo de microscópio desenvolvido por Leeuwenhoek utilizava somente uma lente, chamado por isso de **microscópio simples**.

O microscópio construído por **Robert Hooke** (1635 – 1703), físico inglês, membro da Real Sociedade Inglesa, por apresentar duas lentes, ficou conhecido como microscópio composto.

Em 08 de abril de 1663, Robert Hooke, na reunião da Real Sociedade, apresentou o microscópio de sua fabricação. Ocasão em que os cientistas observaram uma musgo. Mas foi na reunião de 15 de abril que Hooke observou finas fatias de cortiça e constatou que o material era constituído por **“pequenos compartimentos”** como fossem celas, assim, denominou-as **células** (em inglês cells).

Logicamente, a partir daí, houve uma corrida no sentido de observar microscopicamente os mais variados seres vivos. Ficou claro que os “pequenos compartimentos” não eram vazios como os observados na cortiça, mas preenchidos por um material gelatinoso. Assim, o termo “célula” passou a ser empregado para denominar não só os compartimentos mas também o seu conteúdo, constituintes do corpo das plantas.

Outros pesquisadores constataram que também os animais eram constituídos por “pequenos

compartimentos” preenchidos por um conteúdo gelatinoso, ao que também chamaram células.

#### **A Teoria Celular**

Houve um crescente interesse pela microscopia e a conseqüente investigação dos mais diferentes tipos de animais e plantas. Dois cientistas alemães, **Mathias Schleiden** e **Teodor Schwann**, em 1838 – 1839, formularam a hipótese de que **todos os seres vivos são constituídos por células**.

Estava assim formulada a base da Teoria Celular. Tornou-se a Teoria Celular, que diz que “**todos os organismos vivos são constituídos por células**”, uma das maiores e mais importantes generalizações da história da Biologia.

Em 1855, **Rudolf Virchow**, concluiu que as células somente se originam pela reprodução de células preexistentes. Ele sintetizou sua conclusão com uma frase em latim que ficou muito conhecida: **Omnis cellula e cellula**, ou seja, “**toda célula se origina de outra célula**”.

#### **O Vírus e a Teoria Celular**

A partir da década de 1950, o desenvolvimento do estudo dos vírus, mostrou que os vírus são acelulares.

Estaria a Teoria celular enfraquecida? Pensa-se que não porque os vírus são **parasitas intracelulares obrigatórios**, isto é, para se reproduzir necessitam do maquinário de uma célula. Logo, todo o mecanismo essencial à vida se encontra no interior das células.

#### **Classificação dos Seres Vivos em Função da Célula**

Célula é a menor porção da matéria viva dotada da capacidade de autoduplicação independente.

- **Vírus** – são acelulares.
- **Células incompletas** – constituem as **Rickétsias** e as **Clamídias**. Ao contrário do vírus, possuem maquinário de síntese, DNA e RNA e uma membrana seletiva. No entanto, não produzem todas as enzimas para a sua autoduplicação independente. São também parasitos intracelulares obrigatórios.
- **Células completas**
  - a) **Procariontes** – são células com poucas membranas, logo, pouco compartimentalizadas (poucas organelas). Assim, não possuem envoltório nuclear e o seu DNA está disperso no citoplasma, em locais denomi-

nados nucleóides. As células procariontes formam as bactérias e as cianofíceas (algas azuis ou cianobactérias).

- b) Eucariontes** – células ricas em membranas, logo, intensamente compartimentalizadas ( com muitas organelas). Como consequência houve uma especialização funcional, possibilitando o surgimento de organismos complexos. Quanto mais desenvolvida for uma célula maior será a sua compartimentalização. Constituem todos os representantes dos Reinos: Protista, Fungi, Plantae e Animalia.

### Tamanho

A maioria das células é microscópica, (a maioria das células animais e vegetais oscila entre 10 e 50 micrômetros) porém, há algumas células macroscópicas como a fibra do algodão e as células das algas *Nitella sp.* e *Acetabularia sp.* ( com forma de guarda-chuva, podendo atingir cerca de 10 cm de altura). No homem, os prolongamentos das células nervosas que saem da coluna vertebral e vão até os pés podem atingir até um metro de comprimento. Algumas fibras dos tecidos de sustentação dos vegetais podem atingir alguns centímetros.

As menores células conhecidas são as dos **micoplasmas ( P.P.L.O.)**, bactérias geralmente com 0,2 a 2  $\mu$ m de tamanho, podendo ainda ter dimensão menor. Ao contrário das demais bactérias os micoplasmas não possuem parede celular.

### Forma

As células podem possuir ou não forma fixa (as amebas e os leucócitos, por exemplo, modificam continuamente sua forma).

A forma da célula, em pluricelulares, por exemplo, acompanha a sua função. No entanto, as duas formas mais comuns são as esféricas e as poliédricas.

Fatores como a tensão superficial da membrana plasmática, o nível de viscosidade do citoplasma, o meio no qual as células estão inseridas, a pressão imposta pelas células vizinhas e a própria determinação genética são determinantes da forma celular.

### Lei de Spencer – Relação entre o Volume e a Superfície Celular

“A superfície celular varia com o quadrado da dimensão linear, e o volume com o cubo da mesma dimensão”.

Sendo rompida esta relação, o volume citoplasmático cresce mais que a superfície da membrana, a célula buscará novamente equilibrar-se, dividindo-se em duas novas células.

Logo, o desequilíbrio entre o volume e a superfície é um dos fatores indutores da mitose.

### Classificação segundo o tempo de vida da célula

Segundo **Bizzozero**, quanto ao tempo de vida, as células podem ser classificadas em três grupos:

- a) Células lábeis** – aquelas com ciclo vital curto, com grande capacidade mitótica e pouco especializadas. Ex.: células epiteliais, hemáceas, gametas, células meristemáticas.
- b) Células estáveis** – possuem ciclo vital médio, sofrem diferenciação durante o desenvolvimento embrionário, permanecem com capacidade de se dividir, quando necessário. Incluímos aqui a grande maioria das células animais. Ex.: células do tecido conjuntivo, células hepáticas.
- c) Células permanentes** – células com ciclo vital longo, com alto grau de especialização (sofrem diferenciação celular precoce no embrião), praticamente perdem a capacidade de reprodução. Ex.: fibras musculares estriadas, neurônios, floema (nos vegetais).

### Lei de Driesch ou Lei do Volume Celular

“O volume celular é constante nas células de um mesmo tecido em indivíduos de mesma espécie e em mesma fase de desenvolvimento, não interessando o tamanho dos indivíduos”.

## Estrutura Celular – Célula Animal e Célula Vegetal

### Células Eucariontes

As células eucariontes apresentam duas regiões morfológicamente distintas – o citoplasma e o núcleo – entre as quais ocorre um trânsito constante de material químico, os mais diversos, nos dois sentidos. O citoplasma é envolvido pela membrana plasmática e o núcleo, pelo envoltório nuclear.

O citoplasma das células eucariontes contém várias organelas, com funções específicas, tais como mitocôndrias, retículo endoplasmático, aparelho de Golgi, lisossomos, ribossomos, centro celular, plastos, além de vacúolos e inclusões. O espaço entre as organelas é preenchido pelo hialoplasma ou citosol, contendo proteínas, íons os mais diversos, microtúbulos e microfilamentos, constituindo o citoesqueleto.

O núcleo individualizado, característica da célula eucarionte, é formado pelo envoltório nuclear, nucleoplasma, cromatina e nucléolo. O envoltório nuclear é uma membrana dupla com vários poros.

### **Principais diferenças entre células animais e vegetais**

As células eucariontes, tanto de vegetais superiores como de animais são estruturalmente semelhantes, porém, apresentam algumas diferenças básicas.

- 1) Parede celular** - Parede celulósica que envolve a membrana plasmática, externamente, das células vegetais mantendo a forma constante e protegendo o citoplasma contra pressões mecânicas e osmóticas.
- 2) Presença de plastos** - organelas que armazenam pigmentos – (cromoplastos) ou material de reserva (leucoplastos). Os mais importantes são os cloroplastos, ricos em clorofila, principal pigmento fotossintético.

- 3) Vacúolo de suco celular** – são vacúolos responsáveis pelo equilíbrio osmótico. São de fundamental importância, por exemplo, para a entrada da água na planta. No interior da bolsa que é o vacúolo há uma solução formada de água e diversas substâncias como cristais, pigmentos, sais, etc.
- 4) Presença de amido** – é o material de reserva da célula vegetal. Na célula animal a substância de reserva é o glicogênio.
- 5) Presença de plasmodesmos** – são pontes protéicas que formam canais e permitem o trânsito de moléculas entre células vegetais vizinhas.

### **TEXTO PARA CASA**

#### **Métodos de Estudo das Células**

A observação das células pode ser feita “in vivo”, ou seja, as células são mantidas vivas (exame a fresco) ou “post-mortem”, com as células mortas através de um preparado permanente (lâmina) em que ficam preservadas, isto é, fixadas e coradas.

Há inúmeras vantagens em se estudar as células com preparados permanentes mesmo que não se proceda observações fisiológicas.

São cumpridas determinadas etapas para a obtenção de um preparado permanente:

#### **1. FIXAÇÃO**

Tem como finalidade matar e preservar a célula. Evita a autólise, impede a proliferação de bactérias, promove o necessário endurecimento para suportar as demais etapas do processo e aumenta afinidade das estruturas celulares pelos corantes citológicos.

A fixação pode ser feita por agentes físicos como o calor ou por agentes químicos ( cloreto de mercúrio, ácido pícrico, aldeído fórmico, tetróxido de ósmio, glutaraldeído). O tetróxido de ósmio e o glutaraldeído são os mais usados na microscopia eletrônica.

#### **2. MICROTOMIA**

Objetiva cortar as peças fixadas em fatias finas para o exame microscópico.

As peças para serem observadas ao microscópio óptico são incluídas em parafina e cortadas com uma espessura de 3 a 6 micrômetros. Para a observação pela microscopia eletrônica as peças são incluídas em resinas do tipo epóxi, como o araldite e o epon. Os cortes variam de 0,02 a 0,1 micrômetro de espessura.

O micrótomo para a microscopia óptica usa navalha de aço, e o que corta tecidos para a microscopia eletrônica, usa navalha de vidro ou diamante.

#### **3. COLORAÇÃO**

A maioria das organelas são transparentes e incolores, o que dificulta o estudo microscópico. Para vencer tais barreiras é que se faz necessário o uso de corantes.

Os corantes podem ser vitais ( não matam a célula) ou não vitais. Podem ser básicos ( azul-de-toluidina , azul-de-metileno e a hematoxilina – um dos corantes mais usados), ácidos (orange G, fucsina ácida e eosina – corante muito usado) ou neutros. Na microscopia eletrônica usa-se contrastantes e não corantes ( sais de metais pesados).

#### **4. PREPARAÇÃO DA LÂMINA**

Há diversas técnicas para preparar lâminas na microscopia óptica. A escolha depende do material que se deseja estudar e do tipo de estudo que se deseja realizar.

- a) esfregaço** – usado para células isoladas, ou pouco unidas entre si, consistindo em simplesmente espalhar o material sobre a lâmina de vidro.
- b) Esmagamento** – utiliza-se para material fixado e corado, para células frouxamente associadas, como partes moles de animais e vegetais. Coloca-se o material entre a lâmina e a lamínula e com leve pressão se promove o esmagamento.

## Microscópio

O microscópio óptico compõe-se de uma parte mecânica (suporte) e uma parte óptica, constituída por três sistemas de lentes: o condensador, a objetiva e a ocular.

Há variantes do microscópio óptico como o microscópio de polarização e o microscópio de contraste de fase.

Poder de resolução de um sistema óptico é a sua capacidade de separar detalhes.

Limite de resolução de um sistema óptico é a menor distância que deve existir entre dois pontos para que apareçam individualizados.

O limite de resolução do olho humano é da ordem de 0,1 mm ou 100 micrômetros. Os bons microscópios ópticos apresentam limite de resolução de 0,25 micrômetros ou 0,00025 mm. O limite de resolução do microscópio eletrônico é da ordem de 0,001 micrômetro (1 nanômetro ou 0,000001 milímetro).

A unidade de microscopia óptica é o micrômetro ( $1 \mu\text{m} = 10^{-3} \text{ mm}$ ) e as unidades usadas na M.E. são o nanômetro ( $1 \text{ nm} = 10^{-3} \mu\text{m}$  ou  $10^{-6} \text{ mm}$ ) e o angström ( $1 \text{ \AA} = 10^{-4} \mu\text{m}$  ou  $10^{-7} \text{ mm}$ ).

Você pode encontrar, por exemplo, o microscópio eletrônico de transmissão (TEM) e o microscópio eletrônico de varredura (SEM).

Você pode pesquisar e comparar as partes e as características de um microscópio óptico como também de um microscópio óptico de transmissão.

Perceberá, por exemplo, que usamos o microscópio eletrônico de varredura para visualizar superfícies.

## AULA Nº 04

### BIOLOGIA MOLECULAR – BIOQUÍMICA CELULAR

#### Introdução

Tanto a matéria bruta quanto a matéria viva usufruem dos mesmos elementos químicos, ou seja, os mesmos elementos químicos estão presentes em todo o tipo de matéria terrestre.

Observa-se, entretanto, diferenças fundamentais entre a matéria viva e a matéria bruta: nos arranjos atômicos e no peso molecular, por exemplo.

odas as células (animal, vegetal microbiana) contêm os mesmos elementos em proporções aproximadamente iguais. De todos os elementos químicos conhecidos ( mais de cem), apenas 19 são essenciais para todas as células.

Praticamente 98% da massa total das células é constituída por seis não metais: C, H, O, N, P, S. Note a proximidade destes elementos na tabela periódica. São eles que formam os componentes estruturais e funcionais das células.

**Principais elementos químicos e sua taxa nas células.**

Carbono	18%
Oxigênio	65%
Hidrogênio	10%
Nitrogênio	3%
<b>total</b>	<b>96%</b>
Fósforo	1,2%
Enxofre	0,25%
Cálcio	1,8%
Potássio	0,35%
Sódio	0,15%
Cloro	0,15%
Magnésio	0,05%
Flúor	0,007%
Ferro	0,005%
<b>total</b>	<b>3,962%</b>
<b>Total 1 + total 2</b>	<b>99,962%</b>
Zn, Br, Mn, Cu, I, Co	traços

As substâncias constituintes dos seres vivos são organizadas em dois grupos:

- **substâncias inorgânicas:** água e sais minerais;
- **substâncias orgânicas:** proteínas, lipídios, carboidratos, ácidos nucleicos, hormônios, vitaminas e enzimas.

**Principais substâncias presente na matéria viva e sua taxa de ocorrência.**

Água	65%
Proteínas	14%
Lipídios	8%
Carboidratos	5%
Sais minerais	4%
Ácidos nucleicos	3%
Outras substâncias	1%

#### Água

Trata-se do componente mais abundante da matéria viva.

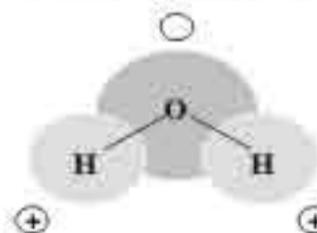
Evidentemente a água não é uma molécula inerte, com a única função de preencher espaços. As moléculas de água, ao contrário, influem decisivamente na configuração e propriedades biológicas da macromoléculas.

#### Estrutura

As características da molécula de água que a tornam imprescindível ao mundo vivo terrestre se devem à sua estrutura molecular.

Os átomos de hidrogênio formam entre si um ângulo de 104,8 graus, fornecendo à molécula um aspecto de um tetraedro irregular, ligeiramente alongado.

Como consequência a molécula se torna um bipolo: um pólo negativo, onde há o predomínio do oxigênio, e, um pólo positivo, onde concentram os dois átomos de hidrogênio. Assim, a molécula de água é morfológica e eletricamente assimétrica.



Esquema da molécula de água.

Ao contrário da água, os lipídios são exemplos de substâncias apolares.

Devido a bipolaridade, cada molécula de água tende a se ligar a quatro outras moléculas de água, formando arranjos geométricos, através de ligações fracas denominadas pontes de hidrogênio. A partir dessas pontes são definidas as propriedades particulares da água.

## Propriedades da água

### 1. Adesão e coesão

Chama-se adesão à forte atração que existe entre as moléculas de água, mantendo-as fortemente unidas, determinando, assim, o seu estado fluido e estável. Fato que resulta da facilidade com que as fracas ligações das pontes de hidrogênio se desfazem e se formam novamente.

Algo que aguça a nossa curiosidade é a observação de um inseto quando se desloca sobre uma lâmina d'água ou os contornos de uma gota que cai da torneira. Como é possível? Fenômenos como esse são possíveis graças a alta tensão superficial da água que funciona como um filme, no caso do inseto, possibilitando o seu deslocamento. Pois a tensão superficial é o resultado da grande força de coesão entre as moléculas de água.

Experimente colocar um pouco d'água sobre o prato engordurado ou o chão encerado. O que acontece? Formam-se gotículas sobre a superfície porque a água não adere a moléculas apolares.

Por outro lado, se você caminhar sob a chuva sua roupa fica encharcada. Por quê? As moléculas de água aderem facilmente sobre moléculas polares como as da roupa. Essa força de atração das moléculas de água para com outras moléculas polares chama-se adesão.

Todos os grupamentos que apresentam afinidade pela água são denominados polares, como: carboxilas, hidroxilas, aldeído, sulfato e fosfato. Aqueles que não apresentam afinidade pela água, repelindo-a, são chamados grupamentos apolares, como os lipídios.

Moléculas com grande quantidade de grupamentos polares são solúveis em água e, por isso, chamadas hidrofílicas; aquelas, ao contrário, com poucos ou sem grupamentos polares são insolúveis na água, logo, hidrofóbicas.

### 2. Capilaridade

Capilaridade é a capacidade que a água tem de subir em tubos muito finos (capilares) devido as forças de coesão e adesão.

Faça uma experiência: coloque água numa bacia e introduza alguns tubos, de diâmetros diferentes, no corpo d'água de formas que uma

parte de cada tubo fique abaixo do nível da água, formando um ângulo de  $90^\circ$  com o fundo da bacia. Em qual dos tubos a água mais sobe? No de diâmetro maior ou menor? Explique.

Considerando que cada molécula de água se liga com quatro outras, quando uma molécula se desloca, o grupo todo se desloca. As forças de adesão da água em relação à parede dos capilares e a de coesão das moléculas entre si, acabam superando a própria força da gravidade.

Uma utilidade prática do fenômeno de capilaridade da água consiste na sua subida desde a raiz até as folhas de uma árvore através dos tubos do xilema. Atividade esta vital para qualquer vegetal.

Tente discutir e descobrir outros exemplos em que a capilaridade é importante.

### 3. Solvente universal

Em função da natureza bipolar, a água é um dos melhores solventes conhecidos, razão de ser chamada solvente universal.

A tendência da água em se combinar com íons negativos e positivos é maior que a disposição dos íons combinarem entre si.

O que acontece quando você coloca um pouco de cristais de NaCl num pouco d'água? O sal de cozinha é dissolvido facilmente porque a atração exercida pelo bipólo da água é mais forte que a atração eletrostática entre os íons  $\text{Cl}^-$  e  $\text{Na}^+$ .

Como já vimos os compostos polares são hidrofílicos e os apolares, hidrofóbicos.

Esta propriedade é vital se considerarmos que todos os reagentes químicos existentes no interior de uma célula estão dissolvidos na água, e todas as reações bioquímicas ocorrem em meio líquido.

Considere que a hidrofobia também é importante. Quando moléculas hidrofóbicas são comprimidas por moléculas de água devida a sua repulsão pelas mesmas, ocorre as interações hidrofóbicas, mantendo-as unidas. O exemplo mais importante nesse sentido é o que ocorre na bicamada lipídica das membranas celulares. Graças as interações hidrofóbicas entre as duas camadas lipídicas da membrana plasmática, por exemplo, a sua integridade é mantida, logo, a integridade da própria célula.

### 4. Reações químicas

Muitas reações de síntese acontecem por desidratação (por exemplo, quando dois aminoácidos se ligam, ligação peptídica, há a perda de uma molécula de água), ou seja, há perda de água.

As reações de análise acontecem na presença da água, reidratando ao quebrar a ligação química, por isso, chamadas reações de hidrólise (a digestão é um exemplo de hidrólise).

## 5. Calor específico

As reações bioquímicas ocorrem em curtos intervalos de temperatura. Como a água mantém sua temperatura constante por mais tempo do que as outras substâncias, ela atua impedindo bruscas variações de temperatura nos sistemas vivos. Portanto, a água mantém o equilíbrio da temperatura no interior da célula.

Chamamos calor específico a quantidade de energia calorífica necessária para aquecer uma certa quantidade da substância.

Para se romper um número suficiente de pontes de hidrogênio entre as moléculas de água (apresentam grande força de coesão) que permitam uma liberdade maior de movimentação de suas moléculas a fim de que se tenha energia suficiente para elevar a temperatura, é necessária grande quantidade de energia calorífica.

Logo, conclui-se que a água apresenta alto calor específico.

Outra consequência importante do alto calor específico da água é a manutenção, por exemplo, de uma temperatura adequada para o desenvolvimento embrionário de aves e répteis, função do líquido amniótico.

## 6. Calor de vaporização

Você já percebeu o quanto transpira quando pratica esportes ou em dias decididamente muito quentes? Ou o seu cão de língua de fora ou o porco rolando na lama?

A energia calorífica necessária para a evaporação de uma substância se chama calor de vaporização.

Outro resultado da grande força de coesão proporcionada pelas pontes de hidrogênio é o alto calor de vaporização da água.

Assim a água absorve grande quantidade de calor das superfícies com as quais está em contato. Conseqüentemente, as superfícies se resfriam. Por isso, o suor consiste num dos principais mecanismos de redução de temperatura da nossa superfície corpórea.

### Taxa de água nos tecidos e organismos

A taxa de água depende basicamente de três fatores:

- A quantidade de água de um tecido é diretamente proporcional à sua taxa metabólica.

### Taxa de água de algumas estruturas humanas.

Estrutura	Taxa de água
Encéfalo embrionário	92%
Músculos	83%
Ossos	48%
Dentina	12%

- A taxa de água é inversamente proporcional à idade.
- A taxa de água varia entre as espécies. Ex.: 70% da massa corporal humana, 98% nos cnidários e em torno de 80% nos moluscos.
- Uma desidratação da ordem de 10% já pode ser fatal para um mamífero porque os limites de variação de água nos organismos são muito estreitos.

Uma das principais causas de mortalidade infantil, em países pobres, é a diarreia, exatamente por provocar grande perda de água.

Sementes de vegetais e esporos sofrem intensa desidratação, mantendo apenas 10 a 20% de água, razão pela qual experimentam um fenômeno chamado vida latente. Voltam ao normal com o retorno da disponibilidade hídrica.

### Sais Minerais

Os sais minerais estão decisivamente presentes na rotina bioquímica da célula.

São importantes para a regulação osmótica, distribuição elétrica (ddp entre as faces da membrana plasmática), equilíbrio ácido-base, ativação de enzimas e formação de estruturas esqueléticas.

De maneira geralmente reversível, eles são encontrados na matéria viva dissociados (forma iônica) e não dissociados (cristalina ou composto moléculas orgânicas).

- Iônica** - estão dissociados na água em soluções intra e extracelulares. Os principais cátions são:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$  e  $\text{Mg}^{++}$ ; os principais ânions são:  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{PO}_3^{--}$  e  $\text{NO}_3^-$ .

As concentrações de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Cl}^-$  são importantes para a manutenção do equilíbrio osmótico. Se aumentar a concentração dos mesmo no interior da célula, ela ganha água; se diminuir, ela perde água.

A concentração de  $\text{H}^+$  (pH) é fator essencial para a manutenção do metabolismo celular. Para cada tipo de célula ou estrutura há um pH ideal, não sendo possível grandes variações.

**b) cristalina ou molecular** – encontrados constituindo estruturas esqueléticas, tais como ossos de vertebrados, concha de moluscos, casca de ovos, carapaças de protozoários e algas, espículas de esponjas, etc. Encontramos também minerais associados à proteínas em unhas e chifres, por exemplo.

### Principais minerais e suas funções.

Mineral	Principal cátion extracelular; condução do impulso nervoso.
Sódio	
Potássio	Principal cátion intracelular; contração muscular e ação nervosa.
Cálcio	Contração muscular; coagulação sanguínea; ossos e dentes; regeneração de membranas.
Fósforo	Constituição de nucleotídeos e do ATP.
Enxofre	Aparece em muitas proteínas; formação de cartilagens.
Cloro	Principal ânion extracelular; manutenção do pH e balanceamento de líquidos.
Cobre	Síntese de hemoglobina; presente em enzimas.
Iodo	Presente nos hormônios da tireóide.
Magnésio	Nervos e músculos; presente na clorofila; co-fator enzimático.
Manganês	Ativador enzimático.
Cobalto	Vitamina B <sub>12</sub> ; produção de hemáceas.
Ferro	Hemoglobina; mioglobina; enzimas respiratórias.
Flúor	Em ossos e dentes; protege contra cáries.
Zinco	Constituinte de enzimas.

## Constituintes Orgânicos

Uma das características da matéria viva é a presença de macromoléculas (moléculas de alto peso molecular). Essas moléculas são polímeros, constituídos por unidades básicas de menor peso, os monômeros. Os biopolímeros de maior importância são as proteínas, os polissacarídeos e os ácidos nucleicos.

### Carboidratos, Glúcides, Glicídios, Hidratos de Carbono ou Açúcares

Podem ser definidos quimicamente como poliálcoois. Outros autores os caracterizam como poliidroxiálcoois ou poliidroxicetonas.

Os carboidratos são constituídos basicamente por carbono (C), Hidrogênio (H) e oxigênio (O). Em alguns glicídios, além desses elementos, pode haver também nitrogênio (N) e enxofre (S). A molécula de um glicídio apresenta um esqueleto de carbonos ligados a muitas hidroxilas (OH – função álcool) e a um grupamento aldeído (CHO) ou a um grupamento cetona (CO). Nas moléculas glicídicas, para cada átomo de carbono há dois átomos de hidrogênio e um átomo de oxigênio, na mesma proporção da molécula de água.

#### Classificação

**Os carboidratos estão classificados em três categorias:**

#### 1. Monossacarídeos

São os açúcares mais simples, que não sofrem hidrólise. Apresentam de três a sete átomos de carbono na sua constituição. Têm como fórmula geral (CH<sub>2</sub>O)<sub>n</sub>, onde “n” corresponde ao número de átomos de carbono na cadeia. Assim:

n = 3	(C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub> )	- Trioses
n = 4	(C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>4</sub> )	- Tetroses
n = 5	(C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub> )	- Pentoses
n = 6	(C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub> )	- Hexoses
n = 7	(C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O <sub>7</sub> )	- Heptoses

Os monossacarídeos mais importantes são as pentoses (ribose e desoxirribose) e as hexoses (glicose, galactose e frutose).

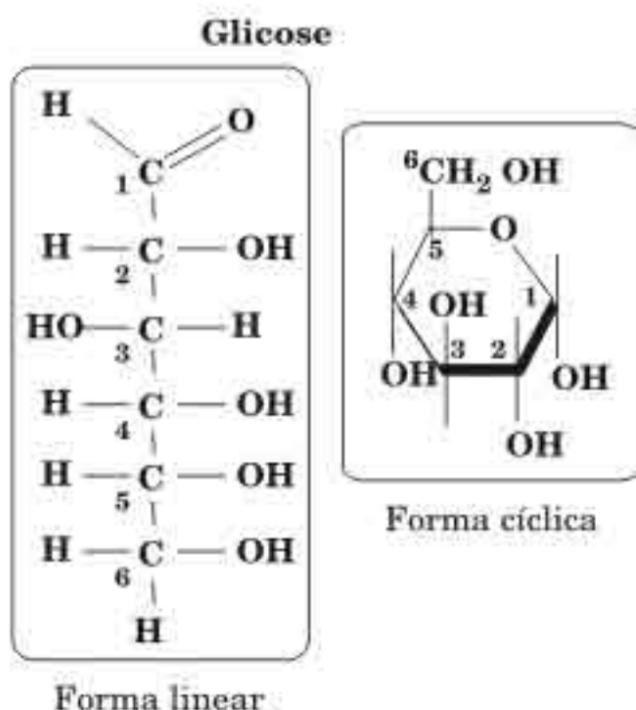
**Hexoses:** as hexoses têm papel fundamentalmente energético e servem como monômeros (unidades de formação) de carboidratos mais complexos.

A glicose é o combustível base para todas as células. É encontrada no mel e em muitos frutos, como a uva. Resulta da hidrólise do amido, da sacarose, maltose e da lactose. No sangue humano, a proporção de glicose varia entre 70 e 100 mg por 100ml de sangue. É o açúcar encontrado na urina quando ocorre glicosúria.

A frutose é encontrada de forma geral nos frutos e também no mel. Resulta da hidrólise da sacarose. Pode ser transformada em glicose, no fígado e no intestino, para, assim, ser utilizada pelo organismo.

A galactose é um dos constituintes do leite. Resulta da hidrólise da lactose. Pode ser transformada em glicose no fígado para ser metabolizada. Sua síntese ocorre na glândula mamária para formar a lactose do leite materno. Está presente nos glicolípídeos e glicoproteínas.

**Pentoses:** A ribose é o glicídio presente na molécula de RNA, em coenzimas, como o ATP, NAD, NADP e flavoproteínas; e, a desoxirribose, na molécula de DNA.



## 2. Oligossacarídeos

Resultam da união de poucos monossacarídeos (até dez unidades), através de ligações glicosídicas.

Os mais importantes são os dissacarídeos, resultantes da união de dois monossacarídeos, em que há a perda de uma molécula de água. Assim, os dissacarídeos têm como fórmula geral,  $C_n(H_2O)^{n-1}$ .

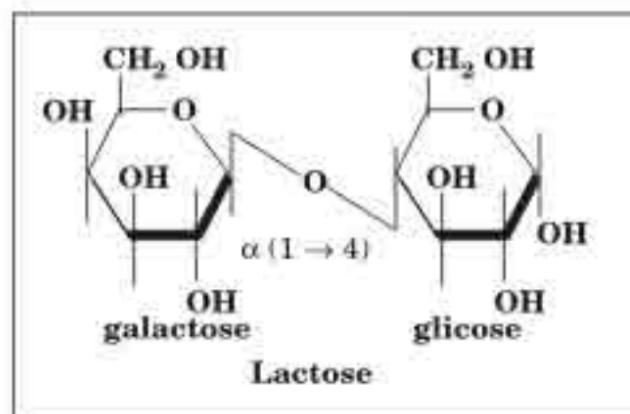
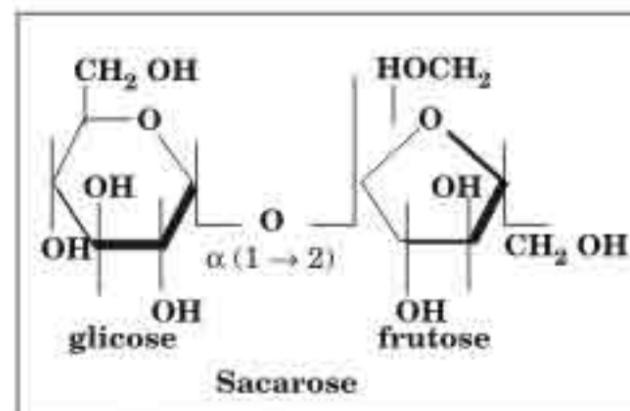
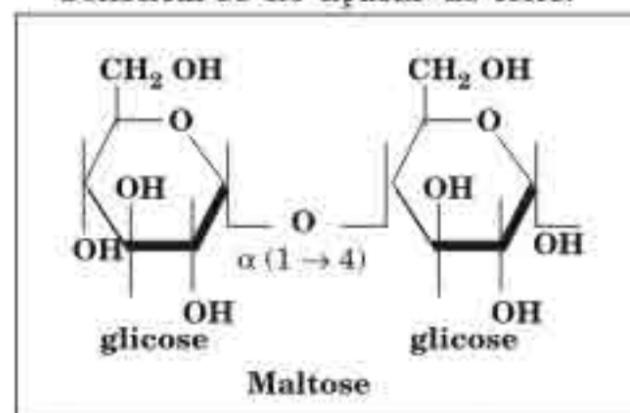
Os dissacarídeos mais importantes são: a maltose, a sacarose e a lactose.

- **Maltose:** formada por duas moléculas de glicose; açúcar do malte e de cereais em germinação.

- **Sacarose:** formada por uma molécula de glicose e uma de frutose. É encontrada na cana, na beterraba, sorgo, abacaxi e raízes de cenoura.

“A hidrólise da sacarose produz uma mistura bruta chamada, normalmente, de açúcar de inversão, porque a frutose fortemente levógira assim produzida inverte – muda - a ação dextrógira prévia da sacarose”.

- **Lactose:** resulta da associação de uma molécula de glicose e uma de galactose. Constitui-se no açúcar do leite.



## 3. Polissacarídeos

São moléculas (macromoléculas) formadas pela união de muitos monossacarídeos (de 1000 até 6000).

Os polissacarídeos de reserva energética são polímeros de glicose. O amido é o produto de reserva das células vegetais (sementes – arroz, feijão, trigo, milho; caules – batatinha; raízes (mandioca, batata-doce). O amido natural é insolúvel em água e, com a solução de iodo, dá uma cor azul. O glicogênio é a substância de reserva

dos animais (principalmente, fígado e músculos) e dos fungos.

Os polissacarídeos esqueléticos são a celulose (polímero de glicose), participa da formação da parede celular das células vegetais, responsável pela proteção e sustentação destas células. Como não sofre a ação das enzimas digestivas humanas, constitui um elemento importante na formação da massa inerte da dieta; e a quitina, um polissacarídeo nitrogenado (com uma nitrogênio na molécula), encontrada no exoesqueleto de artrópodos e na parede celular de fungos.

### **Funções**

São as principais fontes de energia para os seres vivos. Além disso, participam da coordenação da atividade celular por fazerem parte dos ácidos nucleicos, apresentam função estrutural (celulose e quitina) e informacional (glicocálix e hormônios glicoprotéicos).

## AULA Nº 05

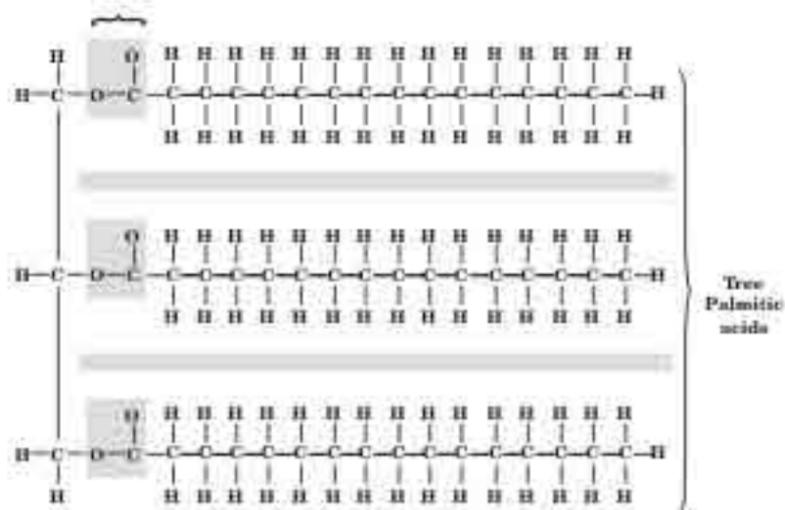
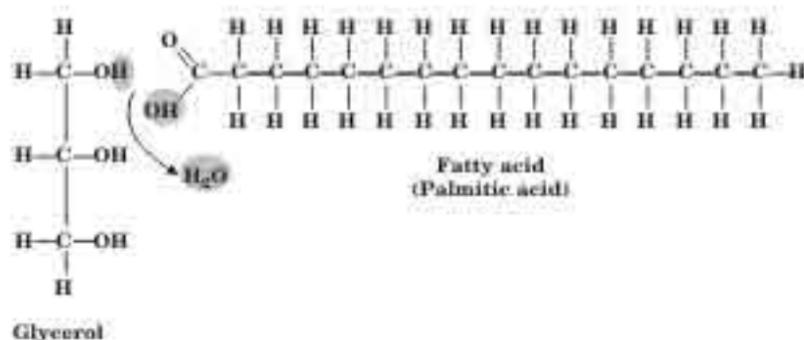
# LIPÍDIOS, PROTEÍNAS E ENZIMAS

## LIPÍDIOS

Os lipídios são ésteres de ácidos graxos e álcool.

Ácidos graxos são ácidos carboxílicos de cadeia longa. Em gorduras naturais, os ácidos graxos têm um número par de átomos de carbono e são derivados de cadeia retilínea. A cadeia pode estar saturada (sem ligações duplas) ou insaturada (com uma ou mais ligações duplas).

O principal álcool que entra na constituição dos lipídios é o glicerol.



### Classificação:

a) **simples** – formados apenas por C, H e O.

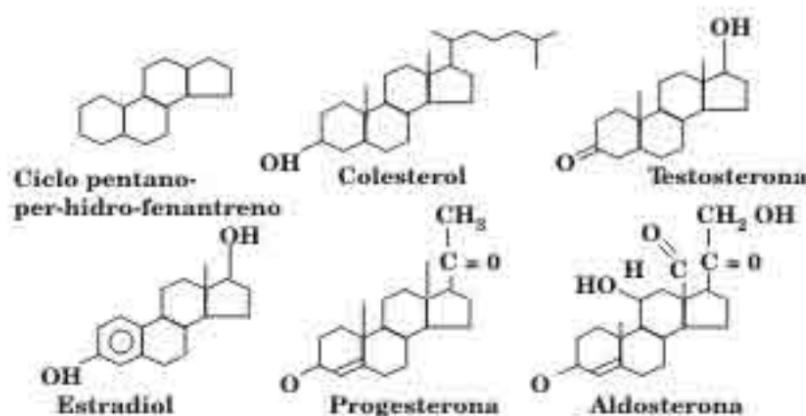
1. **Glicerídeos** – são aqueles cujo álcool é o glicerol (álcool de três carbonos).

- **Óleos** – são derivados de ácidos graxos insaturados e líquidos à temperatura ambiente. Normalmente de origem vegetal (oliva, soja, amendoim, milho, algodão, etc.). Alguns óleos animais: fígado de peixe, de baleia, de capivara.
- **Gorduras** – são derivadas de ácidos graxos saturados e sólidas à temperatura ambiente. As gorduras são principalmente de origem animal (banha, sebo, manteiga). Algumas gorduras vegetais: manteiga de cacau e gordura de coco. As margarinas são obtidas a partir de óleos vegetais solidificados artificialmente.
- **Papel biológico:** reserva energética de animais e vegetais. Em homeotermos as gorduras são isolantes térmicos.

2. **Cerídeos (ceras)** – álcool diferente do glicerol. Normalmente, são de origem vegetal, porém, há ceras animais (cera de abelha, cerúmen).

Função biológica – impermeabilização de superfícies sujeitas à desidratação (folhas e frutos).

3. **Esteróides** – São encontrados com frequência associados às gorduras (ex.: cortisona, ácidos biliares, hormônios adrenocorticais e sexuais, vitamina D, alguns alcalóides). Apresentam-se formadas por quatro anéis interligados, ligados aos átomos de carbono e hidrogênio. O colesterol é um dos principais esteróides conhecidos. Participa das membranas celulares de células animais e é precursor dos hormônios sexuais. É encontrado em alimentos de origem animal, já que os vegetais não o produzem. O excesso de colesterol é altamente prejudicial porque pode se acumular na parede interna dos vasos sanguíneos, causando endurecimento e prejudicando a circulação sanguínea, doença conhecida como arteriosclerose.



**Papel biológico** hormônios sexuais, anti-alérgico.

**a) complexos** – apresentam outros grupos além de ácidos graxos e álcool. Ex.: lipoproteínas, glicolipídeos (cerebrosídeos – ácidos graxos com carboidratos, contendo nitrogênio mas não fosfato), fosfolipídeos (contém um resíduo de ácido fosfórico, bases nitrogenadas e outros constituintes – lecitina e cefalina).

**Papel biológico:** principal componente das membranas celulares. Ex.: esfingomielina (grande quantidade no cérebro e tecido nervoso).

### Propriedades dos lipídios

- são insolúveis em água (pois as moléculas dos lipídios são apolares, enquanto a molécula de água é polar) e solúveis em solventes orgânicos (benzina, clorofórmio, éter, álcool);
- são untuosos ao tato;
- deixam mancha translúcida no papel;
- hidrólise – sofrem hidrólise pela ação da lipase, liberando ácidos graxos e álcool;
- saponificação – fazendo hidrólise de uma gordura com um álcali há produção de glicerol e sais alcalinos dos ácidos graxos, os sabões. O sabão limpa por ação emulsificante.

**Podemos resumir as funções dos lipídios, em:**

- **estrutural** – componente das membranas celulares (função plástica);
- **energética** – mais rica reserva energética dos seres vivos. Armazena o dobro da energia dos carboidratos e proteínas;
- **isolante térmico** – forma a hipoderme dos homeotermos (aves e mamíferos). Em mamíferos a hipoderme forma o pâncreo adiposo (toucinho do porco);
- **hormonal** – forma hormônios sexuais;
- **isolante elétrico** – forma a bainha de mielina dos axônios;
- **impermeabilizante de superfícies** – principalmente nos vegetais.

## PROTEÍNAS

São biopolímeros cujos monômeros são os aminoácidos.

As proteínas são os compostos orgânicos mais abundantes dos sistemas vivos. Inclusive, se você perguntar para alguém o objetivo das nossas informações genéticas, ouvirá, com certeza, que elas determinam todas as nossas características. Mas, de que forma? A informação genética é somente a receita e nós o pão pronto. Quais são os

ingredientes? Pois, os ingredientes são as proteínas. Veja que as informações genéticas nada mais são do que receitas para que as células, a partir das mesmas, produzam proteínas. Logo, todas as nossas características se devem às proteínas que produzimos, tanto morfo quanto fisiologicamente. Podemos até afirmar que nós somos o que são as nossas proteínas. Cada um de nós, os seres vivos, nada mais é do que um complexo protéico autosustentável. Nosso sistema imunológico, por exemplo, funciona para detectar e inutilizar qualquer proteína estranha ao nosso complexo protéico.

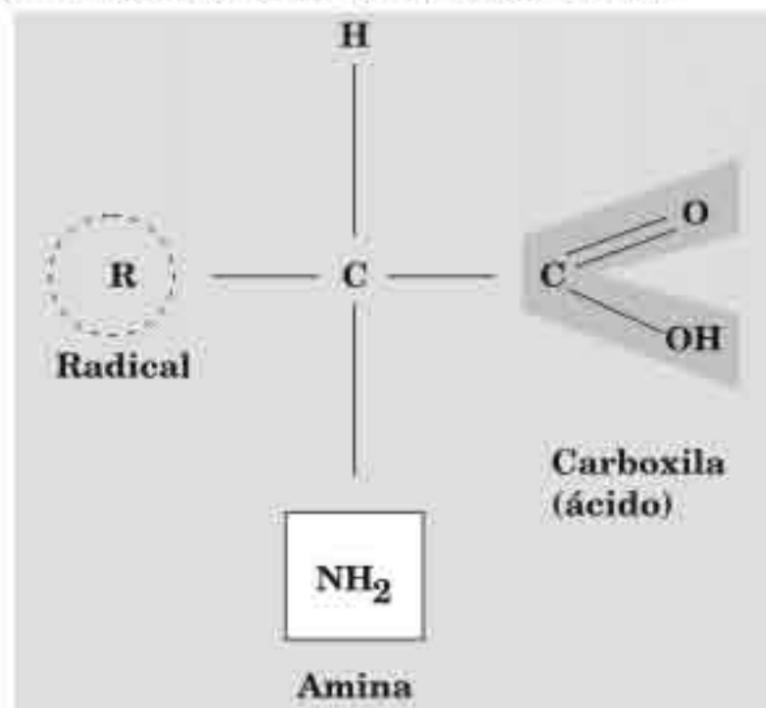
## AMINOÁCIDOS

Quimicamente são ácidos carboxílicos alfa-aminados. A ligação entre dois aminoácidos é chamada de ligação peptídica.

Todos os seres vivos são caracterizados por suas proteínas, logo, existe uma imensurável quantidade delas. Na natureza existem mais de 200 aminoácidos, porém, apenas 20 aminoácidos formam as proteínas: alanina, arginina, ácido aspártico, ácido glutâmico, cisteína, cistina, fenilalanina, glicina, hidroxilisina, hidroxiprolina, histitina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, serina, tirosina, treonina, triptofano, valina.

A diferença entre todas as proteínas se deve à quantidade, o tipo e a seqüência de aminoácidos das mesmas.

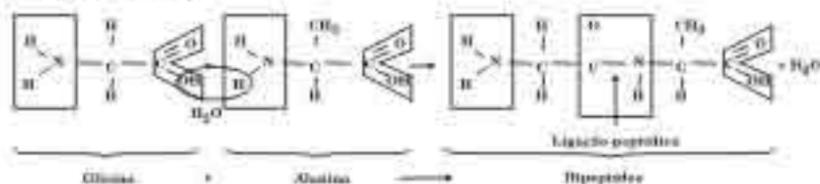
Mesmo ocorrendo vinte aminoácidos básicos, todos apresentam em comum um carbono central (exceto a glicina onde o radical é um átomo de H) ligado a um grupamento amina –  $\text{NH}_2$ , uma carboxila –  $\text{COOH}$ , um hidrogênio e a um radical. Conclui-se que a única diferença entre todos os aminoácidos está no tamanho do radical.



## LIGAÇÃO PEPTÍDICA

Ocorre entre o grupamento carboxila de um aminoácido e o grupamento amina do outro aminoácido, com liberação de uma molécula de água (reação por desidratação).

Observe que o número de ligações peptídicas de uma proteína é igual ao número de aminoácidos menos um.



Os aminoácidos estão agrupados em três categorias conforme sua necessidade na nossa dieta:

- 1. naturais:** aqueles produzidos pelo próprio organismo (glicina, alanina, serina, cisteína, tirosina, ácido aspártico, ácido glutâmico, asparagina, glutamina e prolina);
- 2. essenciais:** devemos buscar obrigatoriamente na nossa alimentação por não serem produzidos pelo organismo (lisina, triptofano, fenilalanina, treonina, valina, metionina, leucina e isoleucina, para a espécie humana). A carne e o leite são exemplos de alimentos que contêm todos os aminoácidos essenciais para a espécie humana.
- 3. semi-essenciais:** aqueles produzidos de forma insuficiente pelo organismo. Assim devem constar da alimentação (arginina, histidina).

## PEPTÍDEOS

Um peptídeo consiste em dois ou mais resíduos (chama-se assim qualquer aminoácido conectado a outro por uma ligação peptídica, entre o grupamento amínico de um e carboxílico do outro) de aminoácidos unidos por ligações peptídicas. Sendo dois resíduos de aminoácidos, chamamos dipeptídeo; Até 10 aminoácidos: oligopeptídeos; vários (ex.: mais de 10), polipeptídeo.

## PROTEÍNA

As proteínas são polipeptídeos (contendo um número variável de L-alfa-aminoácidos) com peso molecular a partir de 6000 (mais ou menos 100 aminoácidos). Observe que muitos hormônios e todas as proteínas simples são polipeptídeos.

## ESTRUTURA DA PROTEÍNA

### a) estrutura primária

É a seqüência linear dos resíduos de aminoácidos de um polipeptídeo, ou seja, consiste no conhecimento do número, estrutura química e

ordem de todos os resíduos de aminoácidos de um polipeptídeo.

Cada proteína possui o mesmo número de aminoácidos, rigorosamente na mesma seqüência, que é uma determinação genética.

Ex. Glu – Ala – Lys – Gly – Tyr – Ala

Assim, se ocorresse a troca na seqüência de um dos aminoácidos do exemplo acima, teríamos uma outra molécula de proteína, com estrutura e função completamente diferentes.

Erros naturais podem acontecer e uma célula, por engano, trocar um aminoácido por outro, alterando a seqüência. Desta forma a função da proteína alterada pode causar sérias doenças.

Observe o exemplo abaixo:

- (a) val – his – leu – tre – pro – glu – glu – lis ( hemoglobina normal)
- (b) val – his – leu – tre – pro – val – glu – lis ( hemoglobina anormal).

A simples troca do aminoácido glutamina pela valina na molécula de hemoglobina faz com que a hemácea tome a forma de uma foice, provocando no indivíduo uma importante doença chamada anemia falciforme ou siclemia, podendo, inclusive, ser fatal.

### b) estrutura secundária

Uma cadeia peptídica, espacialmente, não se mostra retilínea, mas, em função da atração química (fracas pontes de hidrogênio entre o grupo carboxila de um aminoácido e o grupo amina do aminoácido contíguo) entre aminoácidos próximos, assume uma forma helicoidal (como uma mola), sendo esta a sua estrutura secundária.

Proteínas com estrutura secundária são chamadas de proteínas fibrosas, apresentam a relação comprimento-largura maior que 10:1, como, por exemplo, a queratina e o colágeno (proteína mais abundante dos mamíferos, cerca de 35% do total).

### c) estrutura terciária

A hélice pode dobrar sobre si mesma, constituindo a estrutura terciária. Proteína com estrutura terciária são chamadas de proteínas globulares. A estrutura terciária é mantida por ligações dissulfídicas, ligações covalentes e pontes de hidrogênio.

Quando a relação comprimento-largura for menor que 10:1, a proteína é chamada proteína

globular, como, por exemplo, a hemoglobina, a mioglobina, a cianoglobina e as proteínas das membranas celulares.

#### **d) estrutura quaternária**

Resulta da união de várias cadeias polipeptídicas, assumindo uma forma de novelo. É a consequência da união de estruturas terciárias.

A hemoglobina é formada por quatro cadeias polipeptídicas de dois diferentes tipos, unidas a um grupamento químico que contém ferro. Já a insulina (hormônio) é o resultado da união de duas cadeias polipeptídicas.

Muitas estruturas de grande valor biológico apresentam organização quaternária, como os microtúbulos e os microfilamentos e vários complexos enzimáticos, o que dificultou, inclusive, seu estudo por serem estruturas muito lábeis.

Normalmente, em sala, usa-se para explicar a estrutura de uma proteína, um fio de telefone. Retire o fio do seu telefone e estique, você tem uma estrutura primária. Agora, deixe-o normal e veja o formado helicoidal, é a estrutura secundária. Faça várias dobras e dê um formato globular, é a estrutura terciária. Finalmente, guarde numa caixa várias estruturas terciárias interligadas, assim você observa uma estrutura quaternária. Por isso, estruturas como microtúbulos e microfilamentos demoraram para ser estudadas. Quando morre a célula, as estruturas quaternárias (muito lábeis) sofrem um desmonte e os pesquisadores não conseguiam detectá-las. Com a descoberta de novos fixadores foi possível preservar estas estruturas quaternárias, sendo possível, assim, usar todo o potencial do microscópio eletrônico.

Observe como a química, a física e a biologia estão intimamente relacionadas.

### **CLASSIFICAÇÃO DAS PROTEÍNAS:**

- a) simples** – são as proteínas formadas somente por aminoácidos. Por exemplo, temos as histonas, albuminas, protaminas e globulinas.
- b) complexas ou conjugadas** – são aquelas que além de aminoácidos apresentam outra molécula, chamada grupo prostético. Ex.: lipoproteína = AA + lipídio; glicoproteína = AA + carboidrato; cromoproteína = AA + pigmento.

### **FUNÇÕES DAS PROTEÍNAS**

- a) estrutural (plástica)** – são proteínas construtivas;

Ex.: colágeno – abundante nos tendões, cartilagens e ossos. Confere resistência à pele e aos ossos; queratina – na superfície da pele

(impermeabilização), nas garras, unhas, bicos e pêlos dos vertebrados;

- b) hormonal** – insulina, por exemplo;
- c) defesa do corpo** – anticorpos;
- d) energética;**
- e) biocatalizadora** – enzimas;
- f) movimento** – actina e miosina, proteínas contráteis e principais componentes dos músculos.
- g) reserva** – albumina: reserva alimentar presente na clara do ovo; também é o componente mais abundante do plasma ( parte líquida do sangue) onde confere viscosidade e é responsável pela pressão osmótica; presente no sêmen.

### **DESNATURAÇÃO PROTÉICA**

Fenômeno que consiste na alteração da estrutura espacial de uma proteína, rompendo sua estrutura secundária.

A desnaturação pode ocorrer por fatores físicos (calor e frio) ou químicos.

O calor desnatura as proteínas de forma irreversível (a agitação molecular causada pela alta temperatura rompe as ligações responsáveis pela manutenção da forma molecular), razão pela qual não se pode expor a matéria viva a altas temperaturas. As proteínas desnaturam em temperaturas entre 40 e 45° C. Observe, por exemplo, o efeito do calor durante a fritura ou cozimento de um ovo, onde ocorre desnaturação da albumina. Durante a desnaturação as moléculas de albumina desenrolam e fazem um emaranhado, deixando a clara do ovo cozido sólida. Já o frio o faz de forma reversível. Técnicas, então foram desenvolvidas para preservar células a frio, como preservação de sêmen, de embriões, e indivíduos e até banco de genes.

Quimicamente, meios muito ácidos ou muito básicos também causam desnaturação. Bactérias que fermentam o leite, liberam ácido láctico, este diminui o pH e desnatura as proteínas do leite, que se emaranham e solidificam. Fenômeno usado para a fabricação de derivados do leite, como queijos e iogurtes.

### **ENZIMAS**

As enzimas são **biocatalisadores**. Catalisador é toda substância que diminui a energia de ativação de uma reação, tendo como consequência o aumento de velocidade da mesma.

Energia de ativação é a energia necessária para que uma reação ocorra. Nós somos constituídos por macromoléculas, principalmente proteínas, que necessitam uma alta energia de ativação. Ou seja, para reagirem exigem altas

temperaturas, em torno de no mínimo 70° C. Por outro lado, você já sabe que a partir de 40 – 45° C as proteínas desnaturam. Logo, o papel das enzimas é fundamental por possibilitar que as reações bioquímicas aconteçam num patamar de temperatura compatível com a vida. Por isso mesmo não viveríamos sem as nossas enzimas. Elas são produzidas sob o controle do DNA, já que são moléculas protéicas. Através das enzimas o DNA comanda todo o metabolismo celular, isto é, o genótipo se expressa na forma de um determinado fenótipo. Podemos dizer que os genes agem através das enzimas.

### Classificação

- a) **Apoenzima** – é uma enzima simples (lembre que toda enzima é uma proteína), ou seja, constituídas apenas de aminoácidos.
- b) **Holoenzima** – é uma enzima conjugada, ou seja, torna-se ativa apenas se estiver ligada ao radical prostético, chamado coenzima. Muitos hormônios e a maioria das enzimas funcionam como coenzimas, explicando assim sua importância no nosso metabolismo.

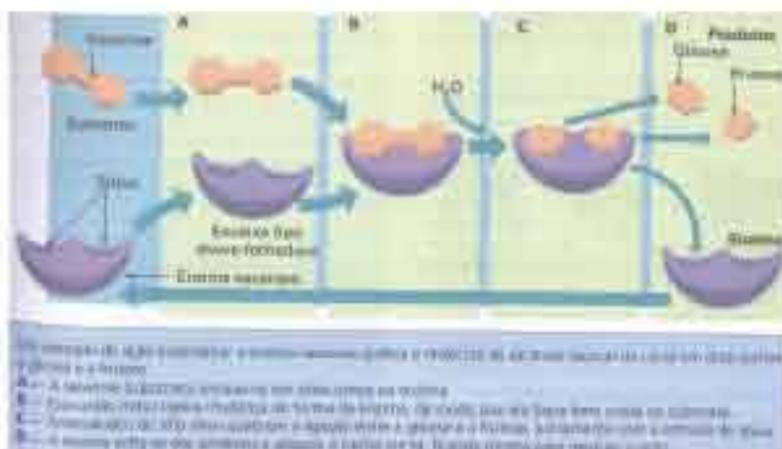
### Ação enzimática

As enzimas viabilizam a reação bioquímica, porém, não participam da mesma. Chama-se substrato a substância sobre a qual a enzima age. Assim, podemos descrever o funcionamento de uma enzima:



onde E é a enzima, S é o substrato, ES é o complexo enzima-substrato, e P representa os produtos da reação.

O substrato encaixa num local específico da molécula enzimática denominado centro ativo. Como há esse encaixe específico o modelo que explica o funcionamento enzimático chama modelo da chave-fechadura.



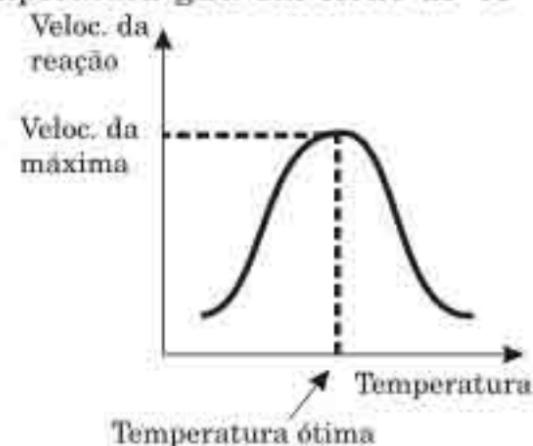
### Características da ação enzimática

#### 1) temperatura

A velocidade da reação enzimática, dentro de certos limites, aumenta à medida que se eleva a temperatura.

A temperatura em que há o máximo de velocidade da ação enzimática, em humanos, está entre 35 e 40° C. No entanto, essa faixa varia de organismo para organismo. Um caso extremo é o das bactérias que vivem em fontes termais que têm enzimas cujo ponto ótimo de temperatura fica em torno de 70° C.

A partir de uma determinada temperatura o grau de agitação molecular se torna tão intenso que as ligações estabilizadoras da estrutura espacial das enzimas se rompem, provocando sua desnaturação. Assim a velocidade da reação enzimática cai bruscamente. Na maioria das vezes essa temperatura gira em torno de 40° – 45° C.

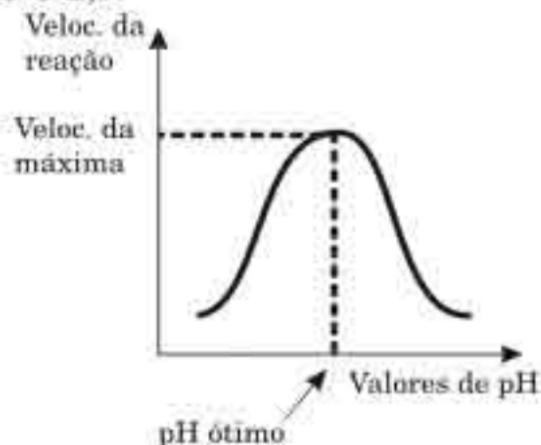


#### 2) ação do pH

Cada enzima apresenta um pH específico, um ponto ótimo onde sua ação é máxima. Algumas, por exemplo, só atuam em meio ácido, outras somente em meio básico.

Fora de seu pH específico a enzima fica inativa. Para ativá-la basta retornar ao mesmo.

A maioria das enzimas tem seu pH ótimo entre 7 e 8. Mas não são todas, a pepsina, por exemplo, que atua no estômago, tem seu pH ótimo entre 1,5 e 2,5.

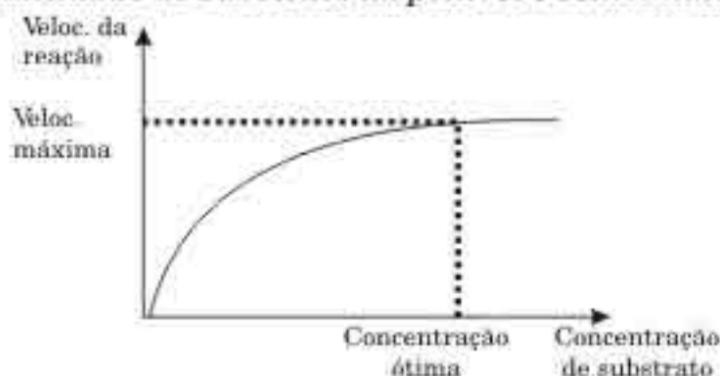


### (3) concentração do substrato

A velocidade da reação aumenta proporcionalmente com o aumento da concentração do substrato, até um ponto máximo onde a reação se estabiliza.

Considere que a partir de uma determinada concentração do substrato todas as moléculas enzimáticas disponíveis estarão ocupadas.

A velocidade de ação dos vendedores de uma loja aumenta com a chegada dos compradores, tendo como limite o momento em que todos os vendedores estiverem ocupados. A partir daí as filas serão formadas. Logo, não adianta chegar mais fregueses que a ação da loja não melhora pois não há mais vendedores disponíveis. A relação da velocidade da reação enzimática com a quantidade de substrato disponível é semelhante.



### (4) especificidade enzimática

As enzimas agem sobre substratos específicos.

Por exemplo, a sacarase age somente sobre a sacarose e a maltase sobre a maltose.

A especificidade é explicada pelo modelo chave-fechadura. A conformação molecular que permite o encaixe do substrato, chamada centro ativo é uma configuração que possibilita a reação apenas de determinado tipo molecular. Ou seja, para cada fechadura apenas uma chave e cada chave age sobre somente uma fechadura.

### (5) reversibilidade da reação

A mesma enzima atua na síntese ou na análise de uma molécula.

Ex.:  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3$ , reação catalisada nos dois sentidos pela enzima anidrase carbônica.

(6) as enzimas uma vez formadas **agem**, inclusive, **fora do organismo**.

### (7) inibição enzimática

A atividade das enzimas é muito sensível aos mais diferentes agentes químicos ou físicos.

A inibição enzimática pode ser reversível (competitiva ou não competitiva) ou irreversível.

**a) inibição competitiva reversível** – quando há moléculas estruturalmente semelhantes ao substrato que competem com o mesmo pelo centro ativo da enzima. Nesse caso,

quanto maior for a concentração do substrato menor será a chance do inibidor. Logo, a inibição competitiva depende da relação entre a concentração do inibidor e a do substrato.

**b) inibição não competitiva (reversível)** – aqui depende apenas da concentração do inibidor. O inibidor promove uma alteração na forma tridimensional da molécula enzimática, impedindo sua atividade. Temos como exemplo a ligação de metais pesados com os grupos –SH da molécula enzimática, que se combinam de forma reversível.

**c) Inibição irreversível** – Fenômeno em que há alteração permanente da molécula enzimática, inibindo total ou parcialmente a sua ação. Por exemplo, a iodoacetamida combina-se permanentemente com os grupos –SH, inibindo irreversivelmente em casos onde os grupos –SH sejam essenciais.

**(8) sistemas enzimáticos** – a maioria das enzimas funciona em seqüência, ou seja, há um “pool” enzimático onde o produto da ação de uma enzima é substrato para a próxima enzima. Assim, o conjunto das enzimas em ação é denominado cadeia enzimática. É uma das vantagens das organelas citoplasmáticas porque possibilitam que as enzimas de uma mesma cadeia enzimática fiquem aderidas à membrana de uma única organela, viabilizando, assim, a especialização celular.

### Nomenclatura

A classificação recomendada por uma comissão internacional em enzimas, divide as enzimas em seis classes principais e conjuntos de subclasses, em função do tipo de reação catalisada. Inclui um nome recomendado, geralmente curto e apropriado para o uso diário, um nome sistemático (identifica a reação catalisada) e um número de classificação (para identificações mais precisas).

Vamos adotar, no entanto, uma classificação tradicional e que, por sua vez, tem sido cobradas no ensino médio, de forma geral.

Para tal nomenclatura acrescenta-se o sufixo **ase**, observando-se dois critérios:

#### a) o substrato da reação.

Exemplos:

Maltase – atua sobre a maltose

Lactase – atua sobre a lactose

Amilase – atua sobre o amido

Lipase – atua sobre os lipídios.

#### b) a reação catalisada.

Exemplos:

Hidrolase – atua na hidrólise

Oxidase – atua na oxidação

Fosforilase – atua na fosforilação

Oxirredutase – atua na oxirredução.

## AULA Nº 06

## ENVOLTÓRIOS CELULARES

**Introdução**

Para que as células se mantenham individualizadas necessitam estar separadas do seu meio ambiente por envoltórios.

Os envoltórios celulares cumprem duas funções básicas: **isolar o conteúdo celular do meio externo e possibilitar o intercâmbio junto ao meio.**

A estrutura primária que define o que entra e o que sai da célula é chamada de **membrana plasmática** (plasmalema ou membrana citoplasmática).

Ao longo da evolução surgiram modificações, na superfície das células, que forneceram uma maior resistência à membrana plasmática, sem interferir na sua fisiologia. Essas modificações foram vantajosas quanto à evolução e, por isso, permaneceram, considerando, que a membrana plasmática, uma estrutura fluida, é muito delicada e sensível. Para que você entenda a importância desse fato, observe que a membrana plasmática é o limite físico entre a vida e a ausência de vida.

As soluções para reforçar a membrana plasmática foram as mais variadas nos diferentes grupos de seres vivos. Vamos nos deter em duas dessas modificações que funcionam como envoltórios celulares mais externos: a **parede celular**, presente em bactérias, cianobactérias, alguns protistas, fungos e plantas; e, o **glicocálix**, presente nas células animais.

**1. PAREDE CELULAR**

Como já mencionado ocorre nas bactérias, cianobactérias, algas protistas, fungos e vegetais.

Apresenta como funções básicas: **reforço externo da membrana plasmática, sustentação e revestimento celular.**

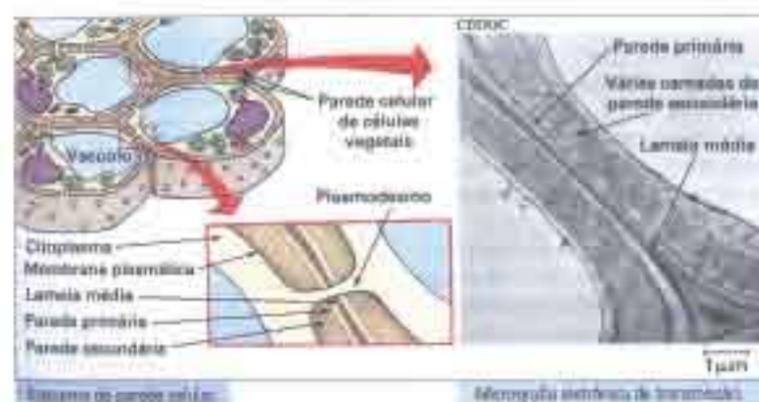
Quimicamente as paredes celulares são de constituição bastante variada: quitina nos fungos, bactérias e cianobactérias apresentam ácido teicóico, ácido murâmico e ácido di-amino- pímélico, enquanto nos vegetais aparecem celulose, hemicelulose, pectatos de cálcio e magnésio.

**Parede celular vegetal**

A parede celular vegetal é uma estrutura rígida, porém, permeável. Apresenta perfurações, as **pontuações**, que possibilitam o surgimento de canais protéicos, os **plasmodesmos**, através dos quais há comunicação entre os citoplasmas de duas células vegetais vizinhas. Por ser rígida, evita a entrada excessiva de líquidos, o que provocaria o estouro da célula, **plasmoptise**.

A parede celular vegetal apresenta três camadas:

- lamela média** – elaborada a partir do golgiossomo durante a telofase, sendo constituída por **pectatos de cálcio e pectatos de magnésio**. A **pectina** (polissacarídeo) une uma célula a outra.
- parede primária** – depositada sobre a lamela média, dos dois lados, e composta por **hemicelulose, pectina e glicoproteínas**;
- parede secundária** – depositada sobre a parede primária, sendo a camada mais espessa, aparecendo no estágio adulto da célula (final da fase de diferenciação). Quimicamente é constituída por **celulose**.



O espaço em que se encontra o **protoplasma** (parte viva da célula: membrana plasmática, citoplasma e núcleo) é denominado **lúmen**.

Quando adulta a célula vegetal pode provocar **alterações** na parede celular secundária ou sofrer **impregnações** de diversas substâncias.

- alterações da parede secundária** – a ação de determinadas enzimas sobre a celulose e a pectose da parede secundária pode formar **gomas e mucilagens**, fenômeno chamado de **geleificação**.

- **Gomas:** na epiderme de plantas como a ameixeira, a laranjeira, etc.;
- **Goma arábica:** extraída das acácias;
- **Mucilagens:** comuns em frutos, flores, sementes e raízes. O **ágar-ágar** é uma mucilagem produzida por algas rodoíceas dos gêneros *Gracilaria* e *Gelidium*, substância muito usada em laboratório como meio de cultura.

**b) impregnações** – resultam da deposição de substâncias sobre a parede secundária.

- **Suberificação:** deposição de um óleo chamado **suberina** na parede celular do súber, onde há crescimento secundário. A suberina mata as células do súber porque impede as trocas de substâncias junto ao meio.
- **Lignificação:** deposição total ou parcial de **lignina** (pode intercalar entre as lâminas da parede celular). A rigidez dos tecidos de sustentação da planta (**esclerenquima**) se deve à presença de lignina. Ocorre também no **xilema** (traquéia e traqueídeo).
- **Cutinização:** deposição de **cutina** (óleo) sobre a epiderme vegetal. Forma a **cutícula**, com função de impermeabilização (evita a transpiração).
- **Cerificação:** deposição de **cera** (lipídio) sobre a epiderme vegetal. Evita a transpiração excessiva. Ocorre em folhas (onde é freqüente) e frutos (esfregue um pedaço de pano na maçã e observe o resultado).
- **Mineralização:** deposição de minerais sobre a epiderme de diversos órgãos vegetais – **calcificação** (impregnação de  $\text{CaCO}_3$  sobre a parede celular de determinadas algas rodoíceas); **silificação** (impregnação de sílica sobre a epiderme de folhas, como nas gramíneas; nas diatomáceas, forma a **frústula**).

## 2. GLICOCÁLIX

Reforço mais externo da membrana plasmática da maioria das células animais.

O glicocálix é constituído por moléculas de **carboidratos** associadas aos **lipídios** (**cerebrosídeos** e **gangliosídeos**) e às **proteínas integrais** da membrana. As glicoproteínas do glicocálix são produzidas no retículo endoplasmático granular e se combinam com polissacarídeos no golgiossomo e, posteriormente, transferidas para o mesmo.

O primeiro contato que a célula animal faz junto ao seu meio é realizado pelo glicocálix. Assim, assume funções de vital importância para a célula, tais como:

Maior **resistência, proteção** (barreira contra agentes físicos e químicos do meio), **identificação celular** (as células podem se reconhecer; células de um mesmo tecido têm glicocálix formado pelos mesmos carboidratos), **adequação do meio em torno da célula** (forma uma malha que retém nutrientes e enzimas ao redor das células), **adesão celular** (como exemplo, no epitelial e nervoso); **antigênico** (é parte do estímulo que induz à formação de anticorpos que rejeitam enxertos); as substâncias determinantes dos grupos sanguíneos (A, B, AB e O) são glicoproteínas localizadas no glicocálix.

### *Características e Modelos da Membrana Plasmática*

A membrana plasmática ou membrana citoplasmática ou, ainda, plasmalema é uma finíssima membrana que separa o hialoplasma do meio ambiente da célula.

Mede cerca de 7,5nm (75Å) de espessura, sendo visível apenas ao microscópio eletrônico.

As micrografias revelam que a membrana plasmática é formada por duas camadas eletrodensas, escuras (2,5nm cada uma), entre as quais se situa uma camada de menor eletrodensidade, clara (2,5nm). A este aspecto **trilaminar** da membrana plasmática ao M.E., denominou-se **unidade de membrana** ou **membrana unitária** (Robertson, 1959). Vale notar que todas as membranas celulares (a plasmática e as que envolvem as organelas citoplasmáticas) apresentam idêntico aspecto.

Quimicamente a membrana plasmática é de natureza **lipoprotéica**. Apresenta-se principalmente formada por **fosfolipídios** e **proteína** que, por sua vez, pode se associar a **glicídios**. Todas as membranas são de natureza lipoprotéica, variando, na quantidade e na qualidade das moléculas de lipídios e proteínas presentes.

Os meios intra e extracelulares, tão diferentes, são pela membrana plasmática separados. Por isso cabe a membrana o controle do intercâmbio entre dois meios tão diferentes. Representa ela uma barreira seletiva entre a célula e o seu meio.

### Modelo Atual de Membrana Plasmática

Vários modelos foram propostos e têm sido melhorados com o desenvolvimento tecnológico. Hoje, o modelo teórico mais aceito é o **mosaico fluido** (Nicholson e Singer, 1972), postulando que “**a membrana plasmática é formada por um mosaico de moléculas protéicas colocadas numa bicamada fluida de lipídios**”. Este modelo pode ser aplicado para todas as membranas celulares.

Em função do isolamento e estudo das membranas, observou-se que são complexos lipoprotéicos, contendo 60 a 75% de proteínas e 25 a 40% de lipídios.

A dupla camada de lipídios apresenta suas moléculas com as cadeias **hidrofóbicas**, apolares (2,5nm), voltadas para o interior da membrana; já as cabeças polares, **hidrófilas**, voltam-se para o meio ambiente celular (2,5nm) ou para o citoplasma (2,5nm), meios estes aquosos. A interação, ligações fracas, entre as duas cadeias nas suas partes hidrofóbicas, as mantém unidas.

Todas as membranas até agora estudadas contêm **fosfolipídios**, porém, a presença e a concentração dos outros lipídios são muito variáveis (**colesterol, esfingolipídios e glicolipídios**).

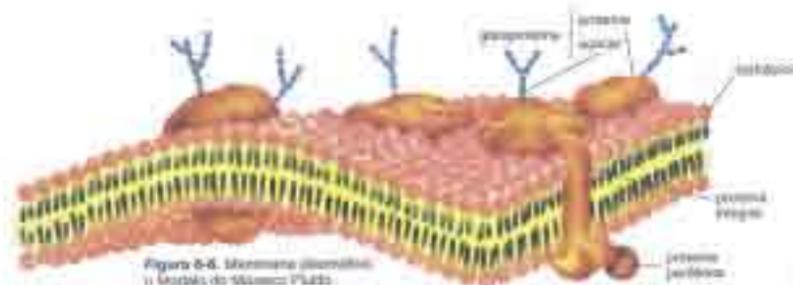
As proteínas da membrana são globulares e bipolares (um pólo positivo e um pólo negativo), ficando mergulhadas, total ou parcialmente, na bicamada lipídica. A parte hidrofóbica das proteínas está localizada no centro da bicamada lipídica; já a hidrofílica se encontra na superfície da membrana, junto às cabeças hidrofílicas dos lipídios, contatando ou o meio extracelular ou o citoplasma.

Podemos classificar as proteínas da membrana em dois grandes grupos:

**a) proteínas integrais:** compreendem 70 a 80% das proteínas da membrana. Incluídas aqui estão a maioria das enzimas, antígenos, proteínas transportadoras e receptores de membrana. A parte hidrofóbica dessas proteínas fica presa aos lipídios na região média da membrana. As moléculas dessas proteínas podem atravessar toda a espessura da membrana ou não. Podemos

dizer que as proteínas integrais são **proteínas funcionais** da membrana.

**b) proteínas periféricas:** são facilmente obtidas puras, livres dos lipídios. Unem-se a locais específicos da membrana e, provavelmente, a ligação ocorre através das proteínas integrais. São proteínas periféricas o **citocromo c** (participa da respiração celular na mitocôndria), a **espectrina** (membrana de eritrócitos), **eritroactina** e **eritromiosina** (eritrócitos). As proteínas periféricas podem funcionar como **proteínas estruturais**.



### Especializações da membrana

Em células de certos tipos de tecidos epiteliais de revestimento, a membrana plasmática sofre modificações como consequência de adaptações funcionais.

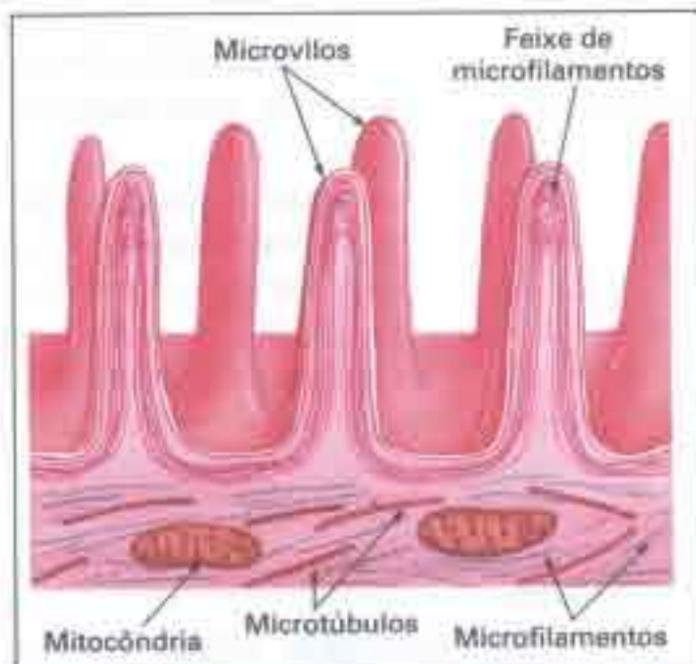
Considerando que a célula epitelial repousa sobre o tecido conjuntivo, a face em contato junto ao mesmo é denominada face **basal**; a face diametralmente oposta chama-se face **apical**, sendo as demais, faces **laterais**. Em tecido epitelial estratificado (formado por várias camadas de células) a face basal é aquela voltada para o tecido conjuntivo. Desta forma, podemos falar em especializações apicais, laterais e basais.

#### a) especializações apicais:

##### 1 - Microvilosidades (microvilos)

São expansões do citoplasma (forma de dedo de luva) recobertas por membrana e contendo muitos microfilamentos de **actina** (proteína) responsáveis pela manutenção de sua forma.

Ocorrem em células **absortivas** como o **epitélio do intestino delgado** e o **epitélio renal**, servindo, portanto, para **aumentar a superfície de absorção**.



Esquema da superfície de uma célula epitelial do intestino delgado, mostrando alguns microvilos.

## 2 - Cílios e Flagelos

Os cílios e flagelos são estruturalmente idênticos. Apresentam três partes: haste, corpo basal e raiz.

### Haste

Consiste num prolongamento da membrana plasmática que envolve um eixo de sustentação, o **axonema**.

Ao ME a haste é formada por uma porção de citoplasma, envolvido pela membrana plasmática, e, contendo **nove pares de microtúbulos periféricos**, originados do cinetossomo, e **um par central**, originado da própria haste.

### Corpo basal ou cinetossomo

Situa-se na base do cílio ou flagelo, no interior do citoplasma. Na realidade consiste num corpúsculo cilíndrico, denominado centríolo. O centríolo é formado por microtúbulos (estruturas protéicas contráteis que lembram canudo de refrigerante) que se alongam e embutem na haste, sendo responsáveis pelo movimento da mesma.

O centríolo que forma o corpo basal é formado por **nove conjuntos de três microtúbulos periféricos, sem o par central**.

### Raiz

Conjunto de microfilamentos (citoesqueleto) que fixam o corpo basal ao hialoplasma.

## Cílios

Ocorrem em protozoários ciliados, no epitélio de larvas de animais aquáticos, epiderme de planárias (estruturas locomotoras), epitélio de revestimento das vias respiratórias de mamíferos, epitélio da tuba uterina humana e zoósporos de algas e fungos.

São características dos cílios que os diferem dos flagelos: **curtos, aparecem em grande número por célula, movimentos rápidos, movimento vibratório**.

## Flagelos

Aparecem em protozoários flagelados, no espermatozóide de vários animais (o espermatozóide é a única célula flagelada de mamíferos), em muitas algas, anterozóides de musgos e samambaias e algumas bactérias.

São características típicas de flagelos: **longos, um ou poucos por célula, movimentos lentos, movimento por chicoteamento ou ondulatório**.

## Funções

Os cílios e os flagelos são responsáveis pela locomoção de muitas células livres e de animais aquáticos (planária) e para o deslocamento de partículas na superfície da célula ou tecido.

### b) especializações laterais

#### 1 - Desmossomos

São formações elaboradas por duas células vizinhas com o objetivo de aumentar a **adesão celular**.

Ocorrem em locais sujeitos a grande pressão mecânica, como o tecido epitelial (pele e células do epitélio intestinal) e células do tecido muscular estriado cardíaco.

Cada desmossomo é formado por duas placas citoplasmáticas condensadas (uma em cada célula vizinha), por tonofilamentos (filamentos de proteínas espessos, até 17 nm de diâmetro) que inserem nas placas como reforço e por microfilamentos (filamentos de proteínas com 7 a 8 nm de diâmetro) que atravessam a membrana das duas células vizinhas e o espaço intercelular, como se costurassem ambas as células.

Em vários epitélios como o epitélio intestinal ocorre o chamado **complexo juncional** com funções de **adesão e vedação celular**. O complexo juncional é formado por três elementos:

- a) **zonula ocludens (zona de oclusão)**– faixa contínua em torno da zona apical de certas células epiteliais ( como as intestinais) com o objetivo de vedar e impedir o trânsito

de qualquer substância por entre as células. Cumpre aqui um papel decisivo o íon cálcio.

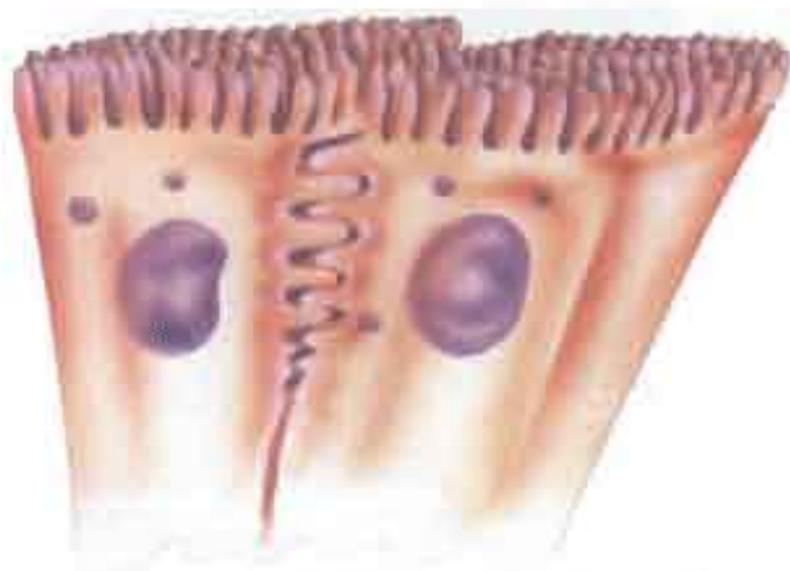
**b) zonula adherens (zona de adesão)** – é um cinto contínuo em forma das células reforçando a união entre as mesmas.

**c) macula adherens (mácula de adesão)** – é assim chamado o primeiro desmossomo após a zona de adesão. Note que há, normalmente, uma fileira de desmossomos, porém, refere-se ao primeiro.

## 2 – Interdigitações

São formações que reforçam a **união** entre duas células vizinhas. Ocorre em locais com pressão mecânica como a pele. Portanto, típicas de tecidos epiteliais de revestimento.

São expansões e depressões das membranas de duas células vizinhas, proporcionando um encaixe entre elas como os dedos no interior de uma luva.



A superfície de contato entre células é ampliada por interdigitações.

## 3 – junções comunicantes, nexos ou “gap junction”

Foram observadas entre as células epiteliais de revestimento, epiteliais glandulares, musculares lisas, musculares cardíacas e nervosas.

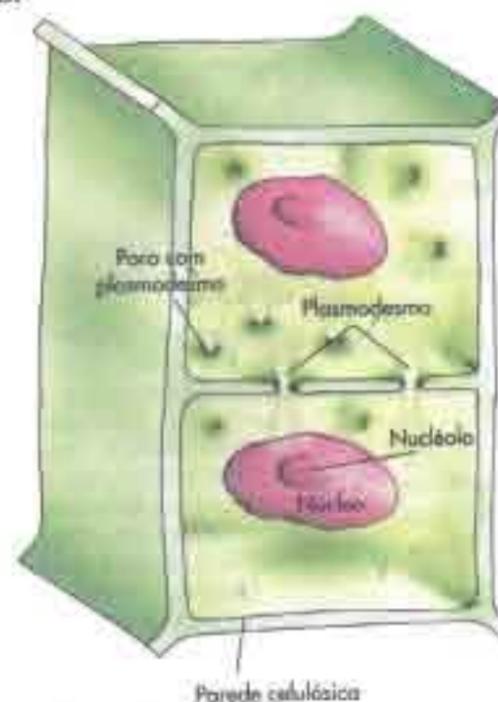
As junções do tipo **gap** são formadas por dois tubos protéicos paralelos que atravessam as membranas de duas células vizinhas, permitindo a comunicação entre as mesmas.

Através das junções comunicantes passam diversas substâncias entre as células (nucleotídeos, aminoácidos e íons), porém, não há trânsito de macromoléculas.

Assim, grupos celulares constituem um conjunto funcional, atuando de modo coordenado e harmônico.

## 4 – plasmodesmos

Nas sessões de descontinuidade da parede celular das células vegetais há a formação de tubos protéicos, os **plasmodesmos**, que permitem a rápida comunicação entre os citoplasmas contíguos.



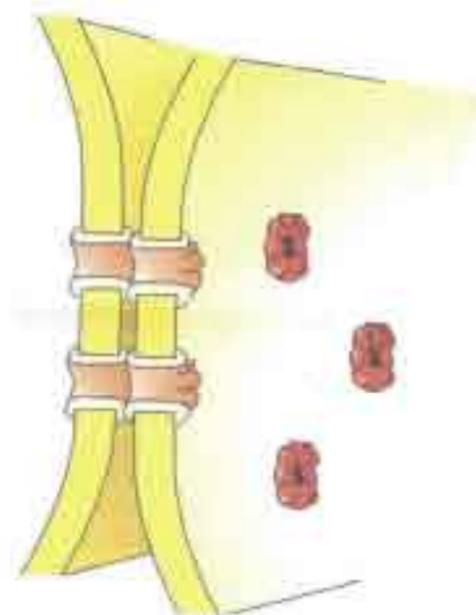
## (c) especializações apicais

### 1 – pregas basais

Invaginações que ocorrem na base das células dos canais renais. Relacionam-se com o transporte de água reabsorvida por essas estruturas.

### 2 – hemidesmossomos

São formações na região basal das células epiteliais, face de contato com a lâmina basal (local de contato junto ao tecido conjuntivo subjacente), semelhantes a um desmossomo. Em realidade, a célula do epitélio elabora a sua parte do desmossomo, porém, não há correspondência do outro lado, já que não há outra célula epitelial e sim a lâmina basal.



## TRÂNSITO ATRAVÉS DA MEMBRANA – PERMEABILIDADE SELETIVA

A membrana plasmática é a principal responsável pelo controle da penetração e saída de substâncias da célula.

Para a maioria das substâncias existe uma relação direta entre sua solubilidade nos lipídios e sua capacidade de penetração nas células. Substâncias apolares, solúveis nos lipídios, atravessam facilmente a membrana. Por outro lado, substâncias polares, insolúveis em lipídios, têm maior dificuldade para penetrar nas células. A configuração molecular poderá possibilitar a existência de um transportador, como o transporte ativo e a difusão facilitada.

Podemos classificar o trânsito através da membrana em **permeabilidade seletiva** e **transporte em quantidade**.

### Permeabilidade Seletiva

A água transita livremente através da membrana, enquanto para outras substâncias a membrana permite ou não a passagem através de si. Assim, diz-se que a membrana plasmática é **permeável**, porém, **seletiva**.

Podemos classificar a permeabilidade seletiva em **transporte passivo (difusão, difusão facilitada e osmose)** e **transporte ativo**.

### Transporte passivo

Fala-se em transporte passivo quando **não há gasto de energia** por parte da célula, já que o deslocamento da substância ou íon ocorre **a favor de um gradiente químico (concentração) e/ou elétrico**.

#### a) Difusão simples

A difusão ocorre porque todas as partículas (átomos, moléculas, íons,...) estão em constante movimento e, por isso, tendem a se espalhar (difundir). Logicamente, você pode concluir que esse deslocamento se dá da região onde as partículas estiverem em maior quantidade (mais concentrado) para a região de menor quantidade (menor concentração).

Para que haja difusão célula-meio, em primeiro lugar a membrana deve ser permeável à substância e, em segundo lugar, deve ocorrer diferença de concentração entre o meio intra e extracelular.

Através da membrana plasmática ocorre difusão de pequenas moléculas como é o caso do oxigênio e do gás carbônico.

A difusão do oxigênio acontece porque sua concentração é maior fora do que dentro da célula. O meio mais concentrado é chamado **hipertônico** e o menos concentrado é dito **hipotônico**. O objetivo de todo trânsito através da membrana é a **isotonia** (deixar os dois meios com a mesma concentração). Como a célula usa o oxigênio na respiração celular, a concentração do mesmo diminui dentro da célula e, assim, por difusão passa do meio extracelular para o intracelular. O gás carbônico, como produto final da respiração celular, tem sua concentração sempre aumentada dentro da célula. Logo, por difusão ganha o meio extracelular.

A difusão é um processo físico natural e contínuo, por isso chamada **difusão simples**. Somente seria interrompida se a isotonia fosse alcançada.

#### b) Difusão facilitada

A difusão facilitada é uma forma de acelerar a difusão. Ela ocorreria da mesma forma, só que mais lentamente.

Ela é importante para moléculas maiores como glicose e aminoácidos, mas também para certos íons como o  $\text{Cl}^-$ , o  $\text{Na}^+$  e o  $\text{K}^+$ .

As proteínas relacionadas com a difusão facilitada são enzimas ditas **permeases** que, na verdade, são proteínas integrais da membrana. Essas proteínas possuem sítios específicos para certas moléculas ou classes de compostos químicos, acelerando, assim, a difusão.

#### c) Osmose

Observe que quando falamos em difusão, seja ela simples ou facilitada, ocorre trânsito através da membrana de soluto. Desta forma, o soluto trafega do meio hipertônico para o hipotônico.

A osmose é um tipo especial de difusão na qual quem transita pela membrana é o **solvente** (entenda-se a água, solvente universal). Assim, durante a osmose o solvente transita do meio **hipotônico** para o **hipertônico**. O objetivo é o mesmo da difusão, atingir uma **isotonia**.

A osmose é um dos fenômenos mais importantes da biologia.

Por exemplo, se colocássemos uma célula em água pura, ela absorveria água sem controle e incharia até estourar. Ao contrário se fosse mergulhada numa solução altamente salina, ela perderia água e murcharia. As células do nosso corpo estão em contato com um líquido isotônico originário do sangue, onde a concentração equivale

à concentração do citoplasma. Logo, em condições normais, as nossas células não sofrem alterações devidas à osmose.

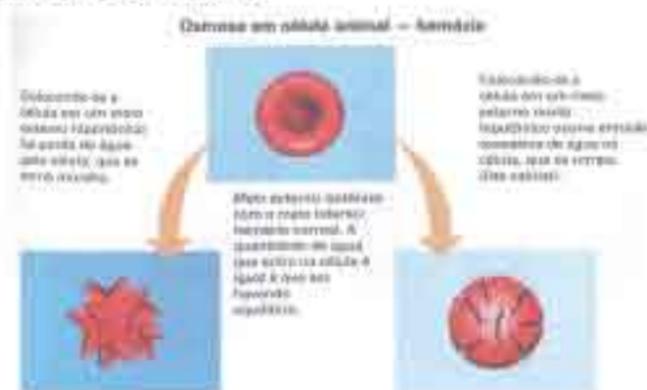
### Construa um osmômetro

Coloque uma solução de água e sacarose (açúcar de cozinha) dentro de um tubo de vidro com um saco de material semipermeável (deixa-se atravessar apenas pela água) amarrado em uma das extremidades. Mergulhe o conjunto num copo com água pura. Após algum tempo verifique como o nível da água sobe dentro do tubo, comprovando a passagem da água do copo para o conjunto do tubo com a membrana semipermeável.

### Osmose e célula animal

Se você mergulhar eritrócitos humanos em uma solução hipertônica, após meia hora, observa-se ao Microscópio Óptico que eles ficam enrugados. Isto ocorreu porque os eritrócitos perdem água para o meio que é hipertônico, fenômeno dito **crenação**.

Ao contrário, se você mergulhar eritrócitos em um meio hipotônico, após meia hora estarão arrebentados. Como a concentração do meio era menor a água penetrou em grande quantidade na célula, provocando o seu estouro, fenômeno chamado **hemólise**.



Agora responda, por que um naufrago não deve, mesmo com sede, beber a água do mar? Qual o princípio que permite a preservação da carne seca (de sol ou charque)?

### Células vegetais e osmose

Na célula vegetal a regulação da entrada de água está relacionada à existência do **vacúolo de suco celular**.

Numa célula vegetal adulta, o vacúolo é uma grande bolsa que preenche praticamente todo o espaço da célula. O vacúolo contém uma solução formada por água e muitas outras substâncias como sais minerais, açúcares, ácidos orgânicos, por exemplo. Chamamos **tonoplasto** à membrana do vacúolo, que é uma membrana lipoprotéica como todas as outras membranas celulares.

Quanto maior a concentração do suco vacuolar, maior será a sua pressão osmótica e

maior será a tendência de a água penetrar na célula.

Você também já sabe que se a célula estiver em meio hipertônico, perderá água e ficará murcha, fenômeno chamado na célula vegetal de **plasmólise**, ocasião em que ocorre separação da membrana plasmática da parede celular.



Se você colocar uma célula vegetal plasmolisada num meio com água pura, ou de pequena concentração, ela volta a ficar túrgida, fenômeno denominado **desplasmólise**.

Se o meio for muito hipotônico a célula vegetal fica **túrgida**, porém, não sofre lise celular devido à resistência da parede celulósica.

### Transporte ativo

As células apresentam necessidades diferentes em relação às moléculas as mais diversas. Por exemplo, o potássio que participa de inúmeras reações intracelulares (síntese de proteínas e participa de algumas etapas da respiração celular) deve ser mantido no interior da célula com uma concentração cerca de dez vezes maior do que no meio extracelular. Já o sódio, para que seja mantida a diferença de potencial da membrana (principalmente células nervosas e musculares) e para compensar a grande quantidade de potássio no interior da célula (compensação osmótica), deve existir numa concentração cerca de 10 a 15 vezes maior no meio extracelular que dentro da célula.

### Bomba $Na^+ - K^+$

Por um processo de difusão simples, objetivando a isotonia, os íons potássio fluem para o meio extracelular, enquanto os íons sódio migram para o meio intracelular.

Para manter as concentrações desejadas de ambos os íons, portanto, as células têm muito trabalho. A célula faz uso de proteínas integrais da membrana, chamadas carreadoras que funcionam como verdadeiras bombas iônicas, transportando continuamente íons sódio para fora da célula, contra um gradiente de concentração e elétrico. Já no meio extracelular essas proteínas carreadoras capturam potássio e, contra um gradiente de concentração, devolvem-no para o meio

intracelular. Observe que esse trânsito ocorre contra um gradiente. Para que ocorra, a célula tem um grande gasto energético a partir da degradação de **ATP** ( **adenosina trifosfatada**) em **ADP** ( **adenosina difosfatada**). Por ocorrer um investimento energético pela célula, a bomba sódio-potássio é um exemplo de transporte ativo.

Para cada três íons  $\text{Na}^+$  bombeados para fora da célula são bombeados dois íons  $\text{K}^+$  para dentro da célula, assim ocorre uma relação Na:K de 3:2. Razão esta que mantém a diferença de potencial da membrana (positiva na face em contato junto ao meio ambiente da célula e negativa na face em contato com o citoplasma).

### **TRANSITO ATRAVÉS DA MEMBRANA – TRANSPORTE EM QUANTIDADE**

Como vimos anteriormente, pequenas moléculas e íons transitam pela membrana ou por transporte passivo ou por transporte ativo.

Como partículas maiores não podem simplesmente atravessar a membrana plasmática, por outro lado, são incorporadas por um processo chamado **endocitose**, ou eliminadas através da **exocitose**.

#### **Endocitose**

É uma forma de transferência em bloco, para o interior da célula, de grande quantidade de moléculas e até de partículas bem maiores, como as bactérias.

Neste processo a membrana plasmática participa ativamente, considerando que a mesma envolve o material que está sendo englobado e, junto a ele, é transferida para o interior da célula.

As formas mais comuns de endocitose são: fagocitose e pinocitose.

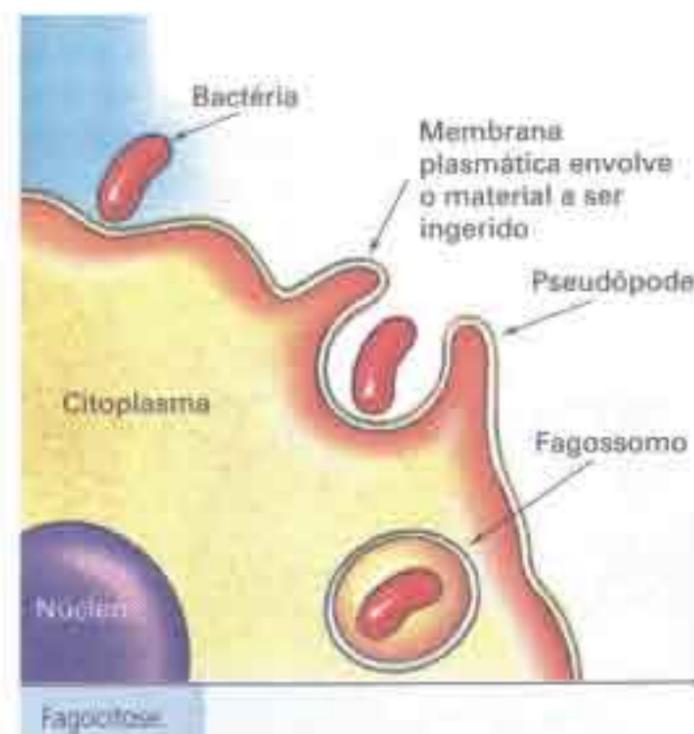
#### **a) fagocitose**

Nome dado ao processo pelo qual a célula engloba **partículas sólidas**, graças a formação de **pseudópodos**. Processo visível ao microscópio óptico.

A fagocitose apresenta uma importância muito grande para os organismos vivos. Muitos protozoários dependem diretamente da fagocitose para que possam se alimentar. Nos animais, como nós, a fagocitose está vinculada ao mecanismo de limpeza e defesa, onde, através de células

especializadas (células fagocitárias) há o englobamento e a destruição de substâncias inertes e microorganismos invasores.

Os prolongamentos da membrana, que formam os pseudópodos, ao englobar as partículas sólidas originam uma vesícula chamada **fagossomo**, que fica no citoplasma. Cada fagossomo se liga a um ou mais lisossomos para formar o **vacúolo digestivo**, local onde é processada a digestão do material fagocitado. O que servir atravessa a membrana e é incorporado ao citoplasma e os restos são eliminados através de um **vacúolo residual**.

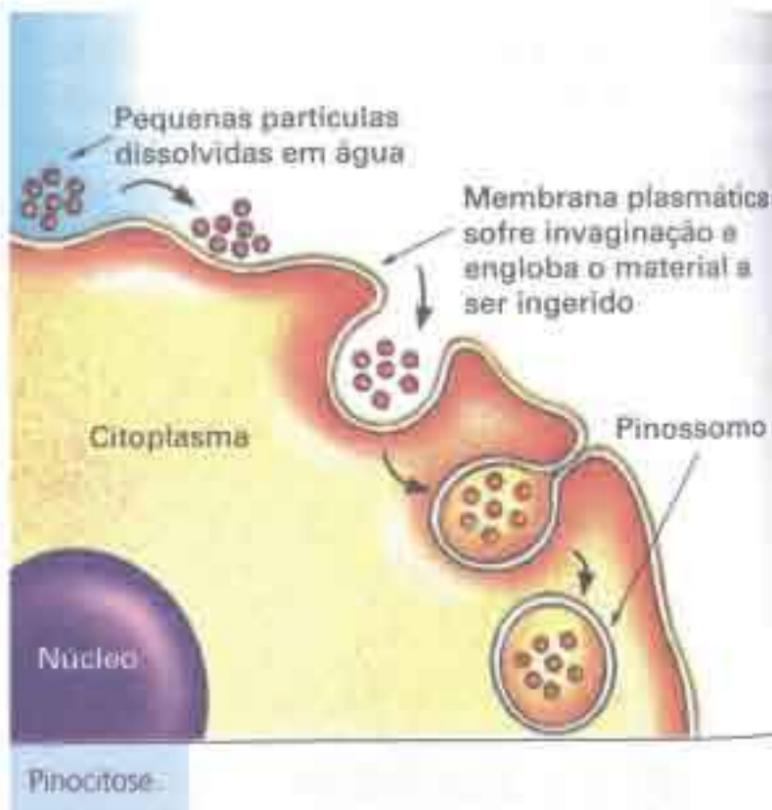


#### **b) pinocitose**

Enquanto a fagocitose é realizada por células especializadas, a pinocitose ocorre praticamente em todas as células.

A pinocitose consiste no englobamento de **partículas líquidas**, formando, no interior das células, pequenas vesículas denominadas **pinossomas**. O processo de digestão é semelhante ao da fagocitose. Como as vesículas formadas são grandes e visíveis ao Microscópio Óptico, modernamente, a pinocitose tem sido chamada de **macropinocitose**, para diferenciar da **micropinocitose**, onde são formadas vesículas somente visíveis ao Microscópio Eletrônico.

Normalmente, a pinocitose é utilizada para o englobamento de alimentos (por exemplo, gotículas de lipídios pelas células do epitélio do intestino delgado de mamíferos) mas, por vezes, pode englobar patógenos, como por exemplo, vírus.



### Exocitose

Exocitose ou **clasmocitose** é o processo pelo qual são eliminados da célula os resíduos da digestão do material fagocitado ou pinocitado.

Consiste também no mecanismo utilizado por células secretoras para eliminar seu produto que atuará em diversos locais do nosso organismo. As células glandulares armazenam seu produto de secreção em vesículas que serão eliminadas das células por exocitose.

## AULA Nº 07

### ESTUDO DO CITOPLASMA - CITOSOL

Uma diferença evolutiva marcante entre uma célula procarionte e uma eucarionte, consiste na quantidade de membranas presentes: enquanto a célula procarionte é pobre em membranas, a célula eucarionte é rica em membranas. Assim, quanto mais desenvolvida for uma célula mais membranas terá, ou seja, mais compartimentalizada será. As membranas delimitam compartimentos, as **organelas citoplasmáticas**, contendo enzimas específicas, logo, cumprindo funções particulares.

Devemos, pois, diferenciar o citoplasma de uma célula procarionte e uma eucarionte.

#### *Citoplasma de uma célula procarionte*

O citoplasma das células procariontes é simples e compreende todo espaço delimitado pela membrana plasmática. Constitui-se de uma matriz amorfa, água com moléculas e íons dissolvidos. Como há grande pobreza de membranas não há organelas, exceto os **ribossomos**, que não são envoltos por membrana.

Essa **matriz citoplasmática** contém os ribossomos, constituídos de RNAr (ácido ribonucléico ribossômico) associado à proteínas, sendo responsáveis pela síntese de proteínas, e, uma molécula de DNA (ácido desoxirribonucléico) circular, seu material genético, numa região denominada **nucleóide**.

As demais funções metabólicas dependem de enzimas associadas à membrana.

#### *Citoplasma de uma célula eucarionte*

Compreende toda região entre a membrana plasmática e a membrana nuclear.

O citoplasma está constituído de três compartimentos básicos: o **citosol** que corresponde a um plasma, correspondendo a um meio de sustentação para as demais estruturas; **estruturas não membranosas**, como o citoesqueleto, os ribossomos e as inclusões; e, finalmente, as **estruturas membranosas** ou **organelas citoplasmáticas**, como retículo endoplasmático, o golgiossomo, os lisossomos, os peroxissomos, os gliossomos, as mitocôndrias, os cloroplastos e os vacúolos.

#### **CITOSOL**

Também chamado **matriz citoplasmática, citoplasma básico, hialoplasma, citoplasma fundamental**.

Constitui-se basicamente de água, íons, uma solução com pequenas moléculas orgânicas (glicose, aminoácidos, etc.), e por macromoléculas orgânicas (proteínas, polissacarídeos e polinucleotídeos). Corresponde a 55% do volume celular total.

O citosol é a sede da maioria das reações químicas vitais como também representa o local de armazenagem de substâncias de reserva de células animais, como glicogênio e gorduras.

Físico-quimicamente o citosol é de natureza **coloidal**, proteína em água, ou seja, de consistência gelatinosa. As partículas de soluto chamadas **micelas**, num **colóide**, apresentam dimensões variando entre 0,1 e 0,001 micrômetros de diâmetro. As micelas se mantêm em constante e errático movimento, o **movimento browniano**, graças à repulsão entre as mesmas em função de suas cargas elétricas. Fenômeno este responsável pela estabilidade das soluções coloidais, evitando a precipitação espontânea de suas partículas. Quando as micelas estiverem bem separadas pelas moléculas de água, diz-se que está no estado **sol**; caso as micelas estejam próximas, agrupar-se-ão formando um retículo com consistência gelatinosa, estado **gel**. O colóide transita entre o estado gel e o estado sol, fenômeno chamado **tixotropia**. A parte periférica do citoplasma é mais viscosa lembrando uma gelatina mole, estado **gel**, acompanha a membrana, sendo chamada **ectoplasma**. Já a região central é mais fluida e contém todas as organelas citoplasmáticas, estado **sol**, sendo dita **endoplasma**.

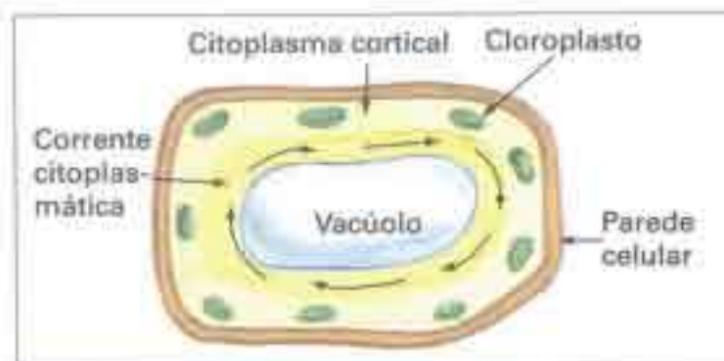
#### **Movimentos citoplasmáticos**

##### **1. Ciclose**

Denominação dada ao contínuo movimento do citosol, resultante da contração ritmada dos microfilamentos.

A velocidade da corrente gerada pela ciclose aumenta com a elevação da temperatura e diminui em baixas temperaturas, na presença de anestésicos ou na falta de oxigênio.

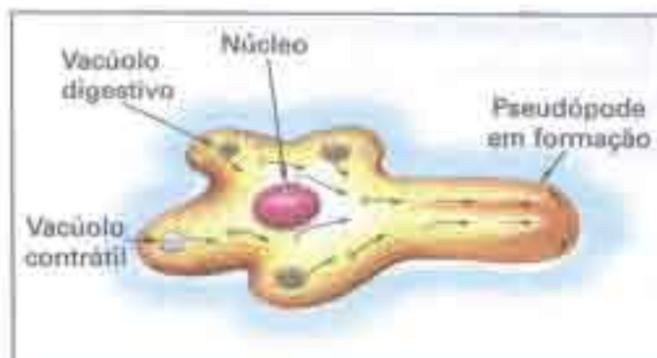
A ciclose é evidente em células vegetais considerando que o espaço ocupado pelo citoplasma é bastante restrito, situa-se entre o vacúolo de suco celular e a membrana plasmática. Você pode observar a ciclose, ao microscópio comum, na folha de uma planta aquática chamada elódea. Nas células animais o movimento nem sempre é contínuo e orientado.



Esquema de ciclose em célula vegetal.

## 2. Movimentos amebóides

• Movimento gerado pela emissão de **pseudópodos**. Ocorre em alguns protozoários (amebas) e em algumas células de pluricelulares (células de defesa, por exemplo).



Esquema de formação de pseudópode. As setas de dentro da célula indicam o sentido das correntes citoplasmáticas. Estruturas celulares como núcleo e vacúolos são arrastadas por essas correntes.

### Citoesqueleto

O citoesqueleto é responsável pela manutenção da forma da célula, pela ciclose, pelos movimentos celulares (movimento amebóide, contração muscular, deslocamento dos cromossomos durante a divisão celular), pela organização das organelas membranosas.

O citoesqueleto é constituído por **microfilamentos**, **filamentos intermediários** e **microtúbulos**, polímeros de proteínas globulares.

**a) microfilamentos** – são estruturas formadas por uma proteína chamada **actina**, com cerca de 7nm de diâmetro, podendo existir como simples filamentos, formando feixes ou

redes. A actina polimeriza-se para formar os microfilamentos que terão a estrutura de uma dupla-hélice. O processo de polimerização, no entanto, é reversível. Funcionalmente apresentam dois papéis básicos: **promovem a contração total ou parcial da célula e estabilizam a forma da célula**. Normalmente, as fitas de actina interagem com fitas de outras proteínas, como a miosina, por exemplo (no processo de contração da fibra muscular). Os microfilamentos também atuam para promover o “estragulamento” das células animais durante a divisão celular, formação de pseudópodos e como base de sustentação dos microvilos das células intestinais.

**b) filamentos intermediários** – são constituídos de proteínas fibrosas organizadas de forma a lembrar as tranças de uma corda, com 8 a 12nm de diâmetro. Assumem papéis estruturais: **estabilidade da estrutura celular e resistência à tensão**. São encontrados apenas em organismos pluricelulares. Participam, por exemplo, da formação dos desmossomos, conferindo-lhes resistência.

**c) microtúbulos** – são polímeros de estruturas protéicas globulares dispostas em hélice, lembrando um canudinho de refrigerante, com um vão central, com 18 a 25nm de diâmetro. São constituídos por uma proteína chamada **tubulina**. São duas as suas funções básicas: **formam um esqueleto rígido (principalmente nas projeções celulares) e atuam como base para que proteínas motoras possam mover estruturas celulares**. São responsáveis, por exemplo, pelo movimento de cílios e flagelos, pela formação do fuso mitótico (orienta o deslocamento dos cromossomos) e dos centríolos.

### Estruturas Citoplasmáticas – Ribossomos, Reticulo Endoplasmático e Golgiossomo

#### Ribossomos

##### Estrutura:

São estruturas não membranosas presentes em todas as células.

Nas células procariontes, mitocôndrias e plastos, os ribossomos são do tipo “70S” (S = coeficiente de sedimentação), e nas células eucariontes, do tipo “80S”.

São visíveis apenas ao microscópio eletrônico. Estruturalmente apresentam duas subunidades, uma menor e outra maior, que se unem no início da síntese protéica.

### Função:

Os ribossomos são responsáveis pela **síntese protéica**.

### Constituição química:

São formados por moléculas de ribonucleoproteínas, ou seja, RNAr (ácido ribonucléico ribossômico – cerca de 60% da massa do ribossomo) associado à proteínas (cerca de cinquenta tipos).

Os ribossomos diferem quanto ao tamanho e composição química nas células eucariontes (onde costumam ser maiores) e nas células procariontes. Diferenças estas exploradas com sucesso pela medicina. Antibióticos como a tetraciclina e a estreptomicina inibem a ação dos ribossomos bacterianos, sem, no entanto, interferirem na ação dos ribossomos das células eucariontes.

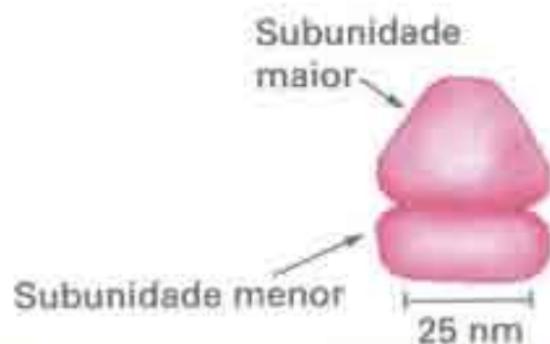
### Características:

Os ribossomos podem ser encontrados de duas formas:

- livres no citosol**, formando conjuntos de 4 a 40 unidades, ligados por uma fita de RNAm (mensageiro) constituindo os **polisomos** ou **polirribossomos livres**, ocasião em que sintetizam proteínas para uso interno da célula;
- associados às membranas do R.E. (constituindo o retículo endoplasmático rugoso) e da membrana nuclear. Os polirribossomos aderidos ao R.E.G. produzem proteínas de “exportação”, ou seja, que serão secretadas pela célula.

### Origem:

Os ribossomos são originados a partir do nucléolo.



Esquema simplificado de ribossomo.

## Retículo Endoplasmático

### Estrutura:

Consiste num conjunto de canais, vesículas e cisternas, lipoprotéicas, interconectadas, formando uma rede membranosa no interior do citosol. Muda de forma conforme o estado funcional da célula.

### Funções:

Genericamente podemos falar em síntese, transporte e armazenamento de substâncias.

### Tipos:

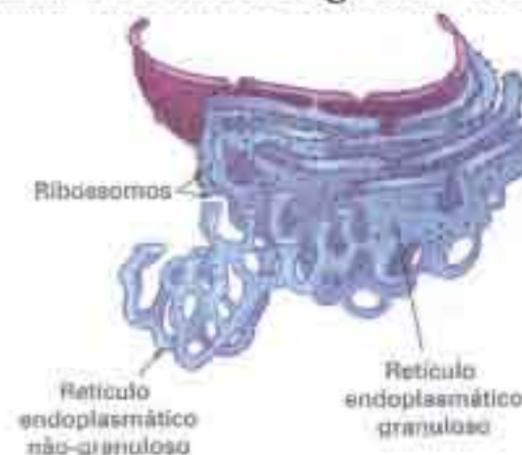
#### a) Retículo Endoplasmático rugoso (R.E.R.) ou granular (R.E.G.) ou ergastoplasma

Assim é denominado o retículo endoplasmático que contém ribossomos (grânulos) aderidos à face externa de sua membrana. É formado por tubos e vesículas achatadas.

Sintetiza proteínas de “exportação” (para serem secretadas e usadas fora da célula) e as enzimas dos lisossomos e do acrossoma do espermatozóide.

As proteínas produzidas no R.E.R. são transferidas para o Golgi a fim de serem empacotadas e secretadas.

Nos neurônios, o ergastoplasma é denominado **substância tigróide** ou de **Nissl**.



#### b) Retículo Endoplasmático Liso (R.E.L.) ou Agranular (R. E. A.)

Sem ribossomos aderidos às suas membranas. Apresenta-se formado por túbulos cilíndricos.

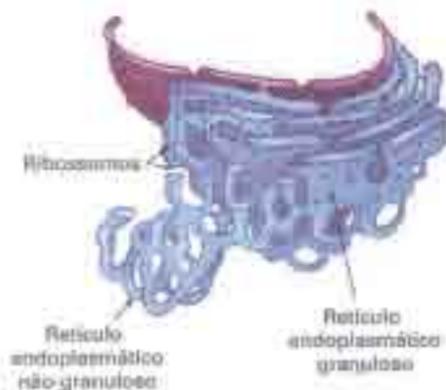
Apresenta como função a **síntese de lipídios** (lecitina e colesterol, por exemplo), **síntese de hormônios esteróides** (hormônios sexuais, testosterona e estrógeno, produzidos nas gônadas), **armazenamento de cálcio** (em células musculares), **eliminação de substâncias estranhas** (trabalho de desintoxicação realizado pelas células do fígado, o que pode gerar tolerância à diversas drogas).

### Origem;

O retículo endoplasmático é formado a partir de invaginações da membrana plasmática, e, por sua vez, origina o envoltório nuclear.

### Conexão:

Os dois tipos de retículo endoplasmático estão conectados entre si, sendo possível a ocorrência de transporte de substâncias entre os mesmos.



### Golgiossomo (complexo de Golgi)

#### Estrutura:

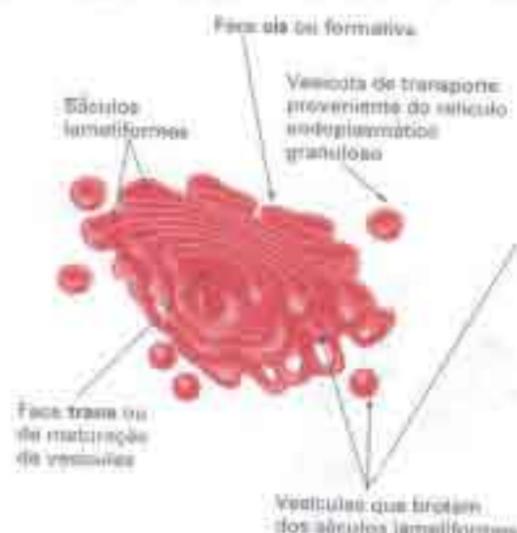
Constituído por vários conjuntos interligados de sáculos achatados (como fossem cinco ou mais discos de "pizza" empilhados), chamados **dictiossomos** ou **golgiossomos**, normalmente localizados próximos ao núcleo e ao retículo endoplasmático.

#### Funções:

Dentre as suas funções estão o **armazenamento** e o **"empacotamento"** de **proteínas**, **formação do acrossomo dos espermatozoides**, **formação da lamela média em células vegetais**, **formação dos lisossomos primários**, **introdução de radicais glicídicos às proteínas - glicosilação** (produz glicoproteínas) e **formação de glicolipídios** (glicosilação), **síntese de polissacarídeos** (pectina) e **secreção celular** (forma os grânulos de extrusão)

#### Visibilidade e ocorrência

Visível aos microscópios óptico e eletrônico, ocorre em todas as células eucariontes.



### Lisossomos

#### Estrutura:

São vesículas citoplasmáticas de tamanho variado, geralmente arredondadas, repletas de enzimas **hidrolíticas** (são conhecidas em torno de 50 tipos de hidrolases com potencialidade para digerir a maior parte dos compostos orgânicos), revestidas por membrana lipoprotéica.

#### Origem:

São formados pelo Golgiossomo. Suas enzimas são produzidas pelo R.E.G. e conduzidas para o Complexo de Golgi, onde são envelopadas (envoltas por membrana) para formar os lisossomos primários.

#### Função:

Relacionam-se ao processo de digestão intracelular.

Se o material a ser digerido for de origem exógena (fagocitado ou pinocitado do meio externo), a digestão será dita **heterofagia**; se, ao contrário, for de origem endógena (da própria célula), fala-se em **autofagia** (ocorre com organelas como as mitocôndrias ou os cloroplastos, ou, ainda, com os grânulos de secreção).

O processo de autofagia é indispensável para a sobrevivência da célula. Através deste processo a célula é capaz de destruir e reconstruir os seus constituintes, garantindo uma renovação de suas estruturas. Por outro lado, uma vez o organismo privado de alimento, tendo esgotadas suas reservas energéticas, como estratégia de sobrevivência as células digerem partes de si mesmas. Portanto, a autofagia exerce função puramente alimentar, ou de limpeza e renovação celular.

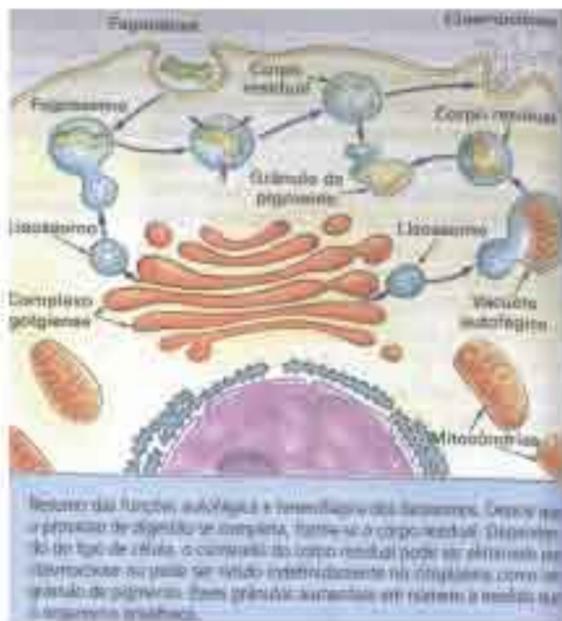
Caso os lisossomos destruam a própria célula, como ocorre na regressão da cauda do girino ou na transformação de eritroblastos em eritrócitos ou, ainda, em casos como a artrite reumática e a silicose, a autofagia é denominada **autólise**.

#### Processo heterofágico

- Incorporação de substâncias por fagocitose e/ou pinocitose, com formação de vesículas, os fagossomos e os pinossomos, respectivamente.
- Fusão de um ou mais lisossomos primários com o fagossomo ou o pinossomo, que entra em atividade digestiva, sendo agora chamado lisossomo secundário ou vacúolo digestivo;
- Uma vez processada a digestão, as substâncias úteis atravessam a membrana do lisossomo, tornando-se disponíveis no citosol;
- Os resíduos da digestão permanecem num vacúolo dito **vacúolo** ou **corpo residual**;

L1 + fagossomo ou pinossomo → L2 ou vacúolo → corpo residual.   
 pinossomo digestivo

- Em algumas células (protozoários e leucócitos) o corpo residual se funde com a membrana plasmática e os restos são eliminados por **exocitose** ou **clasmatose** (fenômeno chamado de egestão ou defecação celular);
- Em muitas células de metazoários há acúmulo de corpos residuais no interior do citoplasma. Em células como os neurônios, hepatócitos e fibras cardíacas, vários corpos residuais se fundem, originando vesículas maiores que acumulam lipídios, sendo ditos **grânulos de lipofuscina**;
- Em organismos como os protozoários, a heterofagia é a forma de nutrição, enquanto nos metazoários, serve, principalmente, como mecanismo de defesa (atuação dos macrófagos, por exemplo).



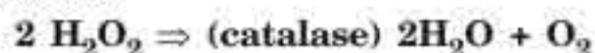
## PEROXISSOMOS

### Estrutura:

São estruturas membranosas, arredondadas e de diâmetro variável (algo entre 0,15 e 0,7 micrômetros), presentes em todas as células eucariontes.

### Funções:

A principal função consiste no desdobramento do peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$  - água oxigenada), daí o nome peroxissomo, composto este formado em várias reações bioquímicas celulares (por exemplo, durante a degradação de gorduras e aminoácidos). Como é extremamente tóxico, deve ser decomposto. A reação de decomposição ocorre na presença de uma enzima chamada **catalase**, contida nos peroxissomos.



O borbulhamento que você observa quando aplica água oxigenada sobre um ferimento, resulta da ação da catalase e da liberação do gás oxigênio. O objetivo é causar a morte das bactérias patogênicas, estritamente anaeróbias.

Outras funções incluem a quebra de ácidos graxos, disponibilizando-os para o metabolismo celular, e, a desintoxicação orgânica feita, por exemplo, pelos peroxissomos dos hepatócitos que metabolizam o etanol (álcool presente nas bebidas alcoólicas) em substâncias menos agressivas (mais ou menos, 25% do álcool ingerido, é pelos peroxissomos degradado, sendo, o restante, degradado pelo R.E.L.).

## GLIOXISSOMOS

### Ocorrência:

Em protozoários, fungos e células das plantas. Para muitos autores os glioxissomos representam um tipo de peroxissomos.

### Função:

Os glioxissomos contêm enzimas responsáveis pela conversão de lipídios em açúcares, que serão aproveitados como fonte energética (fato que ocorre, por exemplo, nas sementes).

## CENTRÍOLOS

### Ocorrência:

Em células de protistas, animais e de vegetais inferiores. Estão ausentes nas células de vegetais superiores.

### Localização:

Em células animais, normalmente, há um par de centríolos (**diplossomos**) perpendiculares entre si e próximos do núcleo.

### Ultraestrutura

Cada centríolo é um cilindro constituído por nove conjuntos de três microtúbulos periféricos, sem o par central, com diâmetro em torno de 150nm .

### Função:

Forma os cílios e os flagelos (corpo basal) e orientam a formação do fuso acromático durante a divisão celular.

### Origem:

Os centríolos são formados a partir de centríolos pré-existentes (possuem autoduplicação independente).

## PLASTOS

São organelas citoplasmáticas de células vegetais e de algas. Apresentam uma forma discoidal e o seu tamanho varia de célula para célula. Os plastos são visíveis ao M.O., sem a necessidade do emprego de corantes.

### Classificação

Em função da coloração os plastos são divididos em: **leucoplastos** e **cromoplastos**.

#### 1. Leucoplastos:

São plastos incolores caracterizados pelo acúmulo de substâncias de reserva.

- a) **amiloplastos** – acumulam amido ( mais comuns em raízes e caules tuberosos, como no caso da batata);
- b) **proteoplastos** – armazenam proteínas, como na semente da mamoneira;
- c) **oleoplastos** – acumulam lipídios, como na epiderme das orquídeas.

#### 2. Cromoplastos

São plastos que acumulam pigmentos, logo coloridos, e realizam fotossíntese. Os pigmentos mais importantes são os **carotenóides** e a **clorofila**.

- **Carotenóides:** apresentam coloração amarelada, alaranjada ou vermelha. Os carotenos, por exemplo, apresentam cor alaranjada ou vermelha (o -caroteno é precursor da vitamina A). As xantofilas são amareladas.
- **Clorofila:** As clorofilas são os mais importantes pigmentos. Aproveitam a energia luminosa do sol, o que é imprescindível para a realização da fotossíntese. A clorofila A tem cor verde-azulada, com fórmula  $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$ ; já a clorofila B apresenta cor verde-amarelada e fórmula  $C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$ .

Você pode constatar, como curiosidade, que a molécula de clorofila é quimicamente semelhante à molécula de hemoglobina. Diferem em relação ao átomo central: na clorofila é o magnésio enquanto na hemoglobina é o ferro.

Em função da coloração os plastos podem ser classificados como:

- a) **eritoplastos** - com predomínio de carotenos, sendo plastos vermelhos;

- b) **xantoplastos** – com predomínio de xantofilas, sendo amarelos;

- c) **cloroplastos** – são verdes, com predomínio das clorofilas.

### Origem

Os plastos são formados a partir de plastos pré-existentes, já que possuem a capacidade de autoduplicação.

Quando uma célula se divide, as duas células-filhas ficam com mais ou menos metade dos cloroplastos da original. Enquanto as células jovens crescem, os plastos sofrem autoduplicação e restabelecem o número original.

Considere-se ainda que um plasto pode se transformar em outro. Os plastos são formados a partir de diminutas bolsas incolores presentes nas células embrionárias, os **proplastos**.

### Cloroplastos

São os plastos de maior importância biológica e também os mais freqüentes. Os cloroplastos mais comuns têm forma de um disco achatado, com comprimento variando entre 3 e 10  $\mu m$  e espessura entre 1 e 4  $\mu m$ .

### Ocorrência:

Em alguns protistas e no reino Plantae. Localizam-se nas células das partes verdes dos vegetais, expostas à luz, principalmente nas folhas.

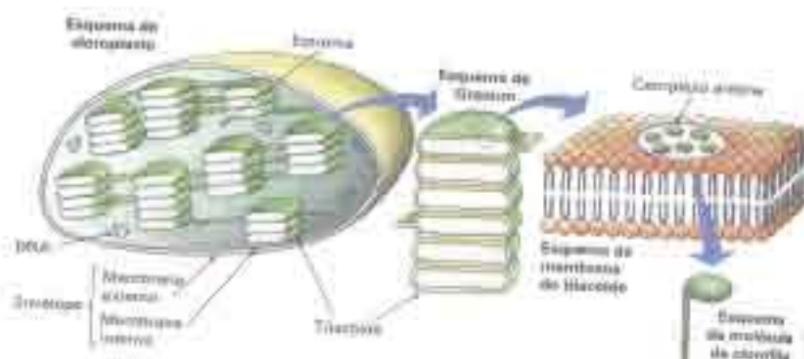
- a) **algas** – forma variada, grandes, um ou dois por célula.
- b) **vegetais superiores** – podem ser esféricos, ovóides discoidais ou em forma de clava. O número é constante para cada tipo celular, podendo variar conforme as necessidades (em média há cerca de 50 por célula; na mamona calculou-se que há 400.000 cloroplastos por  $mm^2$  de superfície de folha; uma árvore média pode conter  $10^{14}$  cloroplastos), imersos no citosol. A disposição na célula pode variar em função da luz solar. Por exemplo, nas folhas de vegetais superiores, com luz solar muito intensa, os cloroplastos ficam dispostos paralelamente à membrana lateral (considera-se também que são arrasados pela ciclose); a forma é variada (espiralados na alga *Spirogyra*; lenticulares nas células de vegetais superiores; duplo e de forma estrelada na alga *Zygnema*).

### Estrutura:

O Microscópio Óptico têm aspecto homogêneo.

Ao Microscópio Eletrônico podemos constatar:

- revestidos por uma dupla membrana lipoprotéica, com pequeno espaço entre elas. A membrana interna invagina e forma tipos de prateleiras, as **lamelas**;
- o espaço interno é preenchido por uma substância homogênea semelhante ao hialoplasma, de nome **estroma**. O estroma contém enzimas, DNA, RNA, ribossomos (semelhantes às bactérias).
- tilacóides** – vesículas membranosas achatadas, parecendo moedas, que contém as moléculas de clorofila. Os tilacóides aparecem empilhados em grupos (cada grupo chama **granum**), sendo o conjunto destes grupos chamado **grana** ( por exemplo, no espinafre há 40 a 60 granum por cloroplasto, com cerca de 0,5m cada um). Assim, cada granum é uma estrutura cilíndrica constituída por sacos membranosos duplos superpostos, os tilacóides. Na superfície interna da membrana do tilacóide há formações paracrystalinas de partículas medindo 200 X 100 ångstrons, denominadas **quantossomas**, dispostos como ladrilhos numa parede, sendo considerado a menor partícula fotosintética. Cada quantossoma contém cerca de 200 moléculas de clorofila, em grupos de 10 a 10 e associadas ao citocromo e moléculas aceptoras (setor relacionado à transformação da energia luminosa em química).



### Origem dos cloroplastos

Provavelmente foram originados a partir de uma simbiose entre células eucariontes primitivas e células procariontes. Acredita-se que os cloroplastos tenham se originado de algas azuis primitivas.

### Composição química

Em organelas separadas por ultracentrifugação foi encontrada a composição que segue: proteínas (60% do peso seco), lipídios (30% do peso seco), carboidratos, pigmentos (porfirínicos – clorofila [5% a 8% do peso seco] e carotenóides) e ácidos nucleicos.

### Mitocôndrias

São organelas, normalmente, em forma de bastonete, apresentando comprimento variando entre 1 e 4µm e diâmetro entre 0,2 a 1µm, estando presentes nas células eucariontes. São visíveis ao M.O. em células fixadas e ao vivo, empregando um corante vital chamado **verde janus**.

O número e a distribuição das mitocôndrias no citoplasma variam de acordo com a necessidade energética da célula. Por exemplo, enquanto há poucas mitocôndrias nos linfócitos, são encontradas muitas dezenas delas nas fibras musculares (grandes consumidoras de energia; num hepatócito pode haver cerca de 2.500 mitocôndrias – 22% de seu volume citoplasmático). Embora as mitocôndrias possam se deslocar no interior do citoplasma, geralmente, estão localizadas nos locais de maior consumo energético.

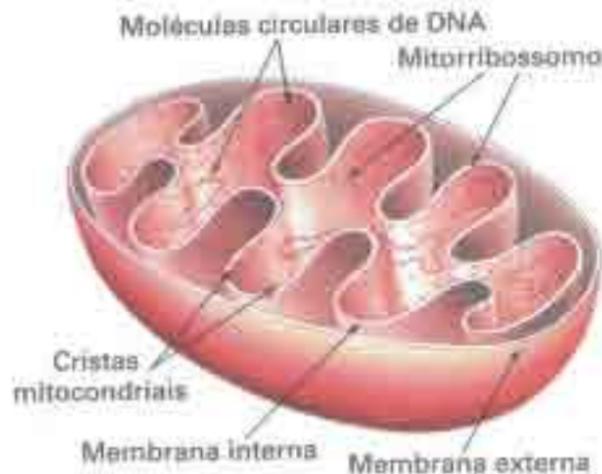
Chamamos **condrioma** ao conjunto de mitocôndrias de uma célula.

### Estrutura

As mitocôndrias apresentam a estrutura que segue:

- membrana** - possuem dupla membrana de revestimento, lipoprotéicas. A **externa** contém colesterol, é lisa e mais permeável; a **interna** não contém colesterol, apresenta invaginações ou **cristas mitocondriais** e é menos permeável. Entre ambas há um espaço intermembrana ou **câmara externa**, onde há acúmulo de prótons ( $H^+$ );
- cristas mitocondriais** – são dobras da membrana interna e se apresentam com número variável, dependendo do grau funcional da mitocôndria. Nas cristas estão as enzimas responsáveis pela etapa mais rica da respiração celular;
- corpos elementares** - partícula medindo entre 80 e 100 ångstrons e presas nas cristas mitocondriais, espaçadas 100 ångstrons umas das outras, semelhantes à raquete de tênis de campo presa pelo cabo; localizam-se nos corpos elementares as enzimas que permitem o acoplamento da energia liberada pelo sistema transportador de elétrons para a produção de ATP;

**d) matriz mitocondrial** – assemelha-se ao citosol e preenche o interior da mitocôndria. Na matriz são encontradas moléculas de **DNA, RNA** e os **mitorribossomos** (responsáveis pela produção de proteínas mitocondriais). O DNA mitocondrial apresenta forma esférica e é semelhante ao DNA bacteriano, estando preso à membrana interna. Na matriz mitocondrial estão as enzimas responsáveis pelo ciclo de Krebs e dos ácidos graxos.



Esquema de mitocôndria vista em corte.

### Origem

As mitocôndrias apresentam capacidade de autoduplicação, portanto, surgem de mitocôndrias pré-existentis.

Devido à semelhança morfo-química com as bactérias, provavelmente evoluíram a partir de bactérias aeróbicas. Como nos cloroplastos, invadiram células eucariontes e passaram a ter uma relação mutualística juntos às mesmas.

### Função

As mitocôndrias estão envolvidas com o metabolismo energético da célula, sendo responsáveis pelo processo da respiração celular (assunto que será tratado nos próximos capítulos).

### Composição química

Quimicamente podemos caracterizar as mitocôndrias como segue: água (em pouca quantidade), proteínas (em grande quantidade), lipídios (principalmente nas membranas), RNA (0,5% do peso seco), DNA, carboidratos, ADP, ATP, muitas enzimas (cerca de 70 diferentes), muitos íons (Mg, Ca, K, Na, Fe, Cl, P, S).

## VACÚOLOS

Os vacúolos são estruturas saculiformes presentes em muitos tipos celulares. Apresentam tamanho variado e estão revestidos por membrana

semelhante à membrana plasmática. Os tipos de vacúolos são: de **suco celular, digestivos** e **contráteis**.

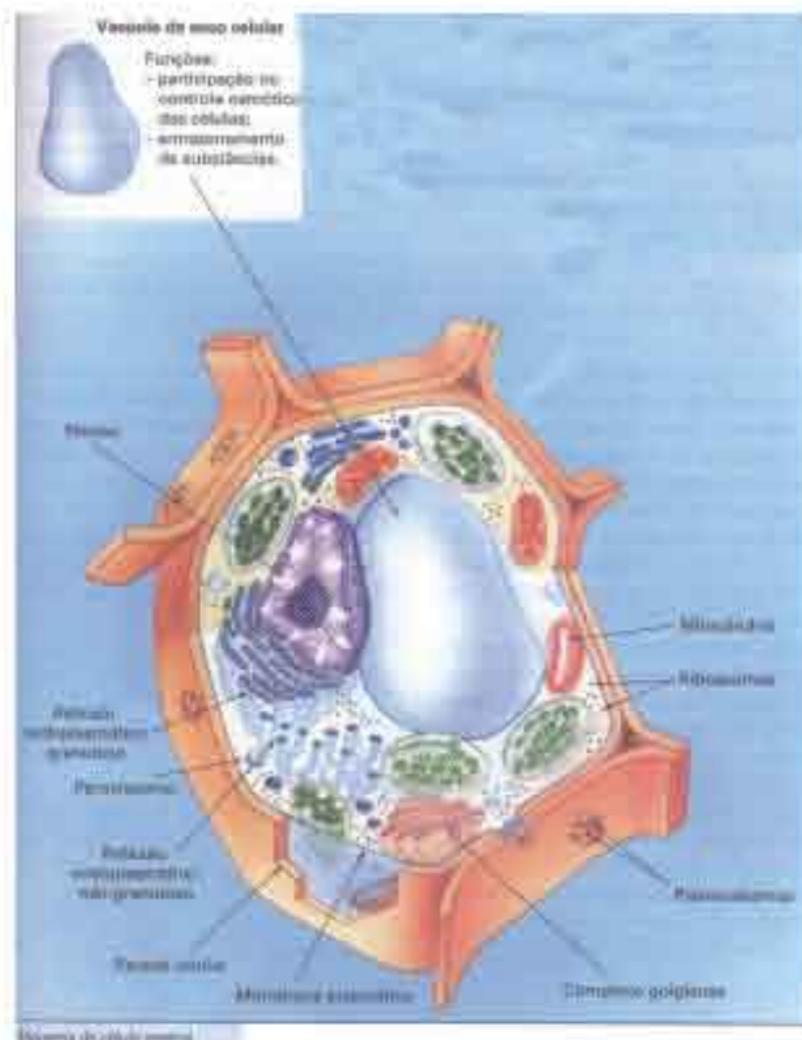
### 1. Vacúolo de suco celular:

Já foram estudados no capítulo que abordou osmose. São típicos de células vegetais. Aparecem em grande número e de pequeno tamanho nas células meristemáticas (embrionárias), ao contrário, nas células adultas o vacúolo é muito grande e ocupa quase a totalidade do espaço citoplasmático (às vezes até 95% do volume celular total).

Apresentam uma membrana lipoprotéica chamada **tonoplasto**.

Contém uma solução formada por água, sais, açúcares, certos pigmentos e outras substâncias orgânicas. São responsáveis pelo equilíbrio osmótico da célula vegetal.

Podemos resumir em duas as suas funções: **armazenamento** (água, íons, carboidratos, aminoácidos e proteínas – como nas sementes da ervilha e do feijão). Também podem armazenar substâncias indesejáveis para o citosol (por exemplo, o látex na seringueira). Podem, ainda, armazenar pigmentos (principais responsáveis pelas cores das flores e de algumas folhas); **preenchimento de espaço** – reduz o espaço do citosol o que facilita o intercâmbio da célula e a fixação da energia luminosa pelos cloroplastos.



Esquema de célula vegetal.

## 2. Vacúolo digestivo

Também já estudados. Resultam da fusão do fagossomo ou pinossomo com o lisossomo primário. Local onde ocorre a digestão intracelular.

## 3. Vacúolo pulsátil ou contrátil

Apresentam movimento de contração rítmica (daí o nome), de sistole e diástole.

Sua função é a eliminação do excesso de água da célula resultante do processo osmótico.

Típico de protozoários de água doce, seres hipertônicos em relação à água doce, razão pela qual entra, por osmose, uma grande quantidade de água na célula dos mesmos (o suficiente para que a membrana plasmática fosse rompida, não fora a presença do vacúolo pulsátil).

## Inclusões

As inclusões citoplasmáticas não representam estruturas ativas das células, mas, ao contrário, vesículas temporárias que armazenam substância de reserva importantes para o metabolismo celular, como grão de glicogênio e gotas de gordura.

**Glicogênio:** principal forma de reserva de glicose (o glicogênio é um biopolímero de glicose) das células animais e dos fungos. Alguns grânulos de glicogênio podem variar entre 10 e 40nm de diâmetro. Enzimas responsáveis pela glicogênese e glicogenólise ficam aderidas à superfície dos grânulos de glicogênio.

**Gotas lipídicas:** assim são armazenados os ácidos graxos. A gordura no citosol aglutina para formar grandes gotas que variam entre 0,2 e 0,5m (chegando nas células adiposas até 80m).

## AULA Nº 08

### ESTUDO DO NÚCLEO – NÚCLEO INTERFÁSICO

#### Introdução

O núcleo foi descrito em 1830 por Robert Brown (1773-1858). A presença do núcleo caracteriza as células eucariontes. Podemos dizer que o núcleo alberga o material genético (DNA) das células eucariontes. Assim, ele representa o centro regulador das atividades celulares. Logo, o citoplasma é o executor das ordens nucleares, viabilizando a estrutura célula em todas as suas funções vitais.

Não pense, no entanto, em algo unilateral. Há uma influência mútua entre o núcleo e o citoplasma. O citoplasma influencia decisivamente na ação nuclear que, por sua vez, orienta a ação citoplasmática. Gera-se assim um processo de interdependência vital que tem sido demonstrada por diversas experiências.

Experiências realizadas, por exemplo, por Balbiani, no final do século XIX, atestam essa interdependência. Cortando-se uma ameba em duas metades em que uma delas, apenas, contenha o núcleo. A metade nucleada continua como uma ameba normal em todos os seus aspectos. A metade anucleada, porém, acaba morrendo em alguns dias. Conclui-se que o núcleo não vive sem o citoplasma e o citoplasma não sobrevive sem o núcleo. Enxertando-se um núcleo no fragmento anucleado da ameba, por exemplo, este sobrevivia e conseguia se reproduzir. Esta experiência de Balbiani ficou conhecida como a **experiência da merotomia**.

Processos metabólicos importantes também ocorrem no núcleo, como a síntese de DNA, de RNA e a glicólise.

#### Forma

A forma do núcleo é bastante variada, dependendo do tipo celular. No entanto, a forma do núcleo, normalmente, acompanha a forma da célula. Habitualmente apresenta forma esférica. Células prismáticas possuem núcleo alongado e nas pavimentosas ele é achatado.



#### Número

Normalmente as células eucariontes possuem apenas um núcleo, sendo, portanto, uninucleadas. Entretanto, podem existir células com dois (Paramécio, hepatócitos e condrócitos de mamíferos) ou vários núcleos (fibra muscular estriada esquelética), sendo ditas, respectivamente, binucleadas e multinucleadas (plurinucleadas).

Muitos autores citam, ainda, as hemáceas de mamíferos como exemplo de células anucleadas. Não consiste num exemplo correto considerando se tratar de uma especialização celular que a condena, irremediavelmente, à morte. A célula precursora da hemácea se encontra na medula óssea (compartimento medular) e tem núcleo. Quando a hemácea amadurece e deve se deslocar para o compartimento sanguíneo o núcleo é expulso, sendo o espaço ocupado pela hemoglobina, facilitando o transporte de gases respiratórios. Estando a célula impossibilitada de repor enzimas pela falta de material genético, apresentará uma curta sobrevida. A hemácea vive de 90 a 120 dias. Confirma-se desta forma as experiências que atestam ser inviável a sobrevivência do núcleo sem o citoplasma e do citoplasma sem núcleo.

Observa-se ainda a ocorrência de massas multinucleadas formadas a partir de dois processos básicos: sincício e plasmódio. No sincício há a fusão de várias células uninucleadas que perdem suas membranas para formar uma massa multinucleada. Podemos citar como exemplo a fibra muscular estriada esquelética e no tecido ósseo, os osteoclastos. Já no plasmódio, ocorre intensa cariocinese em uma célula uninucleada sem haver, no entanto, citocinese. Assim resulta a massa multinucleada, como em protozoários esporozoários, caso do *Plasmodium sp*, causador da malária.



### Posição

Sua posição é variável, porém, característica para cada tipo celular. Por exemplo, em células embrionárias ocorre na região central. Nas células glandulares é basal, sendo periférico nas células adiposas, nas fibras musculares estriadas e nas células vegetais maduras.

### Tamanho

O tamanho é específico para cada tipo celular, logo, variável ao considerarmos todas as células. Está relacionado ao volume da célula, situação esta expressa pela **Relação Nucleoplasmática (RNP) ou Relação de Hertwig**:

$$RNP = \frac{\text{volume nuclear}}{\text{volume citoplasma} - \text{volume nuclear}}$$

Observa-se que esta relação é elevada na célula embrionária, diminuindo, porém, com o crescimento celular. Ao longo do desenvolvimento celular aumenta o volume citoplasmático enquanto o volume nuclear se mantém inalterado. O desequilíbrio atingido por esta relação, a partir de um determinado valor, representa um dos fatores mitóticos.

O tamanho médio, no entanto, varia entre 1 e 50 micrômetros. Há núcleos gigantes como o da oosfera das gimnospermas, em torno de 500 micrômetros, ou, muito pequenos, como o do protista *Micrococcus progrediens*, com cerca de 0,05 micrômetros.

### Estrutura nuclear

O ciclo de vida da célula apresenta-se dividido em dois momentos: ou a célula está em divisão celular (mitose ou meiose) ou não está em divisão, etapa chamada interfase. Durante a divisão celular o núcleo descaracteriza-se e os seus componentes desaparecem. Desta forma só poderemos determinar a estrutura nuclear durante a interfase. Por isso, sempre que se falar em componentes nucleares estará se falando nos componentes nucleares do núcleo interfásico.

Durante a interfase a atividade nuclear é máxima: há toda uma série de processos metabólicos fundamentais para o controle da

atividade celular como também a duplicação do DNA.

Observamos no núcleo interfásico quatro estruturas: **carioteca, nucleoplasma, nucléolo e cromatina**.

#### 1. carioteca ou membrana nuclear ou cariolema

A carioteca é formada a partir do retículo endoplasmático e tem por função conter o material genético. Como toda membrana celular é de natureza lipoprotéica (fosfolipídios e proteínas), apresenta-se dupla (com 9nm de espessura cada uma) e com numerosos poros (**annulli**), através dos quais ocorre todo o intercâmbio núcleo-citoplasma, sendo visível apenas ao microscópio eletrônico. Cada poro apresenta forma redonda ou hexagonal e diâmetro variando entre 40 e 100nm (normalmente em torno de 70nm). Em ovócitos de ouriço do mar, por exemplo, há de 40 a 80 poros por micrômetro quadrado. Calcula-se que a área coberta pelos poros representa de 1,2 a 25% de toda a área da carioteca.

A membrana externa, em contato com o hialoplasma apresenta ribossomos aderidos. O espaço entre as duas membranas é chamado **espaço perinuclear**, com dimensões entre 10 e 50 nanômetros. Este espaço apresenta conexões com as cisternas e canais do retículo endoplasmático. Razão pela qual, muitos citologistas consideram a carioteca uma especialização do próprio retículo endoplasmático.

Ao contrário da membrana plasmática a carioteca não apresenta regeneração, se lesada, extravasa o conteúdo nuclear e a célula morre.

#### 2. Nucleoplasma ou cariolina ou carioplasma

Apresenta-se como uma solução homogênea, viscosa, com pouca ou nenhuma afinidade por corantes, sendo o correspondente nuclear ao hialoplasma.

Forma a base onde estão mergulhados os componentes nucleares. Além de água, podemos observar na cariolina, proteínas globulares, fosfatídeos, várias enzimas como as da glicólise, DNA polimerase e RNA polimerase.

É a sede de muitas reações como a duplicação do DNA e a síntese do RNA.

### 3. Nucléolo

O nucléolo é uma estrutura normalmente esférica e muito eletrodensa, com cerca de 1 a 3 micrômetros de diâmetro. Verifica-se, normalmente, a presença de um nucléolo por núcleo, podendo **existir núcleos com dois ou mais nucléolos**.

Associa-se a uma região do cromossomo dita região organizadora nucleolar, local da síntese e armazenamento do RNAr (ribossômico). Posteriormente, este RNAr irá se associar à proteínas, migrar para o citoplasma e constituir os ribossomos.

Quimicamente, é constituído por RNA ribossômico, proteínas e fosfolípidos, com pequena quantidade de DNA. Desaparece no início da divisão celular para reaparecer na etapa final chamada telófase, sendo formado pelo cromossomo organizador de nucléolo.

Embora de ocorrência geral nas células eucariontes, não aparece nos espermatozoides e nem nas células embrionária antes do estágio de blástula.

Visíveis ao Microscópio Óptico, sendo corados com corantes ácidos. Pode haver a presença de falsos nucléolos, que são partículas de cromatina enovelada (**heterocromatina**, formando os **chromocentros**), sendo estes corados com os corantes típicos da cromatina, diferindo assim dos verdadeiros. Ao Microscópio Eletrônico aparece formado por grânulos esféricos de 15nm de diâmetro mergulhados numa matriz homogênea.

### 4. Cromatina

Refere a toda região do núcleo, exceto do nucléolo, que é corada e visível ao M.<sup>o</sup> Constitui-se de **DNA** associado à proteínas básicas de baixo peso molecular, as **histonas**, e ao **RNA**. Há também a presença de cátions, como o cálcio que parece ter importância para a manutenção da estrutura do DNA. Por ser ácida, apresenta

basofilia (intensa afinidade pela hematoxilina e o carmim).

Quimicamente, apresenta 95% de nucleoproteínas, principalmente a desoxirribonucleoproteína (DNP). Em menor quantidade, ribonucleoproteína (RNP).

A disposição e o grau de condensação da cromatina varia de acordo com o tipo celular e com o estado fisiológico da própria célula. Os plasmócitos, por exemplo, apresentam grumos muito densos de cromatina. Já as células nervosas têm cromatina com pouca condensação. Apresenta-se menos condensada na interfase. No entanto durante a divisão celular a cromatina sofre uma intensa condensação, constituindo os cromossomos. Por exemplo, no espermatozoide a cromatina representa 80% da massa nuclear, sendo esta a forma mais condensada de cromatina que se conhece.

A cromatina é formada por uma cadeia dupla de DNA, enrolada duas vezes em torno de oito moléculas de histonas, constituindo unidades chamadas **nucleossomos**, ligadas entre si por um pedaço de DNA que, por sua vez, está associado a outra proteína histona. As histonas se ligam através dos seus radicais amínicos com os radicais fosfato do DNA. Como nem todos os radicais fosfato são neutralizados pelas histonas, a cromatina apresenta seu caráter ácido. Esta formação possibilita que ela sofra dobramentos e possa se transformar em cromossomos visíveis durante a divisão celular.

As histonas são moléculas de baixo peso molecular, entre 10 e 20.000, com estrutura química semelhante, conservando-se ao longo da evolução das espécies. As histonas estão divididas, principalmente, em cinco tipos: H4, H2B, H3, H2A e H1.

O nível de condensação da cromatina apresenta importante significado funcional. Os grumos maiores de cromatina condensada são chamados **chromocentros** e o seu componente corado, **heterocromatina**, termo proposto por Heitz, em 1932. Segundo Heitz, a heterocromatina representa as porções de cromatina condensadas no núcleo interfásico. Assim, conforme o grau de condensação a cromatina pode se apresentar sob dois aspectos:

a) **euromatina** – representa a cromatina **geneticamente ativa**, isto é, está sendo codificada para formar RNAm a fim de que sejam produzidas proteínas. Para tanto, encontra-se **desespiralizada**, sendo **pouco eletrodensa**. Ao M.E. núcleos ricos em euromatina aparecem muito claros.

**21 heterocromatina** – cromatina **geneticamente inativa**, logo, encontra-se **espiralizada (condensada)**. Assim não corre risco de ser danificada e nem ocupa muito espaço intranuclear. É **muito eletrodensa**. Ao M.E., núcleo com muita heterocromatina aparecem escuros. Um exemplo interessante é o que acontece com fêmeas de mamíferos, portadoras de dois cromossomos sexuais “X” (sexo homogamético). As células destas fêmeas ativam apenas um dos dois cromossomos “X”, desativando o outro permanentemente, sendo chamado **cromatina sexual** ou **corpúsculo de Barr**, observado em 1949 por Bertram e Barr, no núcleo de células nervosas de gatas. Posteriormente observado em células de fêmeas de outras espécies, inclusive a humana, localiza-se próximo ao envoltório nuclear. Hoje serve para o diagnóstico citológico do sexo. Desta forma podemos caracterizar dois tipos de heterocromatina: a **heterocromatina constitutiva** e a **heterocromatina facultativa**. Chamou-se heterocromatina constitutiva para a parte da cromatina permanentemente condensada, localizada principalmente nas extremidades do cromossomo, perto dos centrômeros e nas regiões organizadoras do nucléolo. A heterocromatina facultativa é exatamente a dita cromatina sexual. Podemos caracterizar, enfim, a heterocromatina como a cromatina condensada, com inatividade gênica, apresentando seqüências muito repetidas de DNA e com replicação defasada em relação à da euromatina.

## ESTUDO DOS CROMOSSOMOS

### Introdução

Chamamos cromossomo ao aspecto do DNA durante a divisão celular, espiralizado (condensado) e individualizado. Logo, é uma estrutura constituída por DNA sobre um esqueleto

protéico. Portanto, durante a interfase o DNA, em diferentes graus de espiralização, apresenta-se como cromatina; já, durante a divisão celular, como cromossomo.

Como durante a divisão celular toda a cromatina sofre intensa condensação, para formar os cromossomos, encurta e fica mais espessa, tornando-se visível ao Microscópio Óptico. A condensação atinge o máximo numa etapa da divisão celular chamada metáfase, ocasião em que, por consequência, é mais visível. Assim, podemos observar que os cromossomos de cada espécie apresentam tamanho, forma e número, típicos.

Atualmente, os cientistas usam o termo cromossomo para indicar uma unidade morfo-fisiológica, visível ou não ao microscópio óptico, contendo informação genética e independente de estar condensado na mitose. Logo, há autores que falam em cromossomos do núcleo interfásico, ou, em cromossomos de bactérias e vírus.

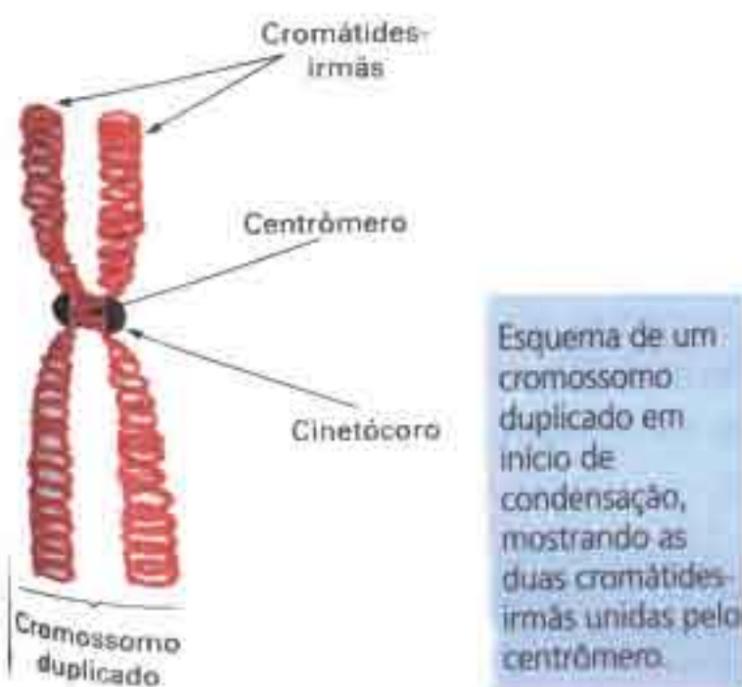
### Nucleossomos

Considerando que o cromossomo é formado por uma molécula de DNA que se enrola, em espaços regulares, sobre oito moléculas de histonas. Cada “grão” resultante do envolvimento das histonas pelo DNA é chamado **nucleossomo**. Como os nucleossomos unem-se uns aos outros acabam por formar uma estrutura helicoidal que em associação a outras proteínas vai constituir o filamento básico do cromossomo.

### Estrutura

O cromossomo condensado apresenta um estrangulamento, **constrição primária**, que o divide em duas partes, **dois braços**. Nesse estrangulamento está localizado o **centrômero**. Exatamente por esta estrutura é que o cromossomo se prende às fibras do fuso durante a mitose.

O centrômero é um estreitamento da cromátide formado por heterocromatina. Possui duas porções em forma de disco, protéicas, os **cinetócoros**, locais de inserção dos microtúbulos do fuso mitótico. O centrômero e os cinetócoros têm participação direta nos movimentos dos cromossomos durante a divisão celular. Durante a interfase o centrômero representa parte condensada da cromatina.



Qualquer outra constrição além da primária, será chamada **constrição secundária**.

Em alguns cromossomos existe uma constrição secundária localizada na extremidade do mesmo que origina uma estrutura chamada **satélite, zona sat** ou **região sat**. A região é conhecida como **região organizadora nucleolar (R.O.N.)** e corresponde ao local de síntese do RNA-ribossômico, que origina o nucléolo. Esse RNA-r armazenado no nucléolo será responsável pela formação do ribossomo. Na espécie humana as R.<sup>o</sup>N. estão localizadas nos cromossomos 13, 14, 15, 21 e 22.

No momento em que os cromossomos estiverem menos densos, pode-se observar, no interior dos mesmos, um filamento espiralizado, porção fundamental do cromossomo e que é a sede dos genes, chamada **cromonema**. Logo, **cromonema** é uma subunidade constituinte do cromossomo. O número de cromonemas para cada cromossomo é variável. Podemos em síntese falar que o cromonema nada mais é que o cromossomo distendido.

Ao longo dos cromossomos existem granulações (observa-se no leptóteno da prófase I, durante a meiose) que possuem tamanho e posição constantes para cada cromossomo. Tais formações representam setores do cromonema mais intensamente espiralizados.

### Ultraestrutura

Ao Microscópio Eletrônico o cromossomo é constituído por filamentos ligeiramente espiralizados de 10nm de diâmetro. Os filamentos são duplos e formados por duas unidades fibrilares de 4nm cada uma.

O centrômero aparece bastante denso e situado na superfície do cromossomo.

### Telômero

Esse termo designa a extremidade do cromossomo. Trata, porém, da extremidade funcional e não morfológica, isto é, você não distingue o telômero ao microscópio.

O telômero determina uma certa polaridade, impedindo com que um determinado segmento fusione-se pela extremidade a um cromossomo.

Por exemplo, quando pela quebra o cromossomo perde o telômero, as regiões quebradas ficam pegajosas e acabam por se fundir a um outro cromossomo que também tenha o telômero danificado.

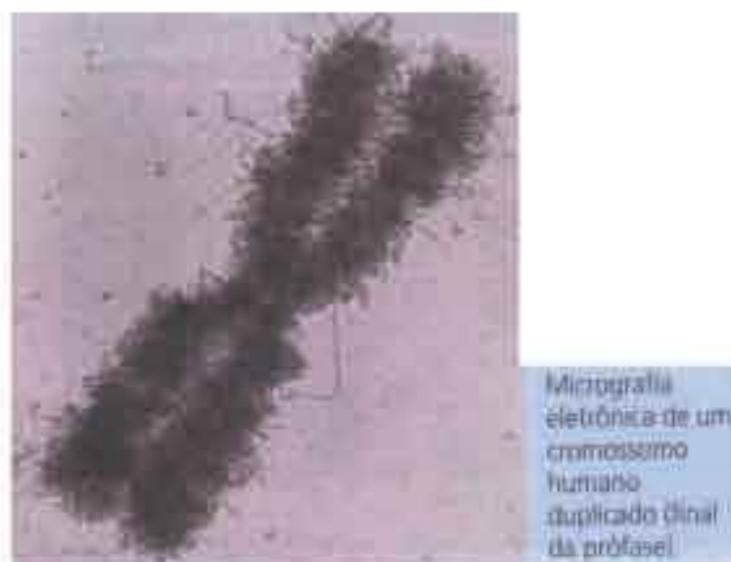
Por isso, a integridade do telômero mantém a estabilidade do cromossomo. Observa-se que cada vez que a célula se divide também diminui o telômero. Assim, estaria demarcado o envelhecimento celular e do indivíduo. Ao que parece, em observações realizadas com o início da clonagem de mamíferos, as células do indivíduo resultante da clonagem permanecem com o telômero do tamanho das células do ser clonado. Assim, o clone já nasceria "tão velho" quanto o indivíduo clonado.

### Cromátides

A duplicação do DNA ocorre na interfase, numa etapa chamada fase "S". Cada molécula de DNA, no entanto, permanece ligada à sua cópia.

Exatamente por esta razão, você observa nas fotografias dos cromossomos, feitas durante a metáfase, que eles se parecem com um "X". Em verdade você não está observando um único cromossomo, porém, as duas cópias de um mesmo cromossomo ligadas pelo centrômero.

Estas duas cópias do mesmo cromossomo ligadas pelo centrômero são chamadas **cromátides-irmãs**. Durante uma fase da divisão celular, a anáfase, o centrômero se divide e as cromátides-irmãs se separam para originar cromossomos independentes.



## Número

O número de cromossomos é variável entre as mais diferentes espécies, porém, constante para os indivíduos de uma mesma espécie.

Podemos citar alguns exemplos:

nome popular	Espécie	Número de cromossomos
Boi	<i>Bos taurus</i>	60
Asno	<i>Equus asinus</i>	66
Abelha	<i>Apis mellifera</i>	32 (zangão = 16)
Homem	<i>Homo sapiens</i>	46
Sapo	<i>Bufo sp.</i>	22
Cachorro	<i>Canis familiaris</i>	42
Gato	<i>Felis catus</i>	38
Mosca de fruta	<i>Drosophila melanogaster</i>	8
Mariposa do bicho-da-seda	<i>Bombyx mori</i>	56
Cebola	<i>Allium cepa</i>	16
Trigo	<i>Triticum vulgare</i>	42
Algodão	<i>Gossypium hirsutum</i>	52
Arroz	<i>Oryza sativa</i>	24
Milho	<i>Zea mays</i>	20
Café	<i>Coffea arabica</i>	44

## Dimensão

O comprimento do cromossomo varia de espécie para espécie, indo desde 1 micrômetro até 1 milímetro. Numa salamandra, *Triturus viridiscens*, apresenta 800 micrômetros. Os cromossomos humanos variam entre 4 e 6 micrômetros de comprimento.

## Tipos

O critério para a classificação dos cromossomos é o tamanho dos braços em função da posição do centrômero.

- **Metacêntrico** – cromossomo em que os braços apresentam-se, aproximadamente de mesmo tamanho. O centrômero tem localização central. **Submetacêntrico** - cromossomo que tem um dos braços ligeiramente maior que o outro porque o centrômero está deslocado da região central (submediano). A maioria dos cromossomos humanos é do tipo submetacêntrico.

- **Acrocêntrico** – neste caso o centrômero é sub-terminal (quase na extremidade), formando dois braços, um muito grande e o outro, muito pequeno.
- **Telocêntrico** – o centrômero é terminal, resultando num cromossomo com um único braço. Este tipo de cromossomo não existe na espécie humana.



## Ocorrência

As células reprodutoras (gametas) dispõem de um único lote cromossômico, sendo por isto chamadas **células haplóides** ou "**n**" cromossomos. Cada conjunto de cromossomos recebe a denominação de **genoma**. Logo, cada gameta é portador do genoma paterno ou materno.

Em função da grande diversificação de espécies, logo, da grande variação no número de cromossomos, convencionou-se denominar cada genoma pela incógnita "**n**". Exatamente por isto os gametas são ditos "**n**" cromossomos.

Já as células somáticas e as germinativas possuem dois conjuntos cromossômicos. Lembre que durante a fecundação ocorre a fusão dos núcleos dos gametas ocorrendo a soma dos genomas paterno e materno. Denominamos estas células, então, **diploides** ou "**2n**" cromossomos.

Perceba que os cromossomos numa célula somática estão aos pares, elas possuem dois lotes cromossômicos ou dois genomas. Por exemplo, a espécie humana contém em suas células somáticas 23 pares de cromossomos. Os membros de cada par são chamados **cromossomos homólogos**.

## Bandeamento

Na atualidade existem técnicas que permitem corar os cromossomos em subunidades determinadas, caracterizando as chamadas **bandas**.

Quando se usa a mesma técnica (existem várias) o número, posição e dimensão de cada banda são específicas e constantes para cada cromossomo. Assim, é possível identificar com precisão cada cromossomo, funcionando, na prática, como um código de barras.

A tecnologia de bandeamento, associada a outras tecnologias, permitiu um significativo avanço na localização de genes, acompanhamento de mutações, inclusive, na definição dos testes de paternidade.

## AULA Nº 09

# ÁCIDOS NUCLÉICOS

### Introdução

Entre 1868 e 1871 Friedrich Miescher, observando núcleos percebeu a presença constante de determinadas substâncias ácidas. Em 1869, denominou ao conjunto destas substâncias, ácidos nucleicos. Apenas em 1944, o DNA foi identificado como sendo o material genético relacionado ao comando das atividades celulares por intermédio do controle da síntese de proteínas. Os genes, segmentos funcionais de DNA, contêm informações genéticas, que em realidade, são receitas para que a célula possa produzir suas proteínas e, através delas, determinar todas as características do indivíduo. Hoje podemos afirmar que os ácidos nucleicos representam as mais complexas biomoléculas.

Como os ácidos nucleicos estão sempre associados à proteínas, formam as nucleoproteínas.

### Tipos

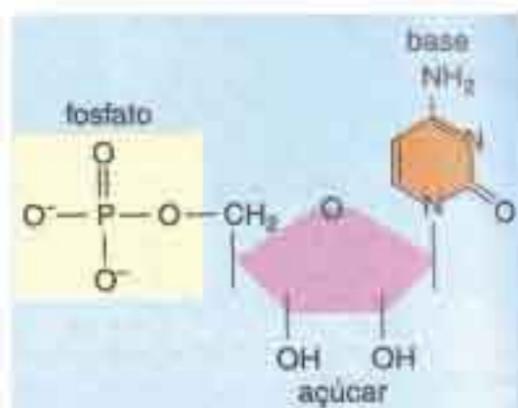
Há dois tipos de ácidos nucleicos: o **DNA** (ácido desoxirribonucleico, em português ADN) e o **RNA** (ácido ribonucleico, em português ARN).

### Constituição

Os ácidos nucleicos são **biopolímeros**, cujos **monômeros** (unidades constituintes) são denominadas **nucleotídeos**. Podem ser também chamados polinucleotídeos.

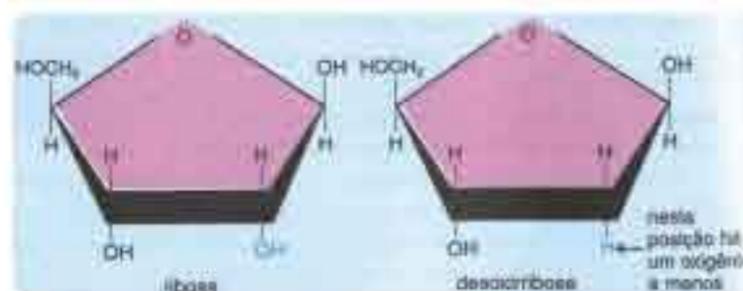
Por sua vez, cada nucleotídeo resulta da associação de três resíduos: **um radical fosfato**, **uma pentose** e **uma base nitrogenada**.

Chamamos **nucleosídeo** ao conjunto formado pela **pentose** e pela **base nitrogenada**, ou seja, um nucleotídeo destituído de seu radical fosfato.



A unidade nucleotídeo.

O radical fosfato ( $\text{PO}_4$ ) é comum para os dois tipos de ácidos nucleicos, DNA e RNA. Já a **pentose** presente no **RNA** é a **ribose**, enquanto a **pentose** do **DNA** é a **desoxirribose**.

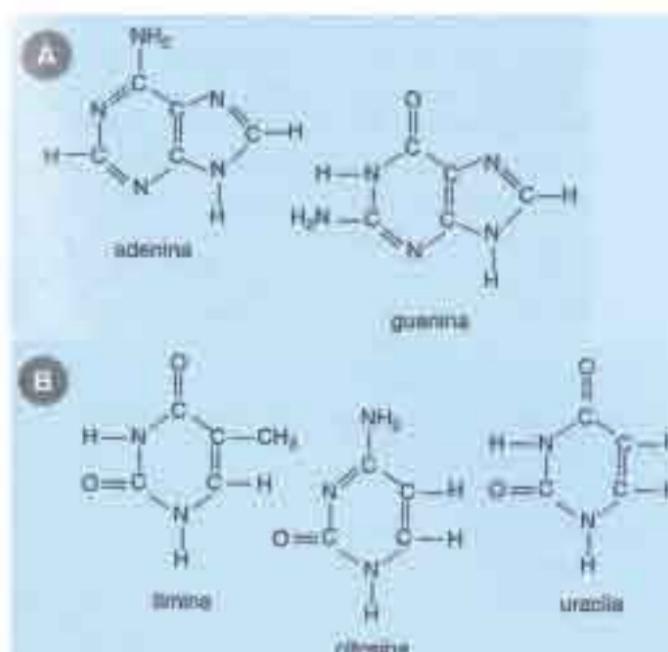


A ribose e a desoxirribose são os únicos açúcares presentes nos nucleotídeos.

Existem cinco tipos de bases nitrogenadas encontradas nos ácidos nucleicos: **adenina (A)**, **guanina (G)**, **citocina (C)**, **timina (T)** e **uracila (U)**.

As bases nitrogenadas podem ser derivadas das purinas, então chamadas **púricas**: **adenina** e **guanina**; ou derivadas das pirimidinas, sendo ditas **pirimídicas**: **citocina**, **timina** e **uracila**.

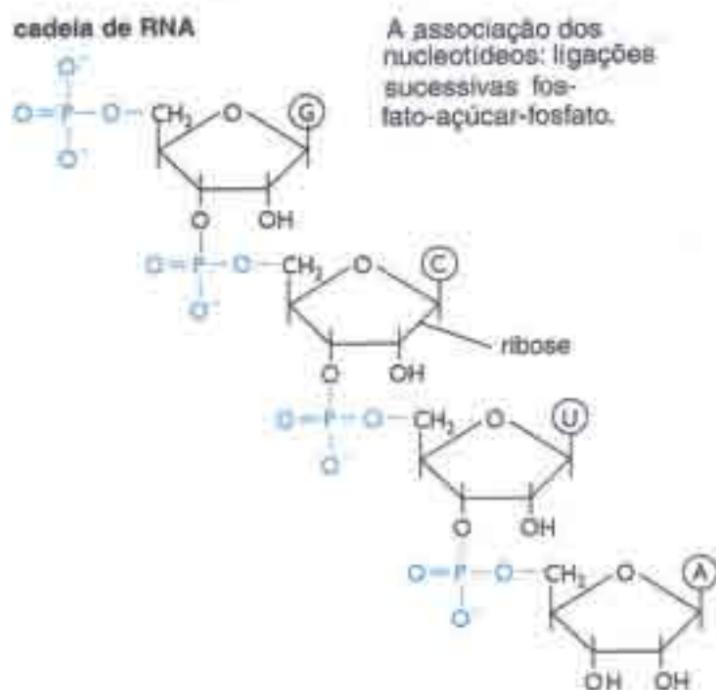
As bases púricas estão presentes tanto no DNA quanto no RNA. Porém, das bases pirimídicas, a citocina é comum para ambos os ácidos nucleicos, mas a **timina é exclusiva do DNA**, assim como a **uracila é exclusiva do RNA**.



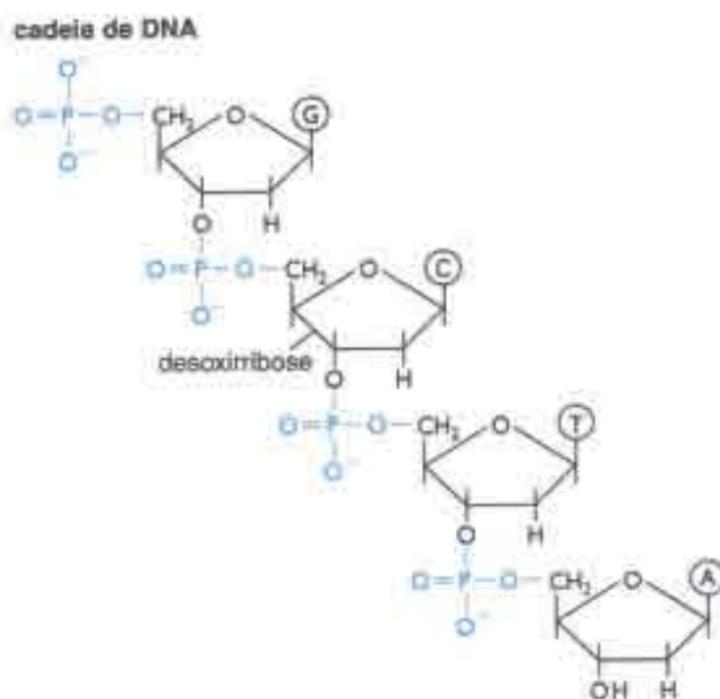
As bases (A) púricas e (B) pirimídicas participantes dos ácidos nucleicos.

Desta forma, tanto o DNA quanto o RNA são constituídos por quatro tipos diferentes de nucleotídeos. No DNA, por exemplo, cada nucleotídeo possui uma desoxirribose e uma das bases seguintes: adenina, guanina, timina ou uracila.

No RNA, em cada nucleotídeo encontraremos uma ribose e uma das seguintes bases nitrogenadas: adenina, guanina, citocina ou uracila.



Nas moléculas de DNA e RNA cada nucleotídeo é ligado ao outro através de um radical fosfato unido ao carbono de número 3 ou 5 da pentose.



### Estrutura

A estrutura DNA foi proposta em 1953 por Watson e Crick.

Os nucleotídeos de uma mesma cadeia estão interligados através de ligações 3'5' ou 5'3' entre o radical fosfato de um nucleotídeo e um carbono da pentose do outro nucleotídeo. Por isso, as duas cadeias de DNA são ditas antiparalelas. Ou seja, enquanto numa das fitas do DNA as ligações entre os nucleotídeos correm no sentido 3' 5', na fita complementar o sentido das ligações é 5'3'.

As duas cadeias, no entanto, estão ligadas na sua configuração de hélice por pontes de hidrogênio entre bases em fitas opostas.



A figura se assemelha à uma escada em caracol onde o corrimão de cada lado corresponde aos grupamentos fosfato e as desoxirriboses, e, os degraus são as bases nitrogenadas de uma de outra fita, como fossem meios degraus atraídos por ligações de pontes de hidrogênio.

Podemos então caracterizar a molécula de DNA como possuindo uma dupla-hélice com diâmetro uniforme, especialmente girando para a direita e como sendo antiparalela, ou seja, as duas fitas correm em direções opostas.

### Pareamento das bases

A ligação ocorre sempre entre uma base púrica e uma pirimídica. No DNA a adenina se liga por duas pontes de hidrogênio à timina. A guanina se liga à citosina por três pontes de hidrogênio.



Logo, conclui-se, as duas fitas são sempre complementares. Se você souber as bases de uma fita pode concluir sobre a sequência de bases da fita complementar. Portanto, em cada fragmento de DNA, a quantidade de bases púricas e pirimídicas é sempre a mesma.

## Funções

O DNA é o próprio material informacional genético de cada indivíduo, ou seja, armazena todas as informações genéticas em suas seqüências definidas de nucleotídeos. Assim cada espécie e cada indivíduo possuem uma seqüência única, caracterizando a espécie e garantindo a individualidade do organismo.

Você já sabe que a diferença entre todos os organismos vivos é a quantidade e a qualidade de suas proteínas. Podemos até afirmar que somos o que são as nossas proteínas. A informação genética entendida da forma mais simples possível é uma receita para que nossas células produzam todas as nossas proteínas, garantindo assim, todas as nossas características e a própria individualidade.

Por outro lado, há três características que garantem o sucesso funcional do DNA: **ele é capaz de sofrer mutações**, o que promove uma troca dinâmica de suas informações ao longo do tempo; **sofre duplicação precisa** o que permite que seja fielmente transmitido de célula para célula e é **usado pela célula para que sejam produzidas suas proteínas**, o que possibilita que ele seja expresso na forma de um fenótipo.

## Replicação do DNA

Em 1956 Arthur Kornberg demonstrou que o DNA pode se replicar num tubo de ensaio, logo, fora das células. As exigências básicas eram o próprio DNA, uma enzima específica que ele chamou DNAPolimerase (obtida de bactérias) e uma mistura dos quatro nucleotídeos, ou seja, a presença das quatro bases nitrogenadas: A, G, T e C.

Ficou claro que de algum modo o DNA serve de molde para reação de produção de mais DNA. A questão central era como a reação ocorria.

Em 1957 uma experiência conduzida por Meselson e Stahl comprovou que a replicação do DNA ocorria de forma semiconservativa.

## Replicação semiconservativa do DNA

Para que ocorra a replicação semiconservativa do DNA há quatro exigências básicas: a existência de um DNA que sirva de molde para a formação de uma cadeia complementar; os quatro tipos de nucleotídeos disponíveis, logo, presença dos quatro tipos de bases nitrogenadas: A, G, T e C; a enzima DNA polimerase para catalisar a reação e uma fonte de energia.

Podemos entender a existência de dois momentos para a replicação do DNA. Primeiro a molécula de DNA deve ser desnaturada (desespiralizada) para que ocorra a separação das duas fitas. Segundo, os novos nucleotídeos devem ser incorporados em cada fita por ligações covalentes na seqüência definida pelo pareamento das bases complementares.

Podemos, resumidamente, entender que a enzima DNA-polimerase rompe as pontes de hidrogênio entre as bases nitrogenadas de uma e outra fita do DNA. Cada cadeia polinucleotídica, agora separada, serve de molde para uma nova fita complementar em que a mesma enzima, DNA-polimerase, possibilita a ligação entre os nucleotídeos livres no citoplasma, incorporando-os, posteriormente, à fita molde. Possíveis erros na molécula-filha são corrigidos pela mesma enzima.

Logo, o processo de duplicação do DNA chama **replicação** e é do tipo **semiconservativa** (cada nova molécula é formada por uma fita antiga, molde, e uma fita nova).

A replicação sempre antecede a própria divisão celular. Por ter sempre uma fita como molde, este fato diminui muito a ocorrência de erros no processo.

## Estudo do RNA (ARN - Ácido Ribonucléico)

### Origem

O DNA, material informacional genético, está encerrado no núcleo. Como sabemos, em última análise, a informação genética é uma "receita" para que se produza proteínas, sendo estas responsáveis pela expressão dos nossos caracteres. O DNA encerrado no núcleo corresponde à manutenção das receitas em um cofre. No entanto, a produção das proteínas acontece no citoplasma. Conclui-se, portanto, as receitas devem ser copiadas para que o processo de síntese protéica ocorra. A **codificação** do DNA é chamada **transcrição**. O resultado da transcrição do DNA são longos polímeros, semelhantes ao próprio DNA, denominados **ácidos ribonucléicos (ARN ou RNA)**.

A transcrição é um processo semelhante à replicação: a posição do nucleotídeo na molécula de RNA é complementar à seqüência das bases do DNA que serve de modelo. Assim, o pareamento segue rigorosamente: **A = U; G = C**.

Cada molécula de RNA tem início em um local específico da molécula molde de DNA, a região **promotora**, ocorrendo o mesmo com o seu término, na região **finalizadora**.

A transcrição é catalisada pela enzima **RNA polimerase** ou **transcriptase**. Uma vez encerrada a síntese, a molécula de RNA se separa completamente do DNA, considerando que a cadeia DNA-RNA é muito instável. A estrutura das moléculas de RNA, no entanto, sofre modificações por processos pós-transcricionais, definindo, então, os diferentes tipos de RNA.

### Estrutura



Produção de RNA: só uma das fitas de DNA participa.

O RNA, tanto quanto o DNA, é um ácido nucléico constituído por unidades menores chamadas **nucleotídeos**. Os constituintes fundamentais são os mesmos: uma molécula de **ácido fosfórico**, uma **pentose** e uma **base nitrogenada**. As diferenças, no entanto, residem no fato de que a pentose do RNA é a **ribose** e, em relação às bases, uma alteração, em vez da **timina** há a **uracila**.

Enquanto a molécula de DNA é uma dupla-hélice, o RNA apresenta-se como um filamento simples, ou seja, uma única cadeia de nucleotídeos. Entretanto, esta cadeia pode, em alguns pontos, enrolar-se sobre si mesma, em acontecendo isto, as bases complementares se ligam por pontes de hidrogênio.

### Função

O RNA está diretamente envolvido no processo de síntese protéica.

### Tipos de RNA

Em função da estrutura e da função, o RNA apresenta-se dividido em três tipos: **RNA ribossômico (RNAr)**, **RNA mensageiro (RNAm)** e **RNA transportador (RNAt)**.

#### RNA ribossômico (RNA-r)

Representa o tipo mais abundante de RNA das células. É formado em regiões específicas dos cromossomos relacionadas ao nucléolo. Do nucléolo (depósito de RNAr) o RNAr migra para o citoplasma onde se associa à proteínas para constituir os **ribossomos**, apresentado, portanto, função estrutural. Os ribossomos são facilmente visíveis ao microscópio eletrônico. Como você sabe, estas partículas representam o local da síntese protéica.

#### RNA mensageiro (RNAm)

O RNAm é o formado por um filamento simples de nucleotídeos e representa a cópia dos genes que deverão ser traduzidos em proteínas. São formados a partir de regiões ativas do DNA responsáveis pela expressão gênica. Logo, encontra-se tanto no núcleo quanto no citoplasma, neste, associado aos ribossomos, participa da síntese protéica.

O peso molecular do RNAm varia em função do tamanho da molécula protéica que ele vai codificar. Boa parte do RNAm tem vida relativamente curta, assim a quantidade do mesmo em cada célula, a cada momento, é muito pequena. Na prática, estas moléculas são as mais difíceis de isolar e purificar.

Cada conjunto de **três bases nitrogenadas** do RNAm é chamado **códon**, sendo responsável pela codificação de determinado aminoácido. Pode, no entanto, existir mais de um códon para o mesmo aminoácido. Erros que porventura ocorram durante a transcrição, tendo como resultado modificações nos diferentes códons, constituem as chamadas **mutações gênicas**.

### RNA-transportador (RNAt) ou de transferência

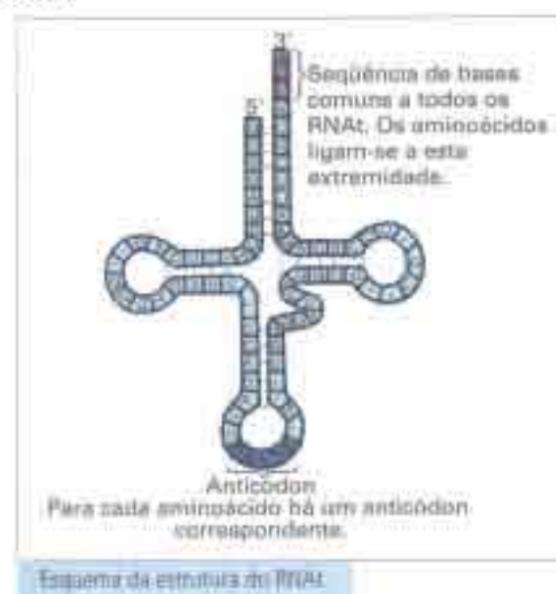
O RNAt é formado por uma cadeia muito pequena de nucleotídeos, dobrada sobre si mesma, com 75 a 100 nucleotídeos, sendo, portanto, o menor dos tipos de RNA da célula, com peso molecular variando entre 23.000 e 30.000.

Como os demais tipos, este é produzido no núcleo, migrando para o citoplasma, onde desempenha uma função das mais importantes: captura e transporta aminoácidos até o RNAm, estando este associado ao ribossomo. O RNAt pode se combinar de forma reversível com certos aminoácidos.

Sua função, portanto, é transferir os aminoácidos para as posições corretas na molécula protéica em formação.

Estruturalmente o RNAt lembra um trevo de quatro folhas, onde cada “folha” corresponde a um sítio específico. Logo, existem quatro sítios funcionais. Um primeiro representa o local de união junto a enzima que ativa o RNAt. Um segundo sítio, apresentando a seqüência de bases nitrogenadas **CCA**, pelo ácido adenílico (A)

precedido de duas moléculas de ácido citidílico (C), comum a todas as moléculas de RNAt, representa o local de união com o aminoácido. Há um terceiro sítio que é a região de reconhecimento do ribossomo. Finalmente, um quarto sítio que possui uma seqüência de três bases complementares ao **códon**, responsável por reconhecer a posição do aminoácido na molécula de RNAm, o chamado **anticódon**.



Agora que já estudamos os ácidos nucleicos, podemos montar uma tabela comparativa para observar as principais diferenças entre eles.

	DNA	RNAm	RNAr	RNAt
Constituição	Ácido fosfórico, pentose: desoxirribose, adenina, guanina, citosina e timina;	Ácido fosfórico, pentose: ribose, adenina, guanina, citosina e uracila;	Ácido fosfórico, pentose: ribose, adenina, guanina, citosina e uracila;	Ácido fosfórico, pentose: ribose, adenina, guanina, citosina, uracila e outras bases;
Funções	Material informacional genético: comanda funções celulares e transmite informação genética para outras células;	Determina a posição dos aminoácidos nas moléculas de proteínas em função da seqüência de suas bases (códon);	Combina-se junto ao mensageiro para formar os polirribossomos e proceder a síntese protéica;	Transporta os aminoácidos e ao unir seu anticódon com o códon, determina a posição do aminoácido na proteína;
Localização	Núcleo (eucariontes), nucleóide (procariontes), mitocôndrias, cloroplastos, alguns vírus;	Principalmente no citoplasma; menor quantidade no núcleo;	Principalmente no citoplasma; menor quantidade no núcleo;	Principalmente no citoplasma; menor quantidade no núcleo;
Peso molecular	Muito grande, difícil determinar;	Na dependência do tamanho da proteína que codifica;	600.000 e 1.200.000 (dois tipos principais);	25.000 a 30.000;

## SÍNTESE DE PROTEÍNAS

### Introdução

Todas as características dos organismos são expressas pelas proteínas que produzem. Já mencionamos que o organismo é o que são as suas proteínas. Por outro lado, as informações genéticas são "receitas" para que as células possam sintetizar suas proteínas. Cada seqüência de bases nitrogenadas do DNA com informação para sintetizar uma proteína é chamada **gene**. Em 1958, o Dr. F. Crick propôs que embora o DNA contenha as instruções para a síntese de proteínas, todavia, quem age diretamente na sua síntese é o RNA. Assim, estabelecia-se a relação DNA, RNA e proteína.

DNA                      RNA                      proteína

Gene                      →                      Caráter

A seqüência de bases do DNA, ou seja, do gene, é **codificada**, isto é, **transcrita**, no núcleo, em forma de RNAm. Este, por sua vez, comanda a síntese protéica no citoplasma, processo dito **tradução**.

### Código genético

O código genético é estabelecido pela seqüência de três bases do RNAm, ou seja, pelo

**códon**. Há quatro nucleotídeos possíveis: adeninanucleotídeo, guaninanucleotídeo, citosinanucleotídeo e uracilanucleotídeo. No entanto, há 20 aminoácidos básicos constituindo todas as nossas proteínas. Assim podemos imaginar quatro bases possíveis formando arranjos três a três, capazes, portanto, de formar 64 códons possíveis. Esta teoria foi proposta por George Gamow e F. Crick.

Dos 64 códons, apenas três não especificam aminoácidos, determinando, pois, sinais de parada, definindo, desta forma, o fim de uma cadeia polipeptídica: **UAA, UAG e UGA**.

Verifica-se que um mesmo aminoácido pode ser codificado por mais de um códon, razão pela qual o código genético é dito **degenerado**. No entanto, é bom lembrar, cada códon especifica um só aminoácido, logo não é **ambíguo**.

Como a relação entre os códons e seus aminoácidos específicos é a mesma em todas as espécies viventes, o código é chamado **código universal**.

Estas duas características são muito importantes do código genético: ele é **degenerado e universal**.

O código genético foi decifrado em 1964 por Nirenberg e Leder, que sintetizaram as 64 trincas possíveis e definiram com precisão a relação entre as trincas e os aminoácidos.

No esquema abaixo estão todos os códons e seus aminoácidos:

	U	C	A	G	
<b>U</b>	UUU   UUC   Phe UUA   UUG   Leu	UCU   UCC   Ser UCA   UCG	UAU   UAC   Tyr UAA   UAG   Fim	UGU   UGC   Cys UGA   Fim UGG   Trp	U C A G
<b>C</b>	CUU   CUC   CUA   CUG   Leu	CCU   CCC   CCA   CCG   Pro	CAU   CAC   His CAA   CAG   Glm	CGU   CGC   CGA   CGG   Arg	U C A G
<b>A</b>	AUU   AUC   Ile AUA   AUG   Met	ACU   ACC   ACA   ACG   Thr	AAU   AAC   Asm AAA   AAG   Lys	AGU   AGC   Ser AGA   AGG   Arg	U C A G
<b>G</b>	GUU   GUC   GUA   GUG   Val	GCU   GCC   GCA   GCG   Ala	GAU   GAC   Asp GAA   GAG   Glu	GGU   GGC   GGA   GGG   Gly	U C A G

Código das abreviaturas usadas:

Phe = Fenilalanina	Met = Metionina
Leu = Leucina	Thr = Treonina
Ser = Serina	Ala = Alanina
Tyr = Tirosina	Lys = Lisina
Cys = Cisteína	Val = Valina
Pro = Prolina	Asp = Ácido aspártico
His = Histidina	Glu = Ácido glutâmico
Gln = Glutamina	Gly = Glicina
Arg = Arginina	Asn = Asparagina
Ile = Isoleucina	Trp = Triptofano

### **Síntese Protéica**

O gene é expresso como proteína e as proteínas, por sua vez, determinam nossos caracteres. Portanto, gene **ou cistron** é qualquer segmento da molécula de DNA formado por um certo número de seqüência de nucleotídeos, capaz de ser traduzido em forma de proteína. No entanto, enquanto os genes estão localizados no núcleo de uma célula eucarionte, as proteínas são sintetizadas no citoplasma. Como o material informacional genético consegue se expressar na forma de proteína?

Ocorrem os mesmos dois processos que a gente observa na comunicação: a **codificação** seguida da **decodificação**.

A codificação é caracterizada pela transferência da informação genética do DNA para o RNA, através de um fenômeno dito **transcrição**.

A seguir, a informação codificada no RNAm é lida no RNAr com o auxílio do RNAt, determinando, assim, uma seqüência específica de aminoácidos para constituir a molécula de proteína, fenômeno este chamado **tradução (decodificação)**.

Logo, durante o processo da síntese protéica o trabalho é realizado, em conjunto, pelos diferentes tipos de RNA.

O RNAr, formado no núcleo e armazenado no nucléolo, migra para o citoplasma e, associado à proteínas, forma os ribossomos, que funcionam como sensores, monitorando o acoplamento do anti-códon (RNAt) e do códon (RNAm). O RNAm, que é formado em locais específicos da molécula de DNA, desloca-se para o citoplasma onde se liga aos ribossomos, ativando-os, e formando os **polirribossomos**. Enquanto isso as moléculas de RNAt são ativadas por enzimas específicas, **aminoacil-tRNA sintetase**, em presença de ATP, e se ligam, cada uma a um aminoácido específico.

O RNAt, com seu aminoácido, encaminha-se para uma região específica do ribossomo, local em que o seu anticódon é complementar a um dos códons do RNAm. As duas moléculas sofrem um processo de acoplamento (RNAm e RNAt), por pontes de hidrogênio, possibilitando aos ribossomos a catálise da reação entre os aminoácidos subseqüentes, por ligações peptídicas, até o chegar ao códon que representa o fim (sem leitura) da molécula protéica. No entanto, a tradução de um molécula de RNAm sempre inicia num códon específico, **AUG**, que codifica o aminoácido **metionina**. Logo, a metionina é o primeiro aminoácido de qualquer polipeptídeo. Porém, normalmente, a metionina é removida antes da síntese da proteína se completar.

Terminada a formação da cadeia polipeptídica (proteína), esta é liberada e o complexo RNAm-ribossomo se desfaz.

## AULA Nº 10

## METABOLISMO ENERGÉTICO

Há dois desafios básicos para os organismos vivos: como produzir matéria orgânica tendo como base a matéria inorgânica e qual a matriz energética utilizada para tal e, posteriormente, para a manutenção das estruturas vivas.

Todo organismo que dispõe de uma matriz energética, sendo capaz de produzir matéria orgânica, tendo como matéria-prima substâncias simples, é chamado **autótrofo**.

Em menor escala, algumas bactérias conseguem utilizar a energia de compostos inorgânicos para produzir suas moléculas orgânicas, fenômeno chamado quimiossíntese.

No entanto, a matriz energética utilizada com sucesso é a energia luminosa do sol. A reação que utiliza tal fonte energética se chama **fotossíntese**.

O produto energético da fotossíntese é a molécula de glicose, combustível base de todas as células.

Energeticamente falando, a fotossíntese e a respiração celular são duas reações complementares, embora quimicamente antagônicas. Enquanto a fotossíntese possibilita a transformação de energia luminosa em energia química, armazenando-a nas ligações químicas das moléculas de glicose, a respiração é uma combustão gradual que permite a lenta liberação desta energia para ser acumulada em compostos como o ATP ( Adenosina Trifosfato).

Assim, concluindo, a fotossíntese permite a entrada de energia nos sistemas vivos e a respiração celular possibilita a utilização racional desta energia, transferindo-a, aos poucos, para moléculas de ATP, fonte direta da energia utilizada em todos os processos vitais.

**Fotossíntese**

A fotossíntese é a principal porta de entrada da energia e da matéria para os sistemas vivos deste Planeta.

Consiste num conjunto de reações que utilizam a energia luminosa do sol em organismos clorofilados nos quais há produção de substâncias orgânicas a partir de gás carbônico e água.

**Pigmentos fotossintéticos**

A luz é absorvida pelos organismos fotossintetizantes por substâncias denominadas pigmentos, que possibilitam a sua transformação em energia química. Estes absorvem determinados comprimentos de onda e refletem os demais, o que caracteriza sua cor. Podemos citar como principais pigmentos, as **ficobilinas** (ficocianina, azul, as **clorofilas** (verdes, classificadas em **a, b, c e d**), os **carotenóides** e as **ficobilinas**.

As principais clorofilas são a **clorofila a**,  $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$ , presente nas algas e nas plantas superiores, e a **clorofila b**,  $C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$ , que ocorre nas algas verdes e nos vegetais superiores. A clorofila b, presente nos vegetais superiores, clorofíceas e euglenófitas, consiste num pigmento acessório, isto é, amplifica a faixa de energia luminosa capaz de ser utilizada na fotossíntese. Toda energia luminosa absorvida pela clorofila b é transferida para a clorofila a, responsável pela transformação em energia química.

Os **carotenóides** apresentam coloração vermelha, laranja e amarela. Estão presentes em todos os cloroplastos e nas cianobactérias. Pertencem à classe dos **carotenóides**, os **carotenos** e as **xantofilas**, presentes em todos os cloroplastos, portanto, ausentes em bactérias e cianobactérias. Por exemplo, o beta-caroteno é a principal fonte de vitamina A.

As **ficobilinas** (ficocianina, azul e ficoeritrina, vermelha) são encontradas nas cianobactérias e em cloroplastos das rodofíceas.

**Transportadores de H:**

Os compostos orgânicos ao sofrerem oxidação liberam átomos de hidrogênio que devem

ser transportados e conduzidos para aceptores finais.

As duas principais substâncias que executam o papel de transportadores de hidrogênios são o **NAD** (Nicotinamida Adenina Dinucleotídeo) e o **FAD** (Flavina Adenina Dinucleotídeo).

São dois nucleotídeos que facilmente se reduzem ao receber átomos de hidrogênio.

### ATP

Quimicamente falando o ATP nada mais é do que uma molécula de nucleotídeo: **ribose + base nitrogenada + três moléculas de ácido fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>)**.

Chamamos **adenosina** ao resultado da união entre a adenina e à ribose.

Se houver a ligação de um ácido fosfórico à adenosina, forma a **adenosina monofosfato (AMP)**. Se houver a adição de mais um ácido fosfórico, teremos, então, a **adenosina difosfato (ADP)**. O acréscimo de uma terceira molécula de ácido fosfórico, forma a **adenosina trifosfato (ATP)**.

Reações exotérmicas que ocorrem nas células têm parte de sua energia aproveitada e armazenada em compostos chamados intermediários. Dos compostos intermediários, o mais importante é o ATP. A energia acumulada no ATP é, posteriormente, liberada para ser utilizada em todos os processos metabólicos celulares.

### Equação geral da fotossíntese

A fotossíntese pode ser expressa pela equação que segue:



### Etapas da fotossíntese

O fenômeno da fotossíntese pode ser entendido a partir de duas etapas:

- (1) **luminosa** ou **fotoquímica** – ocorre nos **tilacóides** (localizados nas lamelas) e para a qual a luz é indispensável.
- (2) **química, escura** ou **enzimática** – acontece no **estroma** (matriz do cloroplasto) e não depende diretamente da luz.

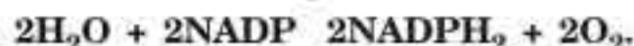
### Etapa luminosa, fotoquímica ou de Hill

Essa primeira etapa tem como característica a **folólise da água** e a **fotofosforilação (acíclica e cíclica)**.

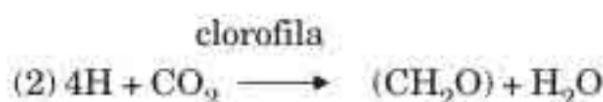
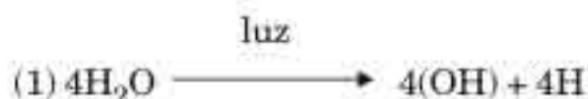
#### Fotólise da água

A reação de fotólise da água foi descrita por Hill, em 1937, na Universidade de Cambridge, Inglaterra. A grande importância do trabalho de Hill foi demonstrar que a liberação fotoquímica do O<sub>2</sub> é um processo independente da redução do CO<sub>2</sub> durante a fotossíntese.

Sob a ação da luz solar a molécula de água é literalmente quebrada em seus componentes básicos, íons **H<sup>+</sup>** que serão transferidos para transportadores de hidrogênio, o **NADP** (nicotinamida adenina dinucleotídeo fosfato) e o oxigênio livre é liberado para a atmosfera.



Podemos resumir o processo em três passos:

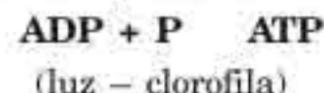


É sempre importante lembrar que o oxigênio liberado pela fotossíntese é originário da molécula de água e não do gás carbônico, como se acreditava antigamente.

### Fotofosforilação

Os pigmentos do cloroplasto, principalmente as clorofilas, absorvem energia luminosa e promovem a **fotofosforilação**, ou seja, é feita a adição de um grupamento fosfato ao ADP, com armazenamento de energia química e a produção de ATP.

Podemos representar como segue:



A fotofosforilação é dividida em duas etapas: **cíclica** e **acíclica**.

Podemos entender de forma simples o trânsito dos elétrons ao longo das duas etapas. Quando os pigmentos fotossintetizantes absorvem energia luminosa, os seus elétrons ficam excitados

energeticamente e abandonam a molécula. A partir daí os elétrons passam por diferentes aceptores, perdendo energia cada vez que pulam de um aceptor para outro. Esta energia liberada é usada para transformar ADP em ATP. Portanto, os elétrons vão sendo transportados em níveis decrescentes de energia. Quando perderem toda a energia extra, serão aceitos por um aceptor final. Falamos em fotofosforilação cíclica quando o elétron volta ao composto de origem. Será dita fotofosforilação acíclica quando os elétrons não voltarem ao mesmo composto de onde saíram.

### (a) Fotofosforilação Cíclica

Os pigmentos fotossintetizantes estão mergulhados nas camadas lipídicas da membrana dos tilacóides. Todos os pigmentos são captadores de energia luminosa e acabam carreando esta energia para uma molécula de **clorofila a**. Portanto, toda a energia absorvida acaba na molécula de **clorofila a**.

O sistema de captação de energia e o de reação, na prática, a clorofila a, formam um único complexo. Como há uma molécula de **clorofila "a"** que absorve o comprimento de onda de luz da ordem de 700 nanômetros, esta forma o **fotossistema I** e a molécula de **clorofila "a"**, chama-se **P<sub>700</sub>**. Há um outro tipo de **clorofila "a"**, dita **P<sub>680</sub>** (absorve comprimentos de onda de luz, de 680 nanômetros, que, por sua vez, forma com o sistema captador, o **fotossistema II**).

Chamamos **fotossistemas** às unidades de organização formadas pelos pigmentos (clorofilas e outros pigmentos) mergulhados nos tilacóides. Cada fotossistema é formado por dois constituintes: **um centro de reação** (corresponde a um complexo proteína-pigmento) e um **complexo protéico antena**.

O **centro de reação** do fotossistema é formado por um par de moléculas de clorofila que é capaz de aproveitar a energia absorvida nas reações fotoquímicas. Já o **complexo protéico antena** é formado por todos os outros pigmentos que absorvem energia luminosa e, direta ou indiretamente, transferem-na para o **centro da reação**.

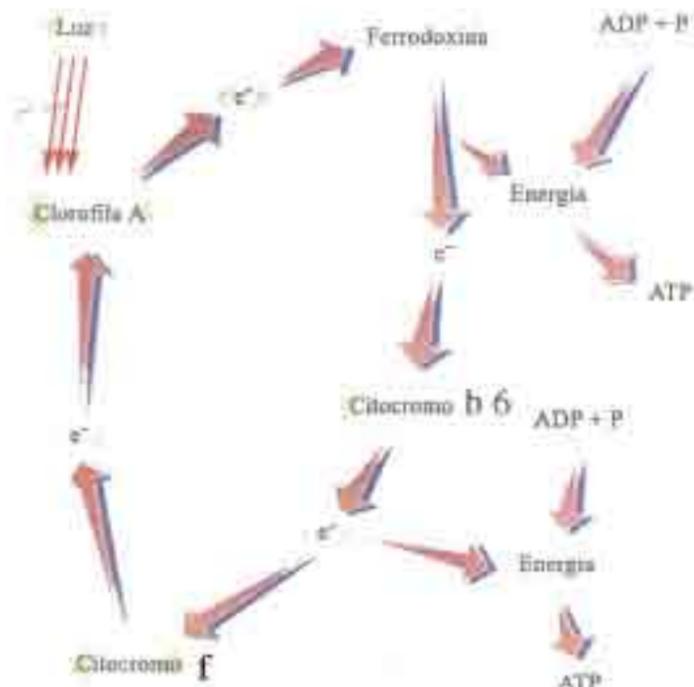
Na fotofosforilação cíclica há a participação apenas do fotossistema I.

A **clorofila a P<sub>700</sub>** absorve fótons de luz e perde elétrons com alto nível energético. Estes elétrons com grande quantidade de energia são captados por transportadores de elétrons. Primeiro a **ferredoxina** que os transfere para o **citocromo b<sub>6</sub>** e este para o **citocromo f**.

Na transferência de um citocromo para outro, há a perda de energia por parte de cada elétron, energia esta utilizada para incorporar **fosfato** ao **ADP**, produzindo **ATP**.

Quando cada elétron retorna ao seu nível energético original, após passar pelos transportadores de elétrons, será devolvido para a molécula de **clorofila a**.

### Fotofosforilação cíclica



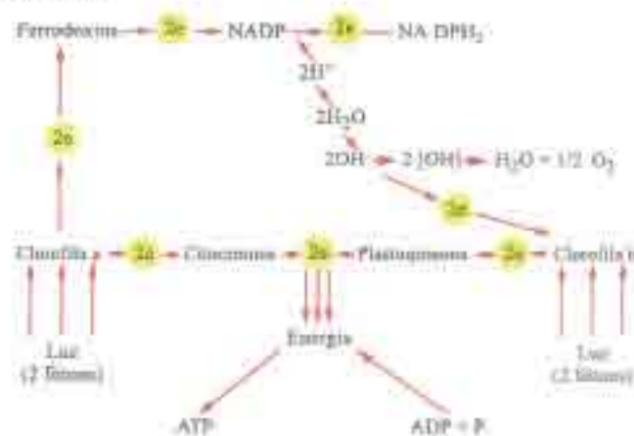
### (b) Fotofosforilação Acíclica

Os processos de fotofosforilação e o de fotólise da água ocorrem simultaneamente. A fotofosforilação acíclica, no entanto, e não a cíclica, é que está diretamente relacionada à fotólise da água.

Na fase acíclica a **clorofila a P<sub>700</sub>** absorve dois fótons de luz e libera dois elétrons com alto nível energético que serão recebidos pela **ferredoxina**, esta os transfere para a **flavina** e daí para o **NADP**, que recebe, por sua vez, os **prótons (H<sup>+</sup>)**, liberados na fotólise da água, transformando-se em **NADPH<sub>2</sub>**.

Ao mesmo tempo a **clorofila a P<sub>680</sub>** absorve dois fótons de luz e libera dois elétrons muito excitados energeticamente. Estes são transferidos para a **plastoquinona**, e desta transitam pelo **sistema transportador de elétrons (citocromos b e f)**, perdendo energia que é utilizada para a síntese de **ATP**. Uma vez sem a energia extra os elétrons são recebidos pela **clorofila a P<sub>700</sub>**, estabilizando-a.

Os elétrons oriundos da **fotólise da água** estabilizam a **clorofila a P<sub>680</sub>**, ao serem por ela capturados.



### Conclusão da fotofosforilação

Observe que o **ATP** é o produto final da fotofosforilação cíclica.

Já a fotofosforilação acíclica tem como produtos finais, o **ATP**, o **NADPH<sub>2</sub>** e o **O<sub>2</sub>** (este resultante da fotólise da água).

No total são formadas 18 moléculas de ATP e 12 moléculas de NADPH<sub>2</sub>.

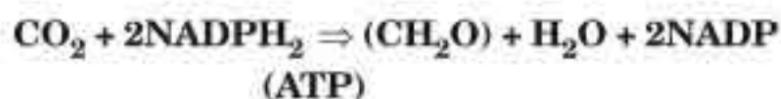
### Etapa escura, química ou ciclo de Calvin ou ciclo das pentoses

Essa etapa foi descrita na década de 1940 por Melvin Calvin, recebendo por isto o nome de ciclo de Calvin.

A etapa ocorre no estroma dos cloroplastos e pode ser caracterizada pela **absorção, fixação e redução do CO<sub>2</sub>**.

O ATP produzido na etapa clara é a fonte energética para a etapa escura, e, os hidrogênios transportados pelo NADP servem para reduzir o gás carbônico e formar glicose.

Podemos simplificar a reação conforme a equação:



O processo inicia com seis moléculas de gás carbônico que participam de uma série de reações em que também agem algumas pentoses, açúcares de cinco átomos de carbono.

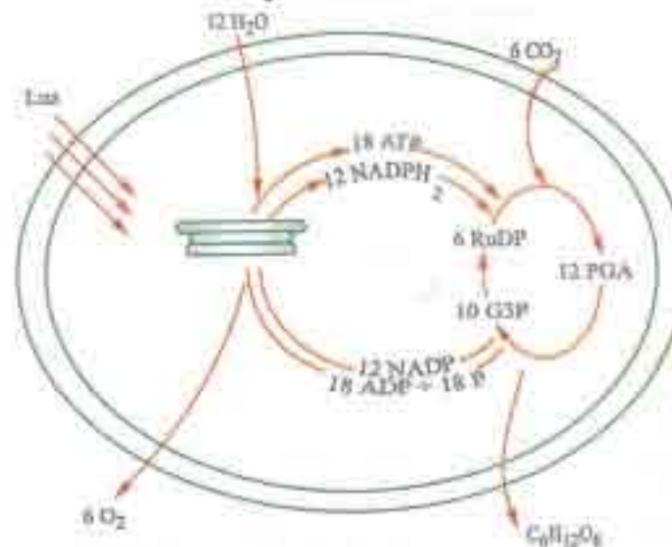
Inicialmente seis moléculas de **Ribulose difosfato (RuDP)** reagem com seis moléculas de gás carbônico, tendo como produto final doze moléculas de **ácido fosfoglicérico (PGA)**.

Duas das doze moléculas de **PGA** são usadas para produzir glicose, enquanto as outras dez

formam moléculas de **gliceraldeído-3-fosfato (G3P)**, responsáveis pela regeneração de seis moléculas de **RuDP**, caracterizando o **ciclo**.

Ao longo das reações são liberadas seis moléculas de água.

Observe o esquema abaixo:



**OBSERVAÇÃO:** Em muitos livros você encontrará em vez de **clorofila "a" P<sub>700</sub>**, apenas **clorofila "a"**; por outro lado, em vez de **clorofila "a" P<sub>680</sub>**, dirão outros autores **clorofila "b"**. Sugerimos que você aceite as duas versões. Lembre que você será orientado sempre pelo texto apresentado nas provas.

### Fatores que interferem na Fotossíntese

A fotossíntese é um processo influenciado por fatores do meio ambiente e por fatores intrínsecos à planta.

Dentre os fatores internos (da própria planta) podemos destacar o **grau de abertura dos estômatos**, a **quantidade de clorofila e estrutura da folha**, por exemplo.

Os fatores externos são a **luz**, a **temperatura** e a **concentração de CO<sub>2</sub>**.

#### Luz

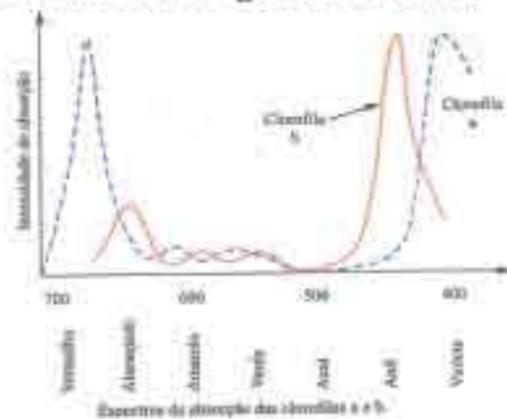
Uma parte da energia radiante que incide sobre a Terra chega na forma de luz. A luz branca do sol compreende luz com diferentes comprimentos de ondas, o que caracteriza as cores. A luz branca quando decomposta apresenta as cores primárias: violeta, anil, azul, verde, amarelo, alaranjado e vermelho.

As unidades de propagação da luz são chamadas **fótons**. **Quantum** é a quantidade de energia transportada por cada fóton.

A faixa de absorção de luz pelos principais pigmentos que é utilizada na fotossíntese será expressa a seguir:

- **Clorofila a** – os comprimentos de onda de absorção máxima estão próximos de 430nm (violeta) e 660nm (vermelho).
- **Clorofila b** – os pontos máximos de absorção estão na casa de 465nm (azul) e 660nm (vermelho).
- **Carotenóides** – carotenos e xantofilas absorvem na faixa de 400 a 500nm (azul).
- **Ficobilinas** – faixa maior de absorção entre 500 e 600nm (verde e amarelo).

Logo, podemos afirmar que a clorofila, principal pigmento, absorve mais intensamente as radiações **azul** e **vermelha** e, em intensidade menor, as radiações **verde** e **amarela**, conforme você pode observar no gráfico abaixo:



### Experiência de Engelmann

Coloca-se bactérias em suspensão numa gota d'água que contenha um filamento de alga verde. Projeta-se sobre a alga um feixe de luz que atravessa um prisma, logo, sofrendo decomposição da luz branca em seus diferentes comprimentos de onda.

As bactérias se acumulam no local onde houver maior liberação de oxigênio, resultante da fotossíntese.

Observa-se, então, que as bactérias acumulam exatamente onde a alga está sob ação das luzes vermelha e azul.

### Ponto de saturação luminoso

A taxa de fotossíntese aumenta proporcionalmente ao aumento da intensidade luminosa, porém, até certo ponto.

A partir de uma determinada intensidade luminosa a fotossíntese não mais aumenta. Exatamente a esse ponto é que se denomina **ponto de saturação luminoso**.

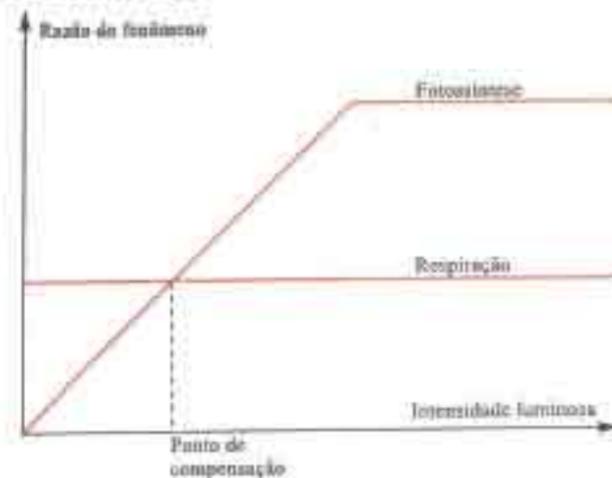
### Taxa fotossintética

Medindo-se a quantidade de oxigênio que é desprendido da planta em um determinado tempo, tem-se a medida da intensidade da fotossíntese.

### Ponto de compensação fótico (luminoso)

A intensidade luminosa em que as taxas de fotossíntese e de respiração se anulam, chamamos **ponto de compensação luminoso**.

Podemos concluir que ao receber luz no seu ponto de compensação, a planta consome na respiração toda a glicose e todo o oxigênio produzidos pela fotossíntese. Assim também o gás carbônico liberado pela respiração será utilizado pela fotossíntese.

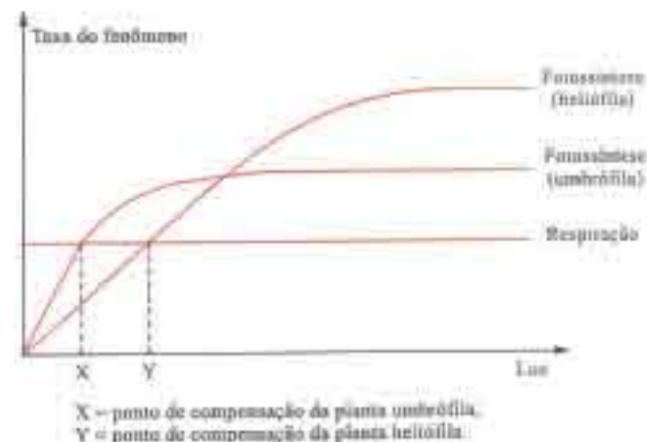


Você pode concluir que se a planta for mantida no seu ponto de compensação ou abaixo dele, não terá condições de sobreviver, considerando que não haverá disponibilidade de alimento para a sua manutenção nos períodos de ausência de luz, ou seja, sem fotossíntese.

Por outro lado, a planta produzirá glicose e oxigênio acima do seu consumo se for mantida numa intensidade luminosa acima do seu ponto de compensação. Dessa forma ela conseguirá se manter e crescer por haver um lucro orgânico disponível.

Em função do ponto de compensação as plantas podem ser classificadas em:

- **Heliófilas (de sol)** – são aquelas que apresentam elevado ponto de compensação.
- **Umbrófilas (de sombra)** – são as plantas com baixo ponto de compensação.



X = ponto de compensação da planta umbrófila.  
Y = ponto de compensação da planta heliófila.

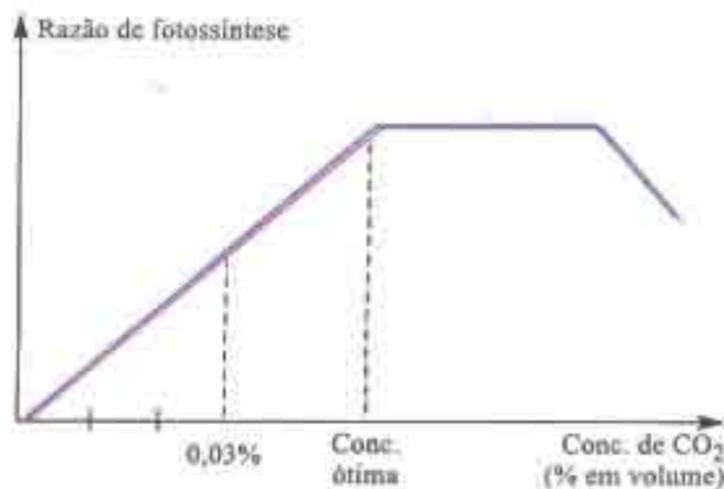
## GÁS CARBÔNICO

Na atmosfera a taxa de  $\text{CO}_2$  é de aproximadamente 0,04%. No entanto, a taxa ideal para a realização da fotossíntese está em torno de 0,2 a 0,3%. Logo, mantendo-se as outras variáveis constantes, ao se aumentar a taxa de  $\text{CO}_2$ , melhora-se o rendimento da fotossíntese.

No entanto, se elevarmos de forma progressiva o gás carbônico, a taxa de fotossíntese aumenta até certo limite, além do qual ele passa a ser tóxico, promovendo o fechamento dos estômatos, cessando, portanto, o processo.

Pesquisas com certos vegetais, como tomates e pepinos, mostram que o cultivo a 0,1% de  $\text{CO}_2$  duplica a velocidade de crescimento destas plantas.

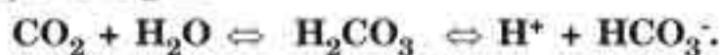
A técnica aplicada em certas estufas que consiste na elevação do teor de  $\text{CO}_2$  é denominada **adubação por  $\text{CO}_2$** .



### Mecanismo de entrada do $\text{CO}_2$

A utilização do  $\text{CO}_2$  pelo cloroplasto diminui sua concentração no interior da folha. Como consequência, por **difusão**, o  $\text{CO}_2$  atmosférico penetra na folha através dos estômatos.

O  $\text{CO}_2$  junto à parede celular hidratada sofre a reação a seguir:



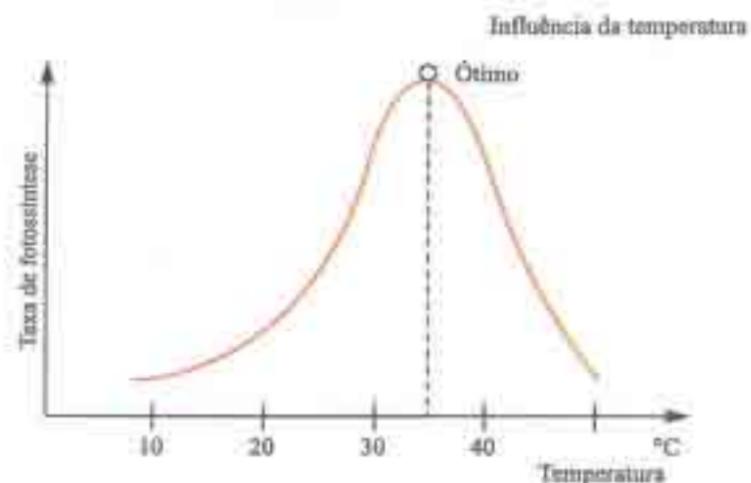
Desta forma os íons  $\text{HCO}_3^-$ , em função da diferença de concentração, atingem o cloroplasto.

## TEMPERATURA

A temperatura atua de forma importante sobre o funcionamento enzimático. Também exerce influência maior na fase escura (química) do que na fase clara (fotoquímica).

A influência da temperatura segue os princípios básicos da química, ou seja, a cada aumento de  $10^\circ\text{C}$ , a velocidade das reações enzimáticas dobra.

A temperatura ótima para a realização da fotossíntese está entre  $30^\circ\text{C}$  e  $40^\circ\text{C}$ . Você deve lembrar que em temperaturas muito elevadas, acima de  $45^\circ\text{C}$ , por exemplo, as enzimas sofrem desnaturação, e o fenômeno cessa.



### Princípio do fator limitante

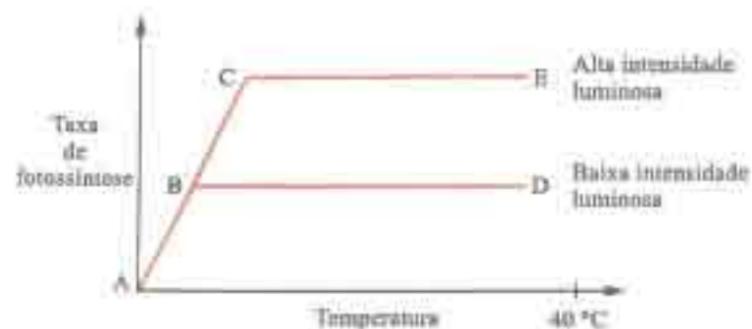
Fatores como a intensidade luminosa, a concentração de gás carbônico e a temperatura atuam de forma isolada, porém, relacionada, sobre o mesmo processo que é a fotossíntese.

O **princípio do fator limitante** diz, na sua definição, que quando um determinado processo é influenciado por vários fatores que agem isoladamente, a velocidade do fenômeno estará limitada ao fator de menor intensidade.

Assim, se analisarmos dois a dois, poderemos estudar o efeito somatório, desde que o terceiro permaneça constante. Define-se, desta forma, qual deles é limitante sobre a velocidade da fotossíntese, isto é, qual naquele momento está em menor intensidade.

### Teste 1

Utilizando-se a variação da temperatura e da intensidade luminosa, com a concentração de  $\text{CO}_2$  constante.

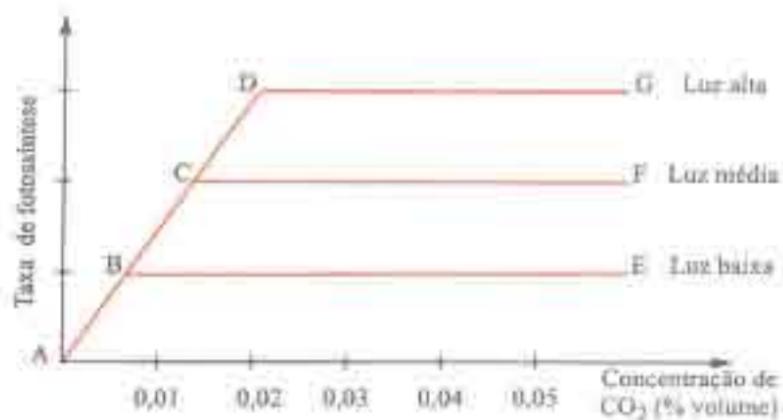


### Analisando:

- Nos intervalos A-B e A-C, o fator limitante é a temperatura, pois, em se mantendo baixa a intensidade luminosa, com a elevação da temperatura houve aumento na taxa de fotossíntese.
- Nos intervalos B-D e C-E, considerando que ao se elevar a temperatura a taxa de fotossíntese não alterou, aquela já não é o fator limitante. Logo, nestes intervalos, o fator limitante passou a ser a intensidade luminosa. Você observa que se aumentarmos a intensidade luminosa haverá, também, o aumento da taxa de fotossíntese.

### Teste 2

Vamos manter a temperatura constante e analisar o efeito das variações do  $\text{CO}_2$  e da intensidade luminosa, esta em intensidade baixa, média e alta.



### Processando a análise:

- Observe como nos intervalos A-B, A-C e A-D, em se aumentando a concentração de  $\text{CO}_2$  há o aumento da taxa de fotossíntese. Conclui-se, então, que nestes intervalos o  $\text{CO}_2$  é o fator limitante.
- Já nos intervalos B-E, C-F e D-G, o aumento da concentração de  $\text{CO}_2$  já não provoca o aumento da taxa de fotossíntese. Nestes intervalos o fator limitante passou a ser a intensidade luminosa. Você comprova ao observar que intensidades crescentes de luminosidade são acompanhadas do crescimento da taxa de fotossíntese.

## AULA Nº 11

### METABOLISMO ENERGÉTICO

#### RESPIRAÇÃO CELULAR AERÓBICA

##### Introdução

A grande porta de entrada da matéria e da energia nos sistemas vivos deste Planeta é a fotossíntese. Quimicamente, são reações antagônicas, porém, energeticamente são processos complementares.

Através da fotossíntese a energia radiante do sol é acumulada na molécula da glicose sob forma de energia química. A partir daí são produzidas todas as outras moléculas de carboidratos, de lipídios e proteínas.

A energia armazenada nas ligações covalentes entre os átomos de uma molécula é, no entanto, muito alta. Poderíamos até comparar a energia elétrica que é transportada das usinas elétricas para os centros consumidores: alta concentração energética, porém, de difícil acesso. Isto significa que a energia armazenada nas moléculas orgânicas que nos servem de alimento, açúcares, gorduras e proteínas, não está disponível para nossas células. Por exemplo, num mol de glicose existem armazenadas em torno de 690.000 calorias de energia potencial. Se fosse liberada de uma só vez corresponderia a entrada de energia elétrica de alta voltagem na sua casa: queimaria tudo.

Portanto, qual é a fonte de energia necessária utilizada pela célula para todas as suas atividades?

Nos centros consumidores de energia elétrica há **transformadores** que permitem a passagem da energia transportada em alta voltagem (alta tensão), aos poucos, para baixa voltagem (baixa tensão), possibilitando o seu uso.

Pois, nas células ocorre algo semelhante. Já que a energia acumulada nas macromoléculas é muito alta e, portanto, não acessível à célula, ocorrem reações de oxirredução que permitem, aos poucos, a passagem desta energia para os chamados compostos intermediários. Nestes

compostos há uma pequena concentração energética, porém, de fácil acesso para a célula.

De todos os compostos intermediários, o mais importante é o ATP. Cada vez que uma ligação fosfato é rompida, transformando o ATP em ADP e P, há a liberação de energia entre 8000 e 10000 calorias por mol. O ATP está presente em todas as células sendo que suas duas ligações químicas terminais têm energia potencial bem maior do que as outras ligações químicas.

O processo que faz o papel do transformador é a **respiração celular**.

Podemos então caracterizar a **respiração celular como um processo de lenta combustão em que são liberados, gradualmente, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O e energia**.

##### Respiração Celular

A respiração celular é um processo de oxirredução que libera energia com um aceptor final de hidrogênios, que é uma substância inorgânica.

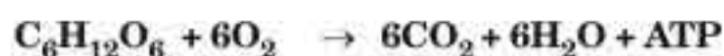
Se o aceptor final for o oxigênio, a respiração é dita aeróbica; se for uma outra substância, e não o oxigênio, a respiração é chamada anaeróbica.

Vale lembrar que a oxidação consiste na retirada de elétrons de um composto, e, redução, é a adição de elétrons. No entanto, a oxidação de compostos orgânicos consiste não na remoção de elétrons livres, mas na retirada de átomos de hidrogênio (H<sub>2</sub>). Logo, toda a oxidação é obrigatoriamente acompanhada de uma redução.

##### Respiração Celular Aeróbica

Processo de oxirredução em que a glicose, combustível base, é o doador de H<sub>2</sub> e o oxigênio é o aceptor final.

A equação geral da respiração celular pode ser expressa como segue:



## Etapas da Respiração Celular

Normalmente, os autores de ensino médio dividem a respiração celular em três etapas: **glicólise**, **ciclo de Krebs** e **cadeia respiratória**.

Embora não haja mudança substancial, vamos adotar uma classificação, segundo cremos, didaticamente mais clara. Vamos dividir em **glicólise e oxidação fosforilativa ( formação da acetil coenzima-A, ciclo de Krebs e sistema transportador de elétrons)**.

### Glicólise

Nesse processo há o envolvimento de um "pool" enzimático de aproximadamente onze enzimas, situadas no **hialoplasma**.

Para iniciar o processo a glicose se liga a um grupamento fosfato, formando a **glicose-6-fosfato**. Há o consumo de 2 ATPs, ou seja, 20000cal/mol, que são transformados em 2 ADPs.

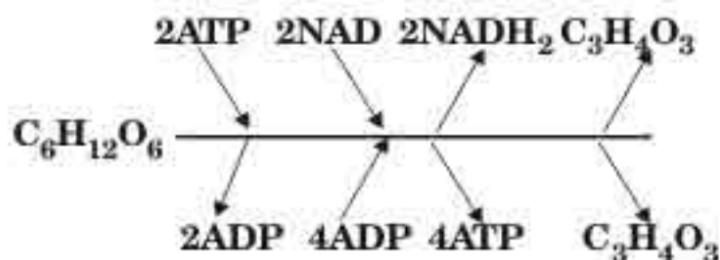
Quimicamente cada molécula de **glicose-6-fosfato** (hexose) é transformada em duas moléculas de **ácido pirúvico (piruvato)** –  $C_3H_4O_3$  (triose).

Energeticamente esse conjunto de reações libera energia para a formação de 4 moléculas de ATP a partir de 4 moléculas de ADP. Há a liberação também de 4 hidrogênios que, se ficarem livres tornarão a célula perigosamente ácida, têm comoceptor final o NAD. Como cada molécula de NAD se liga a dois átomos de hidrogênios livres, totalizando 2 moléculas de  $NADH_2$ .

Podemos resumir a reação:



Assim, podemos representar o conjunto de reações como segue:



Considera-se que em havendo o consumo de 2 ATPs para que a glicólise ocorra e a produção de 4 ATPs, o lucro energético real é de apenas 2 ATPs. Como a **glicólise** ocorre sem a presença do oxigênio livre, é dita a **fase anaeróbica** da respiração celular.

## OXIDAÇÃO FOSFORILATIVA

Esta etapa ocorre no interior da **mitocôndria** e como tem a participação do oxigênio, é chamada de **fase aeróbica** da respiração celular.

### Formação da acetilcoenzima A

A produção da acetilcoenzima A envolve a participação da **coenzima A** e do **ácido acético (acetato)** que, por sua vez, deriva dos piruvatos originários da glicólise ou da oxidação dos ácidos graxos.

Já no interior da mitocôndria o **piruvato** (com três carbonos) sofre uma descarboxilação (perde um átomo de carbono) e se transforma em **acetato** (com dois átomos de carbono).

Para que esse processo ocorra há a participação de um grupo de quatro enzimas e de várias coenzimas, como as vitaminas  $B_1$ ,  $B_2$  e biotina.

O **acetato**, então, combina-se junto a **coenzima A** para formar a **acetilcoenzima A**.

O resultado energético deste processo é a produção de seis moléculas-grama de ATP por molécula-grama de glicose consumida. São produzidas também  $2NADH_2$ .

### Ciclo de Krebs

O ciclo de Krebs também pode ser chamado de **ciclo do ácido tricarboxílico** ou **ciclo do ácido cítrico**. Este ciclo foi descrito em 1937 por Hans Krebs, bioquímico inglês.

A formação da acetilcoenzima A e o ciclo de Krebs ocorrem na matriz mitocondrial.

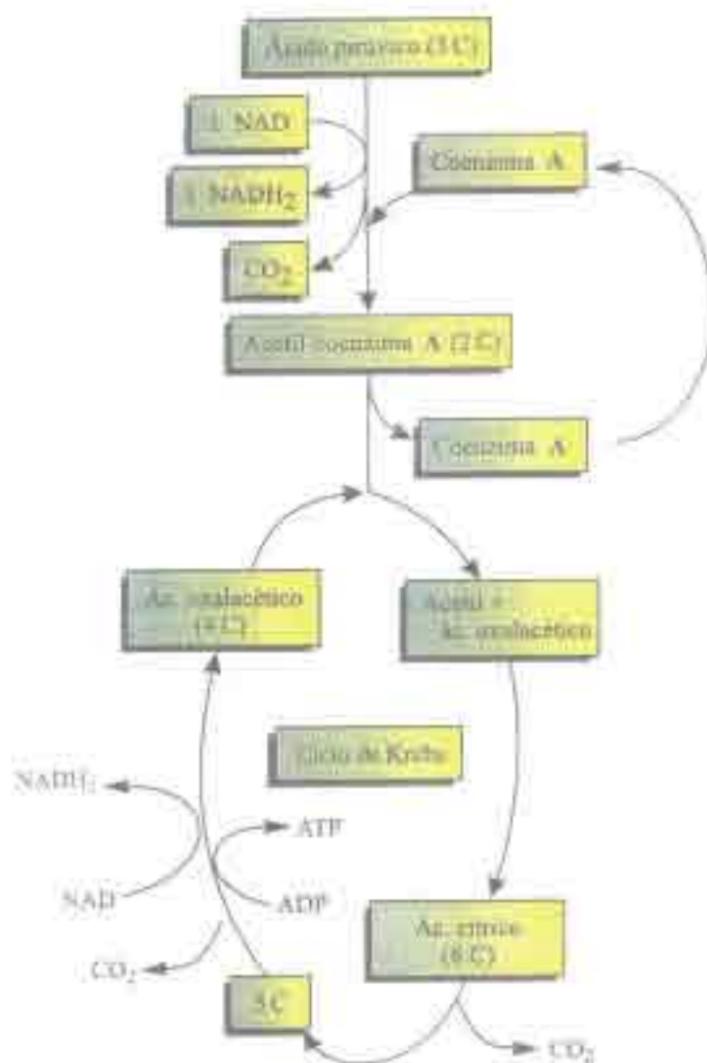
Inicialmente a **coenzima A** sofre condensação pelo **ácido oxalacético (oxalacetato)**; composto com quatro átomos de carbono), produzindo um composto denominado **ácido cítrico (citrato)**; com seis átomos de carbono).

A partir do citrato há a ação de enzimas ditas **desidrogenases** e **descarboxilases**. As desidrogenases retiram **hidrogênios** que serão decompostos em **prótons** e **elétrons**. Os elétrons são transportados por moléculas como o **NAD**. Os prótons ( $H^+$ ) são liberados para o meio. As descarboxilases permitem a retirada de carbonos que serão eliminados sob a forma de  $CO_2$ . Após esta série de reações haverá a produção, novamente, de ácido oxalacético, que, por sua vez, reinicia o ciclo.

Energeticamente o processo é pobre, pois libera energia para a síntese de duas moléculas de ATP por molécula-grama de glicose consumida.

Mesmo com um papel fundamental para o processo da respiração celular, o ciclo de Krebs é uma das vias metabólicas mais importantes da célula, fornecendo, por exemplo, substâncias necessárias para a produção de aminoácidos e carboidratos.

Analisando quimicamente, a grande importância do ciclo de Krebs é a produção dos hidrogênios, decompostos em prótons e elétrons, e gás carbônico. São elaboradas **6 moléculas de NADH<sub>2</sub>** e **2 moléculas de FADH<sub>2</sub>**.



Esquema ilustrando o ciclo de Krebs

### Sistema transportador de elétrons (cadeia respiratória)

O Processo ocorre nas cristas mitocondriais, sendo que as enzimas responsáveis pelo acoplamento da energia liberada para a produção de ATP estão nos **corpos elementares** ou **F<sub>1</sub>**.

As moléculas de **NADH<sub>2</sub>** e **FADH<sub>2</sub>**, geradas nas etapas anteriores, cedem os hidrogênios para o oxigênio. Cada NADH<sub>2</sub> é capaz de gerar 3ATPs, enquanto que cada FADH<sub>2</sub>, 2 ATPs.

O **NADH<sub>2</sub>** cede os elétrons do hidrogênio em estado de alta energia para os **citocromos** (cromoproteínas que contêm ferro na molécula) e

estes é que formam a chamada cadeia transportadora de elétrons, ou cadeia respiratória. Se o NADH<sub>2</sub> transferisse os elétrons dos hidrogênios diretamente para o oxigênio haveria uma grande liberação de energia que a célula não poderia aproveitar.

Os citocromos são chamados de **b, c, a e a<sub>3</sub>**. Cada vez que um elétron é transferido de um citocromo para o outro, ele passa para um nível energético mais baixo, logo perde energia. Por isso, podemos dizer que os elétrons, no sistema transportador de elétrons, transitam em níveis decrescentes de energia.

A energia liberada é utilizada para a dita **fosforilação oxidativa**, em que há a produção de moléculas de ATP, a partir de ADP e P. Os elétrons quando voltarem ao estado energético normal, serão recebidos pelo oxigênio, formando **O<sub>2</sub><sup>-</sup>**, que, por sua vez, reage junto aos prótons (**H<sup>+</sup>**), para formar **H<sub>2</sub>O**.

Portanto, o verdadeiro papel do oxigênio na respiração celular é ser o **aceptor final de hidrogênios**. Sem a presença do **O<sub>2</sub>**, os hidrogênios acumulariam na célula elevando a acidez para patamares insustentáveis.

Outro questionamento bastante comum: de onde vem esta energia extra dos elétrons que passam pelo sistema de citocromos. Esta energia resulta da absorção e transformação da energia luminosa do sol em energia química pela clorofila a P<sub>700</sub> durante a etapa acíclica da fase clara da fotossíntese. Logo, todos os elétrons que transitam pelos sistemas transportadores de elétrons de todas as mitocôndrias, um dia passaram pela fotossíntese.

O sistema transportador de elétrons é a etapa mais rica da respiração celular. São produzidos 26 moléculas de ATP por molécula-grama de glicose consumida.

### Resultado energético total

Se somarmos os 2 ATPs do lucro energético da glicose, os 6 ATPs da formação da acetilcoenzima A, os 2 ATPs do ciclo de Krebs e os 26 ATPs do sistema transportador de elétrons, teremos um aproveitamento total de 36 ATPs por molécula de glicose consumida.

Este saldo energético de 36ATPs ocorre, por exemplo, em fibras musculares esqueléticas e nos neurônios. O fato acontece porque o NADH<sub>2</sub> formados na glicólise não conseguem atravessar a membrana mitocondrial. Assim, os elétrons são transferidos para um outro transportador no interior da mitocôndria, o que ocasiona perda energética. Como consequência, cada NADH<sub>2</sub>

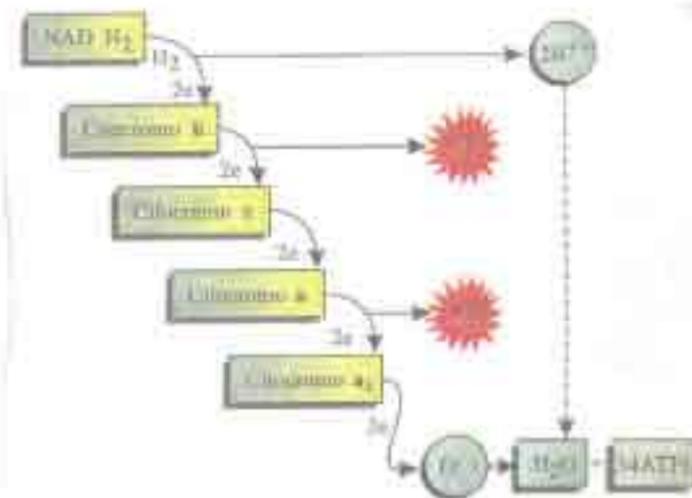
produz 2ATPs e não três, como normalmente são gerados.

Em outras células, como as hepáticas, renais e cardíacas, ocorre transferência integral dos  $\text{NADH}_2$  para a mitocôndria, em função de um sistema enzimático próprio. Assim, são produzidos 3ATPs por  $\text{NADH}_2$  da glicólise, totalizando no final do processo 38ATPs. Tradicionalmente os textos dividem a respiração celular nas etapas: glicólise, ciclo de Krebs e cadeia respiratória. Usam uma célula produtora de 38ATPs como modelo. Portanto, a glicólise produz um saldo energético de 2 ATPs, 2ATPs para o ciclo de Krebs e 34ATPs na cadeia respiratória, com um saldo total de 38 ATPs. Você pode considerar a seguinte relação tradicional:

- Entram na cadeia respiratória 10  $\text{NADH}_2$ , gerando 30 ATPs e 2 $\text{FADH}_2$ , formando 4ATPs;
- Logo, total do sistema transportador de elétrons: 34ATPs;
- Glicólise: 2ATPs; ciclo de Krebs: 2ATPs;
- Soma total: 38ATPs.

Logicamente você vai considerar o texto mesmo porque há autores que não descontam os 2ATPs gastos para que ocorra a glicólise, fechando sua conta em 38 ou 40ATPs.

Considere ainda que em bactérias e cianobactérias por não possuírem mitocôndrias, as duas últimas etapas da respiração celular ocorrem na parte interna da membrana plasmática (no mesossoma). O saldo energético nestes organismos é de 38ATPs.



Esquema ilustrando a cadeia respiratória.

## AULA Nº 12

## CICLO CELULAR

## Introdução

A grande maioria das células vivencia dois momentos distintos: ou está em divisão celular ou não está em divisão celular. A fase em que a célula não está se dividindo se chama **intérfase** e a divisão celular pode ser tanto a **mitose** quanto a **meiose**.

Considere que um organismo como o nosso humano possui dois tipos de células, considerando o número de cromossomos, as **células somáticas** e as **células reprodutoras (gametas)**. As células somáticas constituem e mantêm o nosso organismo enquanto os gametas são produzidos para que se garanta uma nova geração, perpetuando o DNA.

As células somáticas possuem os dois lotes cromossômicos, um de origem paterna e outro de origem materna, sendo ditas **diplóides** ou "**2n**" **cromossomos**. Já os gametas possuem um único conjunto cromossômico, ou o paterno ou o materno, sendo ditas células **haplóides** ou "**n**" **cromossomos**.

A mitose é a divisão celular que ocorre para formação das células somáticas, onde uma se divide e produz duas outras células com o mesmo

número de cromossomos. A mitose é o processo que garante também a reprodução assexuada em unicelulares (cissiparidade). Em pluricelulares a mitose é responsável pela formação, crescimento e manutenção do organismo.

A meiose, por sua vez, ocorre nas células germinativas para a produção dos gametas, partindo de uma célula diplóide, haverá separação dos lotes cromossômicos, formando quatro células haplóides, no final.

Quando falamos em ciclo celular devemos considerar dois momentos: a **intérfase** e a **mitose**. A duração do ciclo celular depende do tipo de célula considerada e do estado fisiológico em que a mesma se encontra. Há células cujo ciclo celular é completado em pouco mais de uma hora, outras, porém, levam vários dias. O ciclo celular acaba quando ela se finalmente se divide.

**INTÉRFASE**

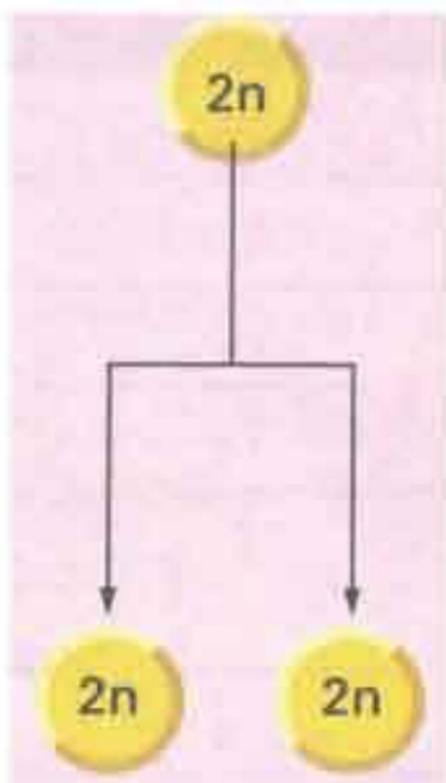
Esta é a etapa, normalmente, em que a célula passa a maior parte do seu tempo (mais de 90% do seu ciclo). Nesta etapa a célula cresce e executa a maior parte de suas funções, logo, caracteriza-se a **intérfase** por ser o momento de **maior atividade metabólica celular**.

Durante a intérfase há três sub-fases que marcam o desenvolvimento celular: **G<sub>1</sub>**, **S** e **G<sub>2</sub>**.

**FASE G<sub>1</sub>** ("gap one" = primeiro intervalo)

Constitui-se na fase de maior variabilidade em termos de duração, sendo a fase **pós-mitótica**. Podemos caracterizar como o período situado entre o fim da mitose e o início da fase S. Nesta fase a célula cresce para se tornar adulta, por exemplo. Caracteriza-se, portanto, pela intensa **síntese de RNA** e de **proteínas**. Nas células lábeis a fase G<sub>1</sub> é relativamente de curta duração. O epitélio do intestino delgado, por exemplo, é renovado a cada três dias. Um outro exemplo de tecido em que a fase G<sub>1</sub> é muito curta corresponde ao da medula óssea, responsável pela formação dos eritrócitos e dos leucócitos granulócitos. A epiderme é renovada a cada vinte dias.

Há tecidos, porém, em que as células se reproduzem muito raramente, como as células corticais no caule das plantas. Outros ainda, aqueles formados por células permanentes, em

**Mitose**

que as células não se reproduzem, como por exemplo os neurônios. Como as células não se dividem, permanecendo sempre em intérfase, fala-se que estão na fase  $G_0$  (**G-zero**).

#### FASE "S" ("synthesis"= síntese)

Na fase "S" ocorre a **duplicação do DNA** celular, ou seja, a duplicação do material genético da célula. Simultaneamente são fabricadas proteínas chamadas histonas que se agregam para formar o filamento cromossômico básico. O cromossomo, nesta fase, duplicado, encontra-se formado por duas cópias, as **cromátides-irmãs**, ligadas pelo **centrômero**.

Normalmente, também nesta fase ocorre a duplicação dos centríolos.

#### FASE $G_2$ ("gap two" = segundo intervalo)

Esta fase é chamada de **pré-mitótica**, ou seja, é o período que separa o fim da fase S do começo da mitose. Ocorrem aqui todos os procedimentos necessários para que a célula experimente a divisão celular. O nível metabólico diminui de forma acentuada. Há pouca síntese de RNA e de proteínas, processos que serão interrompidos durante a divisão celular. Nesta etapa, por exemplo, há a síntese dos componentes para os microtúbulos que irão formar o fuso.

#### Conclusão

Um dos eventos, sem qualquer dúvida, mais importantes da intérfase é a duplicação dos cromossomos (DNA) antes da divisão celular. Assim, podemos construir um gráfico mostrando a quantidade de DNA no núcleo de uma célula em função do tempo, onde estão indicadas, inclusive, as etapas da mitose: prófase, metáfase, anáfase e telófase.

Você pode observar no gráfico acima que a quantidade de DNA durante a fase  $G_1$  é "x". Como durante a fase S ocorre duplicação do DNA nuclear, a quantidade passa a ser "2x". De  $G_2$  até o final da metáfase, o teor de DNA se mantém em "2x". Desde o início da anáfase até a próxima intérfase, a quantidade de DNA volta a ser "x".

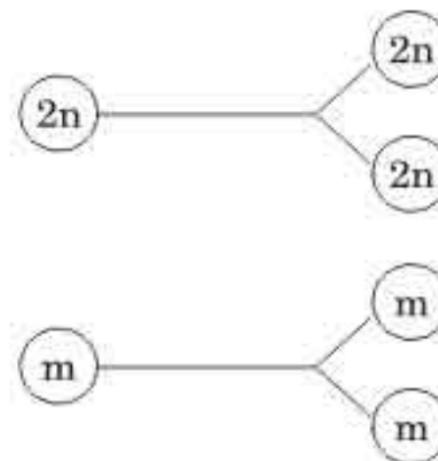
## MITOSE

### Introdução

A mitose é a divisão celular que ocorre em células somáticas e em alguns tipos de células germinativas de animais e de vegetais.

Podemos destacar como principal características da mitose a **formação de células-filhas geneticamente idênticas à célula-mãe**. Desta forma, todas as estruturas celulares e o número cromossômico são mantidos.

Assim, resumidamente, uma célula diplóide produz duas células-filhas também diplóides, e, uma célula haplóide produz duas células também haplóides.



Já observamos que a mitose garante a reprodução em organismos unicelulares. Nos organismos pluricelulares a mitose garante a **formação, o crescimento, a manutenção, a cicatrização e a regeneração tecidual**.

A mitose é um processo contínuo, com duração aproximada de uma hora. Mas para uma melhor compreensão do fenômeno, foi dividida em quatro etapas, a partir dos seus eventos mais marcantes: **prófase, metáfase, anáfase e telófase**.

### Mitose Animal

A mitose animal é dita **cêntrica** (possui centríolo) e **astral** (com áster – filamentos protéicos que partem dos centros celulares).

## Prófase

Etapa inicial da divisão celular cujo ponto de partida é marcado pelo começo da **condensação cromossômica**. Os **cromossomos** enrolam sobre si mesmos (**espiralização**), diminuindo o comprimento e aumentando o diâmetro, tornando-se visíveis. São observadas as duas cópias do mesmo cromossomo ligadas pelo centrômero, as **cromátides-irmãs**.

Concomitantemente à condensação cromossômica os **nucléolo** vão se tornando menos evidentes, até que **desaparecem** por completo no final da prófase. Como durante a mitose a célula não sintetiza proteínas, logo, não há necessidade de produzir RNA-r, depositados nos nucléolos, culminando, portanto, com o seu completo desaparecimento.

Ocorre divisão do centro celular. Havendo centríolos, eles sofrem duplicação. Assim, cada novo centro celular terá dois centríolos.

Os microtúbulos do citoesqueleto se desorganizam para liberar seus monômeros, as proteínas ditas tubulinas, que serão utilizadas para compor o **fuso mitótico**. Surgem as fibras do áster e as fibras polares. Os centros celulares funcionam como centros organizadores dos microtúbulos, orientando as fibras. As fibras do áster ficam dispostas radialmente em torno de cada centro celular. As duas estruturas formadas recebem o nome de **áster** (centro celular + proteínas dispostas radialmente) e ficam localizadas, lado a lado, bem próximas à carioteca. O resultado da interação das fibras de um e de outro áster é o afastamento dos centros celulares para os pólos opostos da célula. As fibras longas que partem de cada áster em direção ao equador da célula são ditas **fibras polares**.

No final da prófase há o aparecimento, no centrômero de cada cromossomo duplicado, de duas estruturas denominadas **cinetócoros**, orientados em direções opostas. Em verdade, os cinetócoros correspondem a um novo centro organizador de microtúbulos, e a partir daí, haverá a formação das **fibras cromossômicas (cinetocóricas)**. Assim, o fuso mitótico é constituído pelas **fibras polares** e pelo **áster** (organizados pelo centro celular) e pelas **fibras cromossômicas** (organizadas pelos cinetócoros).

Rompe-se, então, o envoltório nuclear, deixando de haver limite físico entre o conteúdo nuclear e citoplasmático. Os centros celulares chegam aos pólos opostos da célula, partindo dos mesmos, as fibras polares que se posicionam sobrepostas no equador celular.

**A interação das fibras cromossômicas e fibras polares é responsável pela orientação dos movimentos cromossômicos durante a divisão celular.**

Conclui-se, assim, que os cromossomos se prendem às fibras polares através das fibras cromossômicas. Uma vez organizados os cromossomos se movimentam em direção ao equador da célula, como resultado do deslizamento das fibras cromossômicas sobre as polares naquela direção.

A chegada dos cromossomos à região equatorial da célula marca o fim da prófase.



## Metáfase

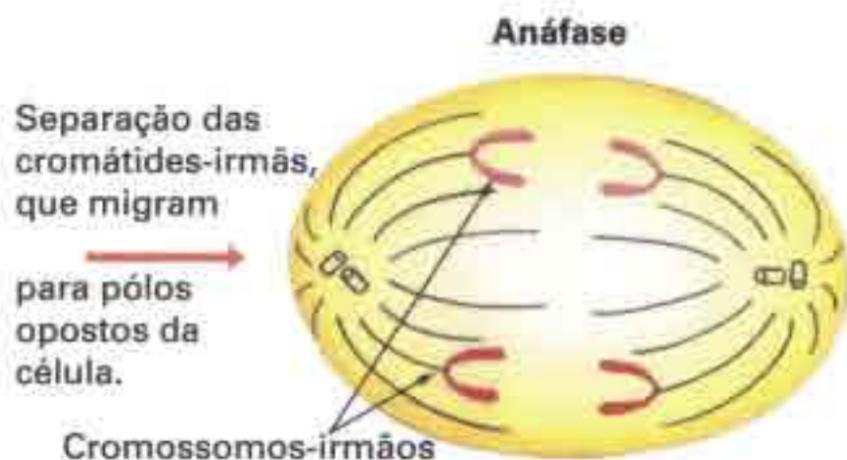
No início da metáfase o **fuso mitótico** ou **acromático** está completamente **formado**. As fibras do fuso ocupam a área entre os dois centros celulares, estes situados nos pólos opostos da célula. Antigamente, acreditava-se que a presença dos centríolos era fundamental para a formação do fuso e para a divisão celular. Atualmente, sabe-se que não. Células vegetais se dividem sem centríolos e células animais cujos centríolos foram destruídos por raios *laser*, formaram, normalmente o fuso e entraram em divisão.

Os cromossomos permanecem presos às fibras polares por intermédio das fibras cromossômicas e alinhados num mesmo plano na região equatorial da célula, sendo este fenômeno a grande marca da metáfase, formando a chamada **placa equatorial** ou **metafásica**. A forma como os cromossomos se prendem ao fuso permite o correto direcionamento das cromátides-irmãs, cada qual voltada para um dos pólos da célula.

Os cromossomos permanecem aí estacionados por um tempo relativamente longo em comparação às outras etapas da mitose. Nesse intervalo de tempo há uma movimentação de estruturas celulares, de forma equitativa, para os pólos opostos da célula.

A metáfase representa a etapa em que os cromossomos atingem o máximo de sua condensação. Exatamente, por isso, para estudar cromossomos são usadas substâncias, como a colchicina, que desorganizam as proteínas do fuso, paralisando a mitose na metáfase. Fato este que os cientistas aproveitam para estudar os cromossomos. Para o estudo dos cromossomos humanos, emprega-se colchicina para paralisar a divisão de leucócitos em metáfase.

O final da metáfase é marcado com a divisão do centrômero e o afastamento das cromátides-irmãs, que serão conduzidas para os pólos opostos da célula.



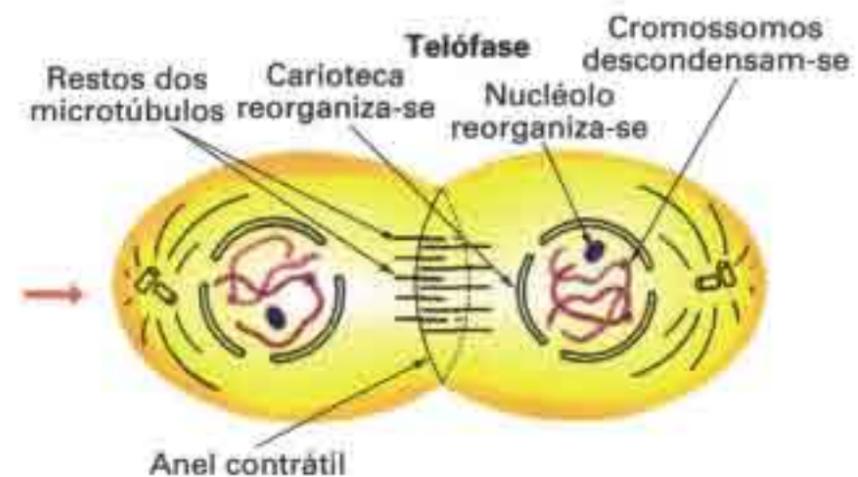
## Anáfase

Assim que as cromátides-irmãs se separam, passam a ser chamadas **cromossomos-irmãos (ou filhos)**, os quais serão puxados, sob orientação das proteínas do fuso, para os pólos opostos da célula.

A hipótese atual para explicar esse deslocamento fala no deslizamento das fibras cromossômicas sobre as fibras polares. Caso, por algum motivo, o fuso não seja formado, a mitose segue seu trâmite normal até a metáfase, quando, então, as cromátides não se separam e o processo paralisa.

Como já observamos anteriormente com o uso, por exemplo, da colchicina.

O fim da anáfase é marcado pela chegada dos cromossomos-irmãos nos pólos da célula. Desta forma cada pólo recebe exatamente o mesmo material genético.



## Telófase

Consiste na última etapa da mitose e, podemos até falar, que ocorre exatamente o contrário da prófase.

Ocorre a reorganização do envoltório nuclear atração dos fragmentos membranosos, em torno dos dois conjuntos cromossômicos situados nos pólos opostos, resultantes da ruptura havida na prófase. Esses fragmentos tomam posição ao redor dos cromossomos e formam novos envoltórios nucleares.

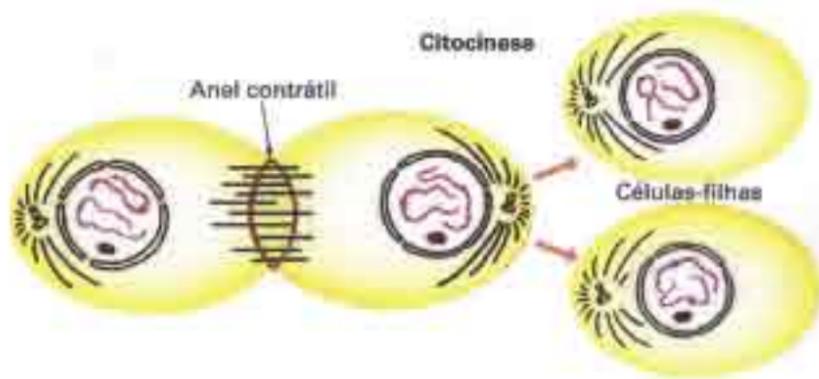
Os **cromossomos** sofrem **desespiralização (descondensam-se)** e inicia a produção de RNA-r, provocando o **reaparecimento dos nucléolos**. O cinetócoro e as fibras cromossômicas desaparecem.

Ao final da telófase há dois núcleos, contendo material genético idêntico, e com o mesmo aspecto de um núcleo interfásico. Esse processo de duplicação do núcleo da célula é dito **cariocinese**.

Em células de alguns protozoários e de animais ocorre um estrangulamento da região mediana (invaginação da membrana plasmática ao redor da placa equatorial) da célula. Este estrangulamento quando encontra o que restou das fibras polares, forma uma ponte muito estreita entre os dois pontos da membrana, de forma que as novas células acabam se separando.

Esta divisão resulta da ação dos microfilamentos de actina do citoesqueleto que, associados à miosina, se organizam sob a membrana plasmática e em torno da placa equatorial. Essa formação é denominada **anel contrátil**. A força de contração gerada pela reação actina-miosina provoca uma contração suficiente para diminuir, progressivamente, o diâmetro do anel, obrigando a célula a se dividir em duas.

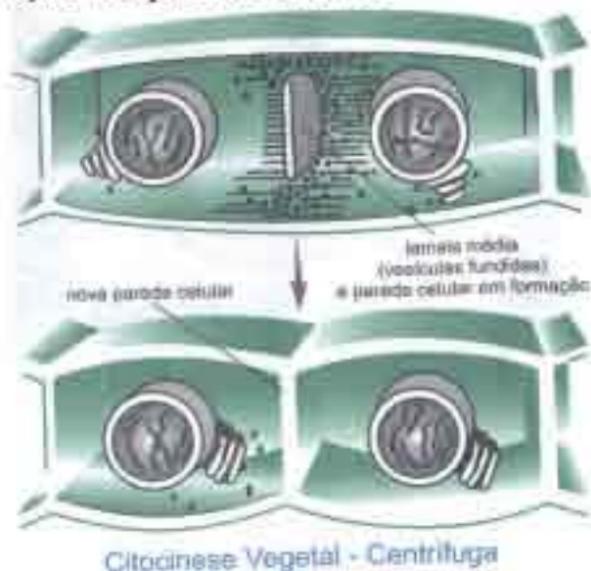
A divisão, finalmente, do citoplasma é chamada **citocinese** que marca o final da telófase e o próprio encerramento do processo de divisão celular. Considerando que a divisão do citoplasma da célula animal avança da periferia para o centro, o processo foi denominado de **citocinese centrípeta**.



## Mitose em célula vegetal

Nas células vegetais não há a presença de centríolos – **mitose acêntrica** – e não há formação do áster – **mitose anastral**. A citocinese das células vegetais e de muitas algas ocorre a partir de uma placa celular, portanto, de dentro para fora e dita, por isso, **citocinese centrífuga**.

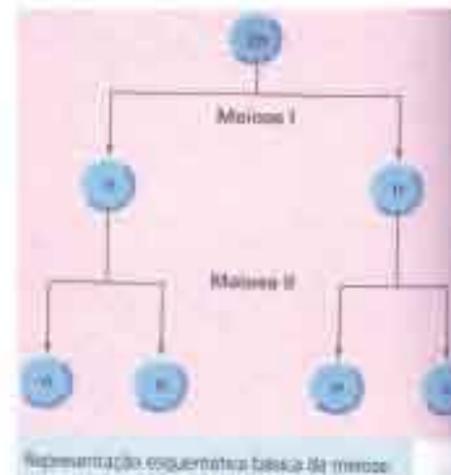
Durante a telófase a célula vegetal forma vesículas membranosas, a partir do golgiossomo, repletas de **pectina**. O conjunto destas vesículas é denominado **fragmoplasto**. As vesículas de pectina se acumulam na região central da célula, formando uma placa celular; e avançam em direção à região periférica da célula, originando a **lamela média**. Na seqüência do processo há a formação da parede celular.



## MEIOSE

### Introdução

A meiose é o tipo de divisão celular que ocorre nas células germinativas para formar os gametas. A principal característica da meiose é redução do número de cromossomos ao meio, ou seja, uma célula diplóide (com dois lotes cromossômicos) produz quatro células haplóides (cada qual contendo apenas um lote cromossômico).



A grande importância da meiose é a **manutenção da constância do número de cromossomos ao longo das gerações**. Não houvesse meiose o número de cromossomos de cada espécie dobraria a cada geração. Quando da fusão dos gametas, durante a fecundação, ocorre a formação do zigoto que é uma célula diplóide, pois recebe esta um lote cromossômico de cada gameta, masculino e feminino, refazendo o número total de cromossomos da espécie. A partir daí a mitose é o processo através do qual o zigoto vai se dividir e as células embrionárias também, até que se forme um novo indivíduo.

A meiose consta de duas divisões celulares consecutivas, sendo, didaticamente, dividida em **Meiose I e Meiose II**, separadas por uma breve intérfase (**intercinese**).

### MEIOSE I

A meiose I é dita **divisão reducional** porque é exatamente nesta etapa que ocorre a redução do número de cromossomos. Tanto quanto na mitose ela está dividida nas mesmas etapas, aqui chamadas: **prófase I, metáfase I, anáfase I e telófase I**.

#### Prófase I

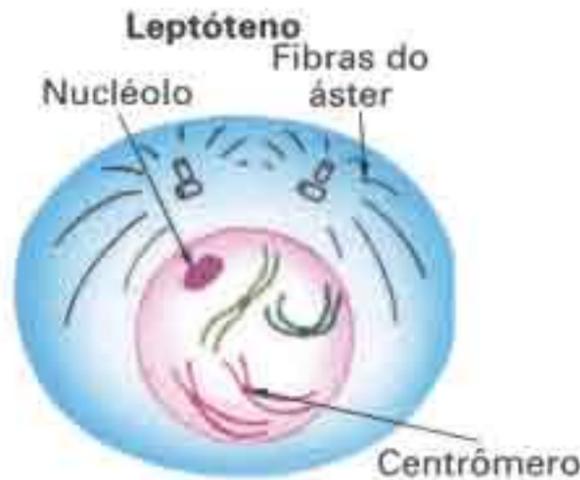
A prófase I é muito longa e bem mais complexa que a prófase da mitose. Há fenômenos da prófase I que lhes são exclusivos, estando ausente na mitose, como o **emparelhamento dos cromossomos homólogos** e o **“crossing-over”**.

Em função da complexidade para que pudéssemos compreender o processo, a meiose I foi subdividida em cinco subfases: **leptóteno, zigóteno, paquíteno, diplóteno e diacinese**.

#### a) Leptóteno

Inicia a condensação dos cromossomos o que caracteriza esta subfase: os cromossomos aparecem como longos e finos fios. Uma diferença para a mitose reside no fato de que não ocorre uma

espiralização homogênea dos cromossomos. Desta forma, as regiões que se condensam primeiro foram pequenas granulações denominadas **cromômeros**, situadas em regiões distintas de cada cromossomo. Os cromômeros de cromossomos homólogos apresentam a mesma distribuição e são observados em mesmo número.



### b) Zigóteno

Observa-se o emparelhamento dos cromossomos homólogos, fenômeno dito **sinapse cromossômica**. O fenômeno é tão rigoroso que os genes alelos ficam dispostos lado a lado. Continua a espiralização dos cromossomos.



### c) Paquíteno

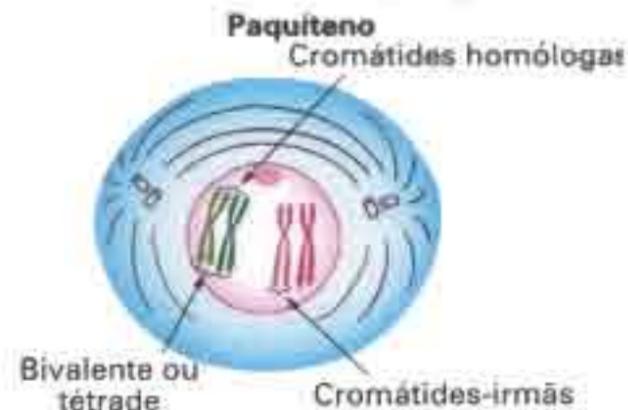
A condensação já é acentuada, os cromossomos aparecem como grossos fios, e o emparelhamento se completa. A condensação atinge tal ponto que os cromômeros já não são observados.

Com o final do emparelhamento os cromossomos homólogos estão lado a lado, cada um com suas cromátides-irmãs, formando conjuntos chamados **bivalentes** (os dois cromossomos homólogos estão emparelhados) ou **tétrades** (são visíveis as quatro cromátides).

No paquíteno, eventualmente antes do fim do zigóteno, podem ocorrer fraturas nas cromátides de cromossomos homólogos (estão emparelhados) que são seguidas por soldaduras reparadoras. Acidentalmente, no entanto, a soldadura pode apresentar trocas: uma cromátide

se solda ao fragmento da cromátide homóloga ou não-irmã e vice-versa. Este fenômeno consiste num dos mais importantes e espetaculares eventos da biologia e é dito **"crossing-over"**, **permutação** ou **recombinação genética**. É exatamente a permutação quem possibilita uma **maior variabilidade genética das espécies**, por gerar novas combinações de genes.

Na prática esta troca de segmentos entre cromátides homólogas constitui no verdadeiro casamento genético: os genes dos pais sofrem novas misturas antes que sejam passados à frente.



### d) Diplóteno

Nesta etapa fica visível, ao microscópio óptico, que os cromossomos estão constituídos por duas cromátides.

Em determinados pontos é possível observar o sobrecruzamento de cromátides homólogas, parecendo um "X". Estes pontos de cruzamento foram denominados **quiasmas**. O quiasma é consequência da permutação cromossômica. Logo, o número de quiasmas indica o número de permutações ocorridas. Inicia o afastamento dos cromossomos homólogos.



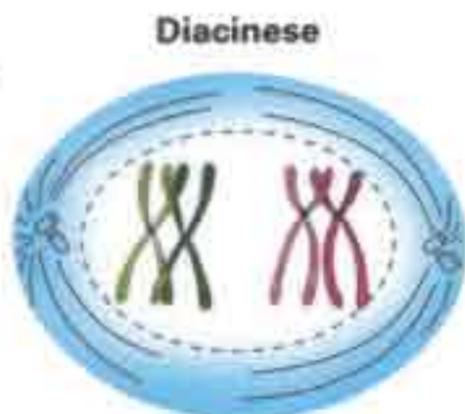
### e) Diacinese

Continua o afastamento dos cromossomos homólogos. Assim os quiasmas deslizam para os extremos dos cromossomos, fenômeno conhecido por **terminalização dos quiasmas**.

A desintegração do envoltório nuclear ocorre no final desta fase e os pares de cromossomos, ainda ligados, permanecem na região equatorial da célula. Há, também, o desaparecimento do nucléolo.

No citoplasma o centro celular se duplica, também o centríolo, iniciando a formação das fibras polares. Ao fim da etapa os centríolos chegam aos pólos. Surgem os cinetócoros e são formadas as fibras cromossômicas.

O envoltório nuclear rompe-se e o nucléolo desaparece.



### Metáfase I

Os cromossomos duplicados e pareados ocupam a região equatorial da célula, mantendo-se unidos pelos quiasmas. Atingem o máximo da condensação.

Há diferenças básicas entre a metáfase da meiose I e da mitose. Na meiose I os cromossomos homólogos se encontram emparelhados e unidos pelo quiasma; na metáfase da mitose os cromossomos homólogos não se encontram emparelhados na placa equatorial. Outra diferença é que na meiose I as fibras cromossômicas (cinetocóricas) das cromátides-irmãs irradiam-se para o mesmo lado; já na mitose as fibras cromossômicas de cada cromátide-irmã irradiam-se em sentidos opostos.

### Metáfase I

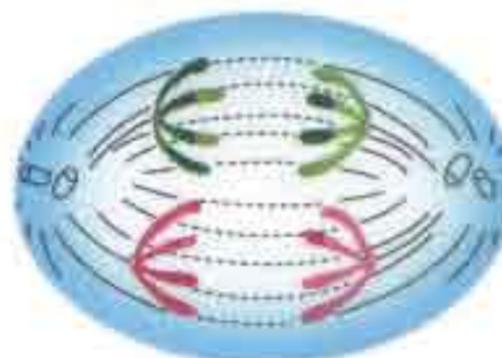


### Anáfase I

Aqui há uma diferença fundamental para a anáfase da mitose: **não há divisão do centrômero**, assim os **cromossomos homólogos, formados por suas cromátides, migram para pólos opostos da célula**. Na anáfase da mitose migram os cromossomos irmãos (filhos) para os pólos, mantendo assim, o número diplóide de cromossomos.

Exatamente por isso a meiose I é dita **reducional**, considerando que as células formadas não terão mais os homólogos, mas um cromossomo duplicado de cada par, com suas duas cromátides.

### Anáfase I



### Telófase I

O início da telófase I é marcado pela chegada dos cromossomos aos pólos. O fuso mitótico desaparece e ocorre a **descondensação cromossômica**. Ocorre a **reestruturação do envoltório nuclear**, reaparecendo, também, os nucléolos. Desta forma, completa-se a **cariocinese**.

A seguir ocorre a **citocinese** e a formação das duas células filhas haplóides.

Há um pequeno intervalo entre a meiose I e a meiose II, denominado **intercinese**.

### Meiose II

A meiose II é profundamente semelhante à mitose. Justamente, uma célula haplóide só pode gerar outras células haplóides porque acontece a separação das cromátides.

A meiose II é dita **divisão equacional**. Foi dividida nas seguintes etapas: **prófase II, metáfase II, anáfase II e telófase II**.

### Prófase II

Como acontece na mitose, nas duas células resultantes da meiose I, ocorre a **condensação dos cromossomos de forma homogênea**, não aparecendo, portanto, os **cromômeros**. Desaparecem os nucléolos e a **carioteca sofre fragmentação**. Assim termina a **prófase II**.

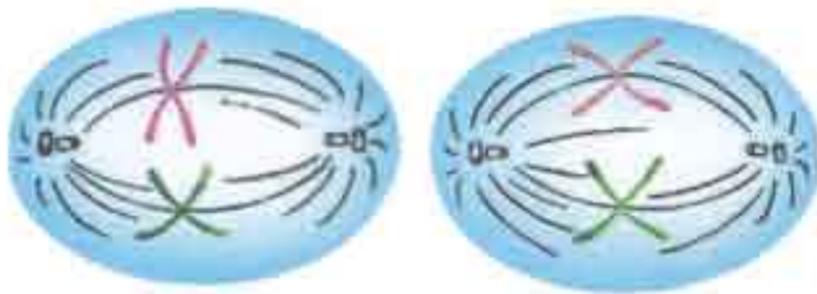


## Metáfase II

O fuso mitótico ocupa a região central da célula. Os cromossomos se unem às proteínas do fuso de forma que cada cromátide se mantenha voltada para um dos pólos da célula. Forma-se a placa equatorial e os cromossomos são mantidos aí durante certo tempo.

Os centrômeros, então, dividem-se e inicia o deslocamento dos cromossomos para os pólos opostos, finalizando a metáfase II.

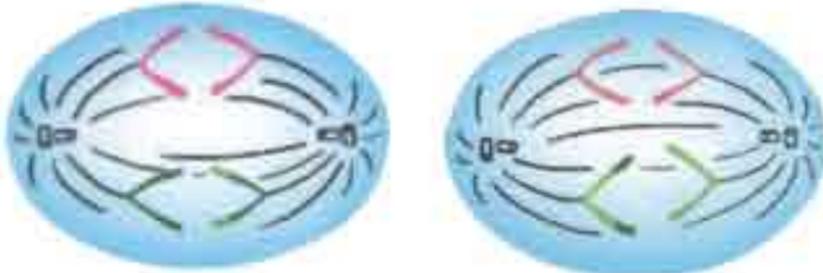
### Metáfase II



## Anáfase II

Caracteriza-se pela migração dos cromossomos irmãos (ou filhos) para os pólos opostos da célula. A chegada dos cromossomos nos pólos marca o encerramento da anáfase II.

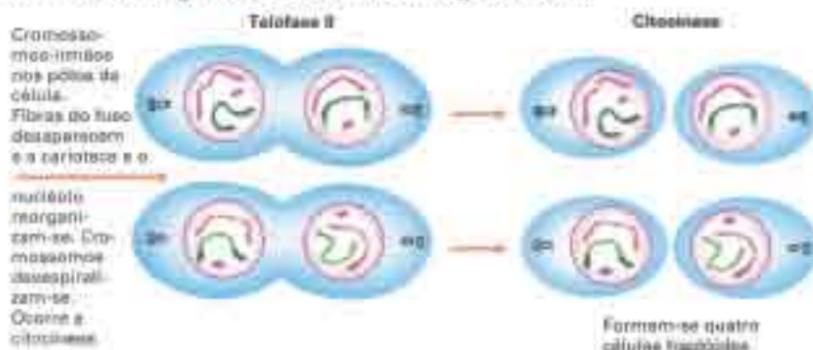
### Anáfase II



## Telófase II

Já nos pólos inicia a desespiralização dos cromossomos. Ocorre a reorganização dos envoltórios nucleares com o reaparecimento dos nucléolos. Finaliza desta forma a cariocinese.

A seguir ocorre a citocinese originando duas células-filhas haplóides para cada célula que entrou em meiose II, ou seja, quatro células haplóides no total. Concluindo, para cada célula diplóide que iniciou o processo de meiose são formadas quatro células haplóides.



## Classificação da Meiose

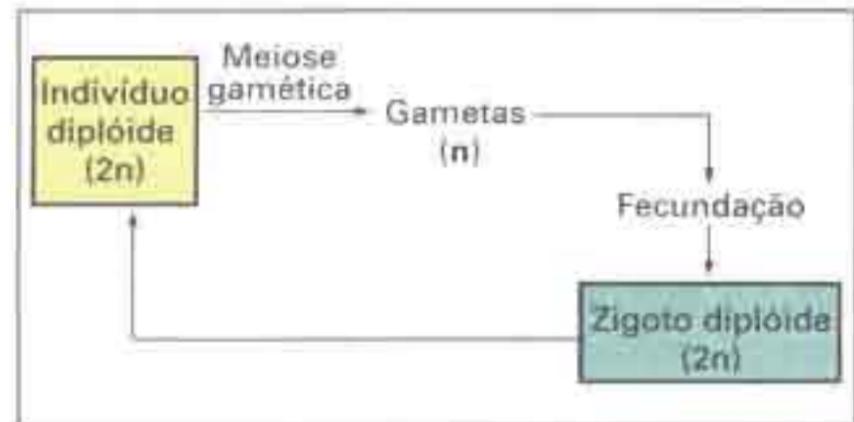
Em função do momento do ciclo de vida em que a meiose acontece, pode ser classificada em: **gamética, zigótica e espórica.**

### Gamética ou Final:

Aquela que tem por função a produção de gametas. Ocorre nos animais (homem, por exemplo) e algumas algas.

Neste caso, os indivíduos adultos são diplóides. Os gametas formados é que são haplóides. Por meio da fecundação o número diplóide é restabelecido no zigoto. A partir do zigoto a mitose será responsável pela formação, desenvolvimento e manutenção do novo indivíduo.

Os seres que apresentam meiose gamética tem um ciclo de vida chamado **diplobionte ou diplonte.**



### Zigótica ou Inicial:

Este tipo de meiose ocorre no zigoto, a única célula diplóide do processo. Ocorre em certas algas, protozoários e fungos.

Os indivíduos são haplóides e a produção de gametas, então, ocorre por mitose. Da fusão dos gametas surge um zigoto diplóide que sofrerá meiose.

O ciclo de vida em que a meiose é zigótica, chama-se **haplobionte ou haplonte.**



### ***Espórica ou Intermediária:***

O objetivo desta meiose é a formação de esporos. Ocorre em algumas algas e nas plantas.

Neste caso há dois tipos de indivíduos: o **esporófito** que é diplóide e forma esporos haplóides por meiose; e o **gametófito** que é haplóide (resulta da germinação dos esporos) e forma gametas haplóides por mitose. Os gametas se fundem na fecundação para originar um zigoto diplóide que vai formar um esporófito diplóide.

O ciclo de vida em que a meiose é intermediária é chamado de **haplodiplobionte** ou **haplodiplonte**.

