



Química

Biologia Geral

Vaneicia dos Santos Gomes
Andréa Pereira Silveira



Geografia



História



Educação
Física



Química



Ciências
Biológicas



Artes
Plásticas



Computação



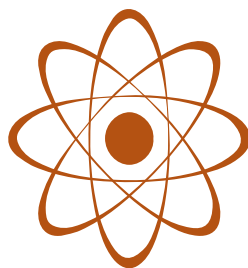
Física



Matemática



Pedagogia



Química

Biologia Geral

Vaneicia dos Santos Gomes

Andréa Pereira Silveira

4ª Edição

Fortaleza-Ceará



2016



Geografia



História



Educação
Física



Química



Ciências
Biológicas



Artes
Plásticas



Computação



Física



Matemática



Pedagogia

Copyright © 2016. Todos os direitos reservados desta edição à UAB/UECE. Nenhuma parte deste material poderá ser reproduzida, transmitida e gravada, por qualquer meio eletrônico, por fotocópia e outros, sem a prévia autorização, por escrito, dos autores.

Editora Filiada à



Presidenta da República

Dilma Vana Rousseff

Ministro da Educação

Aloísio Mercadante

Presidente da CAPES

Carlos Afonso Nobre

Diretor de Educação a Distância da CAPES

Jean Marc Georges Mutzig

Governador do Estado do Ceará

Camilo Sobreira de Santana

Reitor da Universidade Estadual do Ceará

José Jackson Coelho Sampaio

Vice-Reitor

Hidelbrando dos Santos Soares

Pró-Reitor de Pós-Graduação

Jerffeson Teixeira de Souza

Coordenador da SATE e UAB/UECE

Francisco Fábio Castelo Branco

Coordenadora Adjunta UAB/UECE

Eloísa Maia Vidal

Diretor do CCT/UECE

Luciano Moura Cavalcante

Coordenadora da Licenciatura em Química

Evanise Batista Frota

Coordenadora de Tutoria e Docência em Computação

Solange de Oliveira Pinheiro

Editor da EdUECE

Erasmus Miessa Ruiz

Coordenadora Editorial

Rocylânia Isídio de Oliveira

Projeto Gráfico e Capa

Roberto Santos

Diagramador

Francisco Oliveira

Conselho Editorial

Antônio Luciano Pontes

Eduardo Diatáhy Bezerra de Menezes

Emanuel Ângelo da Rocha Fragoso

Francisco Horácio da Silva Frota

Francisco Josênio Camelo Parente

Gisafran Nazareno Mota Jucá

José Ferreira Nunes

Liduína Farias Almeida da Costa

Lucili Grangeiro Cortez

Luiz Cruz Lima

Manfredo Ramos

Marcelo Gurgel Carlos da Silva

Marcony Silva Cunha

Maria do Socorro Ferreira Osterne

Maria Salete Bessa Jorge

Silvia Maria Nóbrega-Therrien

Conselho Consultivo

Antônio Torres Montenegro (UFPE)

Eliane P. Zamith Brito (FGV)

Homero Santiago (USP)

Ieda Maria Alves (USP)

Manuel Domingos Neto (UFF)

Maria do Socorro Silva Aragão (UFC)

Maria Lírida Callou de Araújo e Mendonça (UNIFOR)

Pierre Salama (Universidade de Paris VIII)

Romeu Gomes (FIOCRUZ)

Túlio Batista Franco (UFF)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Sistema de Bibliotecas

Biblioteca Central Prof. Antônio Martins Filho

Lúcia Oliveira – CRB-3/304

Bibliotecária

G633b Gomes, Vaneicia dos Santos
 Biologia Geral / Vaneicia dos Santos Gomes, Andréa
 Pereira Silveira. - 4. ed. - Fortaleza: EdUECE, 2016.
 145 p. : il. - 20,0cm x 25,5cm. (Química)
 ISBN: 978-85-7826-572-4
 1. Biologia. 2. Biologia - Química. 3. Biologia celular.
 4. Biologia molecular. I. Silveira, Andréa Pereira. II. Título. III.
 Série.

CDD: 570

Editora da Universidade Estadual do Ceará – EdUECE

Av. Dr. Silas Munguba, 1700 – Campus do Itaperi – Reitoria – Fortaleza – Ceará

CEP: 60714-903 – Fone: (85) 3101-9893

Internet: www.uece.br – E-mail: eduece@uece.br

Secretaria de Apoio às Tecnologias Educacionais

Fone: (85) 3101-9962

Sumário

Apresentação	5
Parte 1 – Como se originou a vida na Terra e como ela está organizada hoje?	7
Capítulo 1 – A origem da vida na Terra	9
1.1. Origem da vida	9
1.2. O experimento de Pasteur	11
1.3. Teoria da endossimbiose	12
Capítulo 2 – Classificação dos seres vivos	15
2.1. Classificação dos seres vivos	15
2.2. Nomes das espécies	18
2.3. Sistemas de classificação	19
2.4. Evolução dos sistemas de classificação	20
2.5. Os seis reinos	23
Capítulo 3 – Teoria celular	27
3.1. Instrumentos utilizados para observar as células	29
3.2. Preparação do material	30
3.3. Fixação do material	30
3.4. Coloração	31
3.5. Corte	31
Parte 2 – Morfofisiologia Celular	35
Capítulo 1 – A química da célula	37
1.1. A matéria viva	37
1.2. Características do DNA	44
Capítulo 2 – Membranas Biológicas	49
2.1. Composição química da membrana	50
2.2. Fagocitose	57
2.3. Pinocitose	58
2.4. Estruturas Juncionais	58
Capítulo 3 – Citoplasmas e organelas	61
3.1. Endomembranas	61
3.2. Mitocôndrias	65
3.3. Plastos	67
3.4. Cloroplastos	67

Capítulo 4 – Citoesqueleto	71
4.1. Proteínas acessórias	72
4.2. Microtúbulos	73
4.3. Filamentos de actina	75
4.4. Filamentos intermediários	78
Parte 3 – Bioenergética	81
Capítulo 1 – Fotossíntese	83
1.1. A luz	85
1.2. Pigmentos	86
1.3. Etapas da Fotossíntese	89
1.4. Reações de transdução de energia / fotoquímica	90
1.5. Reações de fixação do carbono / bioquímica	90
1.6. Etapa fotoquímica	90
1.7. Fotofosforilação	92
1.8. Etapa bioquímica	93
1.9. Balanço energético do ciclo C3	94
Capítulo 2 – Respiração	103
2.1. Obtenção de energia	104
2.2. O ciclo de Krebs	106
2.3. Cadeia transportadora de elétrons	106
2.4. Saldo do processo respiratório	107
2.5. Fermentação	108
Parte 4 – Núcleo e divisão celular	111
Capítulo 1 – Núcleo e genes	113
1.1. O núcleo	113
1.2. Os genes	115
Capítulo 2 – As moléculas de RNA e DNA	121
2.1. A molécula de RNA	121
2.2. A molécula de DNA	125
Capítulo 3 – O ciclo celular	131
3.1. O ciclo celular	131
3.2. O controle do ciclo celular	132
3.3. A divisão celular	133
3.4. Meiose	137
3.5. Diferença entre mitose e meiose	141
3.6. A importância da meiose	141
Sobre os autoras	146

Apresentação

Somos diariamente estimulados a pensar sobre os fenômenos naturais que nos cercam e, quando nos despertarem a curiosidade, fazem-nos buscar explicações sobre eles. A Ciência é uma das formas pela qual as pessoas formulam explicações. Ela resulta da curiosidade, do conhecimento e da criatividade das pessoas e está sempre se aperfeiçoando.

Diante disso, elaboramos este material procurando contemplar o conteúdo de Biologia Geral para os estudantes do curso de licenciatura em química, na modalidade à distância.

Este livro tem como objetivo fornecer os conceitos fundamentais em Biologia celular e molecular, tratando desde os processos que culminaram com o surgimento das células até a transmissão dos caracteres por meio da divisão celular.

Como material didático, pretende ser um instrumento que estimule e promova a aprendizagem de forma efetiva. Para isto, foram elaborados textos informativos com linguagem clara, ilustrações e informações atualizadas.

Esperamos que este livro ajude os estudantes a compreender os conceitos fundamentais em Biologia e a fazer ligações conceituais com o seu cotidiano.

As autoras

Parte

1

**Como se originou a vida
na Terra e como ela está
organizada hoje?**

A origem da vida na Terra

1.1. Origem da vida

Atualmente acredita-se que a Terra tenha cerca de 5 bilhões de anos e que os seres vivos só tenham aparecido após 1,5 bilhão de anos depois, ou seja, os seres vivos surgiram a 3,5 bilhões de anos. Este é o tempo estimado para que a Terra sofresse alterações para poder comportar os seres vivos (até então ela estava inabitada). No início, a crosta terrestre era extremamente quente e a atmosfera era abundante em metano, hidrogênio, amônia e em vapor d' água. Este, ao se condensar, formava chuva, que, ao entrar em contato com altas temperaturas, evaporava-se muito rápido, acarretando novas chuvas e, gerando, assim, um ciclo de condensação e evaporação – **ciclo da água**. Nesse período, as camadas atmosféricas ainda não impediam a entrada de raios ultravioletas com alta intensidade. Todos esses fenômenos estavam acompanhados das intensas descargas elétricas oriundas dos raios. Alguns pesquisadores acreditam que a atmosfera primitiva era composta por monóxido de carbono, dióxido de carbono, nitrogênio molecular e vapor d' água.

Para o cientista russo **Alexander Oparin**, a vida originou-se a partir da combinação entre os gases existentes na atmosfera primitiva, que, sob a ação das descargas elétricas e dos raios ultravioleta, formaram estruturas químicas complexas, conhecidas hoje como aminoácidos. Estes, ficaram flutuando temporariamente na atmosfera até serem conduzidos para a crosta terrestre (solo), pela ação das constantes chuvas. A alta temperatura proporcionou a combinação das moléculas de aminoácido entre si e resultou na formação de proteínas. À medida que as chuvas foram se intensificando, a crosta terrestre foi se resfriando e parte da água ficou acumulada formando pequenos mares de águas mornas.

Muitas moléculas de proteínas foram conduzidas pelas chuvas para dentro desses mares. As proteínas

O processo de resfriamento da Terra é observado ainda hoje com a erupção de vulcões e gêiseres.

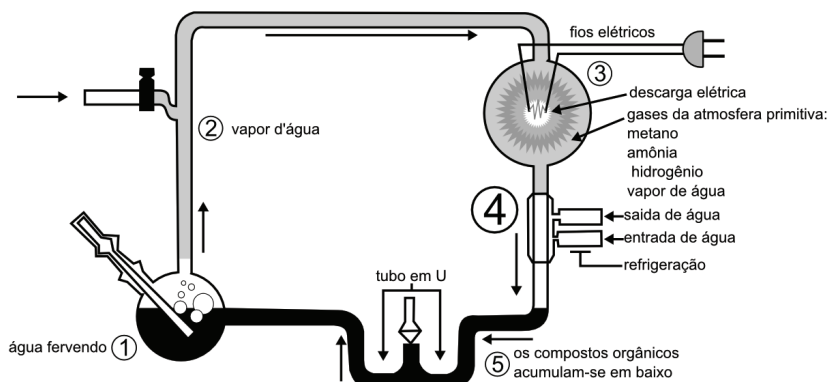


Figura 1 – Experimento desenvolvido por Miller.

dentro d'água originaram coloides e estes se organizaram formando coacervados, aglomerado de proteínas quando estas são dissolvidas em água.

Os coacervados englobaram moléculas de nucleoproteínas e, posteriormente, foram delimitados por uma membrana lipoproteica, originando, a partir disso, as primeiras células. As primeiras células não dispunham de um arsenal enzimático capaz de realizar a fotossíntese e, por esse motivo, acredita-se que eram heterótrofas. Em seguida, surgiram as células autótrofas, sendo estas, portanto, mais evoluídas.

Oparin não testou a sua hipótese. Ela foi testada por Stanley Miller, no início da década de 1950. Miller tentou recriar, em laboratório, as condições da atmosfera primitiva dentro de um balão de vidro. Esse balão foi submetido a altas temperaturas e à constante ação de descargas elétricas. Ao fim de certo tempo, ele observou o acúmulo de aminoácido no interior do balão. Em 1957, Sidney Fox submeteu moléculas de aminoácidos secos a altas temperaturas prolongadas e observou formação de pequenas proteínas. Outro cientista, Malvin Calvin, realizou um experimento combinando radiações altamente energéticas com gases da atmosfera primitiva e obteve a formação de compostos orgânicos, especialmente de carboidratos.

A discussão sobre a origem da vida vem desde muito tempo. Várias hipóteses foram criadas para explicar a origem da vida na Terra. Por muito tempo se acreditou que os seres poderiam surgir a partir da matéria inanimada. Tal origem é conhecida por **abiogênese ou geração espontânea**. Esta teoria proposta por Aristóteles acreditava que a vida era formada por dois princípios: a matéria (passiva) e a forma (ativa), e a combinação desses princípios conduziram diversas reações que fariam, por exemplo, surgir larvas em meio à carne estragada. Tal pensamento foi aceito até o século XIX. Ainda no século XVIII, alguns cientistas que não aceitavam a abiogênese começa-

ram a contestá-la, mesmo sem muito sucesso. Um dos principais oponentes da idéia da geração espontânea foi o naturalista Francisco Redi, que tentou derrubar a hipótese da geração espontânea com a afirmação gerada a partir dos resultados dos seus experimentos em que as larvas surgem na carne estragada quando permitimos que moscas pousem nela (Figura 2). Assim, para Redi, a vida se origina por meio de outro ser vivo e não sob qualquer circunstância.

A teoria da geração espontânea só foi decisivamente refutada no século XIX, a partir dos experimentos desenvolvidos por Louis Pasteur. Estes dois pesquisadores foram os principais mentores da Teoria da Biogênese.

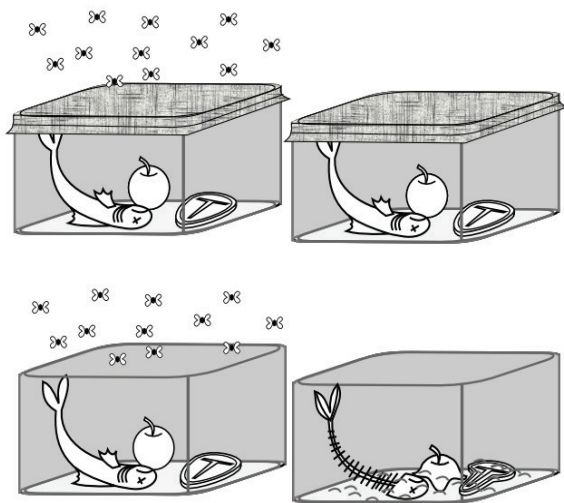


Figura 2 – Experimento proposto por Redi.

1.2. O experimento de Pasteur

Pasteur colocou líquidos nutritivos em quatro frascos de vidros. Os frascos foram aquecidos e os gargalos esticados e curvados. O líquido dentro dos frascos foi aquecido até ferver. Dessa forma, o ar interno saiu, o líquido foi esfriando lentamente, e as partículas presentes no ar que entrava depositavam-se nas curvas do gargalo, que funcionava como um filtro. Nenhum dos frascos apresentou micro-organismos. Diante dessa situação, Pasteur levantou a hipótese de que os micro-organismos contidos no ar eram retidos nas curvas do gargalo e não alcançavam o líquido. Para testar a sua hipótese, ele quebrou os gargalos de alguns frascos e verificou, após alguns dias, que os líquidos estavam cheios de micro-organismos. Tal experimento demonstrou definitivamente que os micro-organismos presentes em caldos nutritivos são provenientes do ar.

Uma das teorias sobre a origem da vida na terra é a panspermia, que acredita que a vida na terra se desenvolveu a partir de substâncias precursoras, oriundas do cosmo.

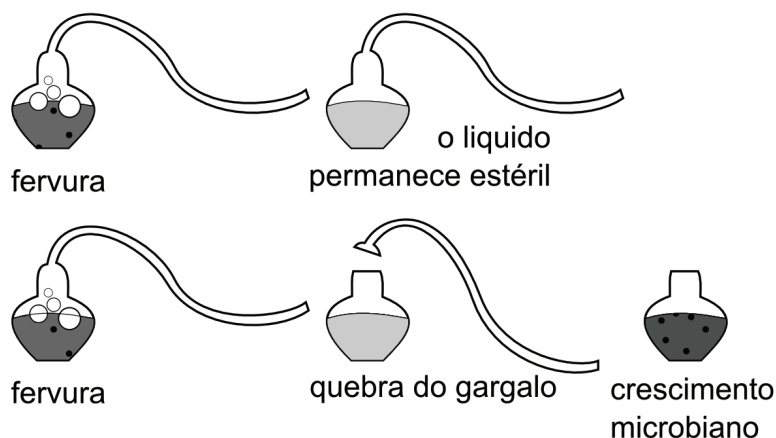


Figura 3 – Experimento proposto por Pasteur.

Após a comprovação da biogênese e a derrubada da teoria da geração espontânea, novas hipóteses foram formuladas: A hipótese mais aceita é a **hipótese heterotrófica** que afirma que os primeiros seres vivos eram bastante simples, heterótrofos, e surgiram de processos evolutivos lentos, sofridos pela matéria bruta em condições especiais.

Outro ponto que deve ser destacado são as condições especiais da atmosfera primitiva. Atualmente, a presença do oxigênio na atmosfera impediria a formação de novas moléculas, devido ao seu grande poder oxidante.

A hipótese autotrófica afirma que o primeiro ser vivo sintetizava seu próprio alimento, mas essa hipótese não foi aceita, pois muitos pesquisadores acreditam que os seres autotróficos são mais complexos que os heterotróficos, e estes, poderiam buscar substâncias orgânicas diretamente na água. Com a ausência de oxigênio, os primeiros seres vivos deveriam ser heterotróficos fermentadores. A disponibilidade de alimento conduziu a um aumento das taxas de reprodução.

Houve uma significativa mudança na atmosfera. Antes, os primeiros organismos viviam submersos na água e estavam parcialmente protegidos dos raios ultravioleta porque a água funcionava como um filtro. Atualmente, a presença do ozônio é importante para a sobrevivência dos organismos terrestres.

Empregando o pensamento do geógrafo Malthus, que diz que “a população cresce de forma geométrica enquanto a disponibilidade de alimento cresce de forma aritmética”, acredita-se que esse fato tenha ocorrido com os primeiros seres vivos. Antes que a fonte de alimento se esgotasse, alguns indivíduos começaram a utilizar o CO_2 oriundo das fermentações como fonte de energia. Assim, surgiram os primeiros seres fotossintetizantes utilizando a energia solar. Aí nos deparamos com o início da cadeia trófica de matéria e energia, com produtores e consumidores. O produto final da fotossíntese é o oxigênio e este começou a ser utilizado pelos seres vivos (heterotróficos), através da respiração. Um novo ciclo então é formado - **o ciclo do oxigênio**. O oxigênio liberado sob forma de O_2 na atmosfera favoreceu a formação da camada de ozônio (O_3), que funciona como um filtro para os raios ultravioleta.

É importante destacar que os autótrofos recém-formados são mais simples que os autótrofos atuais, no entanto, eram mais complexos que os heterotróficos primitivos.

Um grande passo para a definitiva formação do ser vivo foi a delimitação de sua forma. Para isso, deveria existir alguma barreira que o limitasse, mas que fosse flexível. Além disso, a barreira não poderia isolá-lo totalmente do meio, mas possibilitar a passagem de algumas substâncias, especialmente da água. Assim surgiu a membrana lipoproteica semipermeável que, provavelmente, não foi o primeiro modelo de membrana. Uma característica inerente à membrana é a proteção contra choques mecânicos e ataque de patógenos (vírus, bactérias, fungos). A membrana se expandiu formando novas estruturas membranosas, como o retículo endoplasmático, o complexo golgiense e o próprio envoltório nuclear. A partir da individualização de um núcleo, as células, antes Procariotas, tornaram-se Eucariotas.

Assim surgiu a membrana lipoproteica semipermeável que, provavelmente, não foi o primeiro modelo de membrana. Uma característica inerente à membrana é a proteção contra choques mecânicos e ataque de patógenos (vírus, bactérias, fungos). A membrana se expandiu formando novas estruturas membranosas, como o retículo endoplasmático, o complexo golgiense e o próprio envoltório nuclear. A partir da individualização de um núcleo, as células, antes Procariotas, tornaram-se Eucariotas.

1.3. Teoria da endossimbiose

Provavelmente, os organismos eucariontes eram maiores que os organismos procariotes, especialmente porque estes seriam mais simples que os anteriores. As células eucarióticas eram heterotróficas e englobavam todo tipo de substância orgânica. Assim, acredita-se que as estruturas que possuem um material genético próprio, semelhante ao DNA circular encontrado nas bactérias e que possuem a capacidade de se reproduzir de modo independente do hospedeiro,

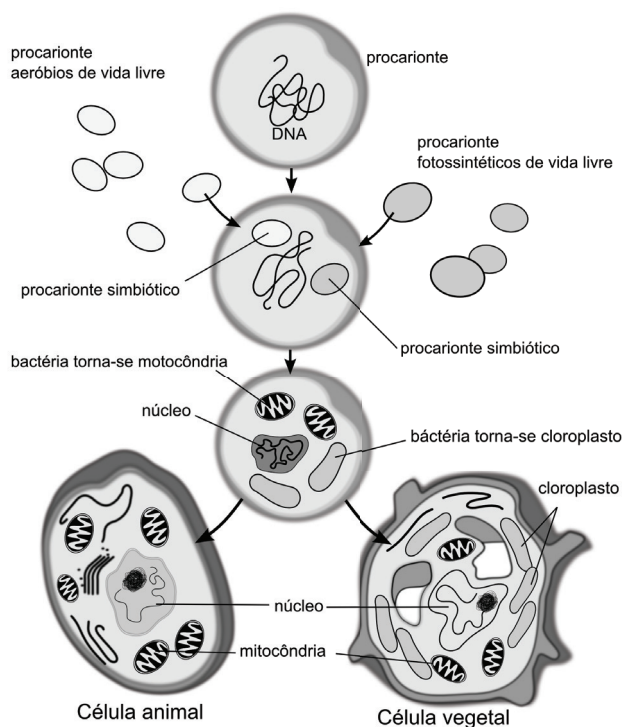


Figura 4 – Diagrama representando a teoria da endossimbiose em série que resultou na origem da célula fotossintetizante eucariótica a partir de um procarioto heterotrófico.

provavelmente, eram organismos procariontes que, fagocitados pelos eucariontes, ficaram preservados dentro da célula hospedeira e assumiram importantes funções. Isso é o que “prega” a **Teoria Endossimbiótica**. As mitocôndrias, responsáveis pela respiração celular, e os cloroplastos, responsáveis pela fotossíntese, eram organismos procariontes, e atualmente, são organelas. Acredita-se que estas organelas foram favorecidas com proteção e alimento concedidos pela célula eucariótica e, em troca, possibilitaram à célula eucariótica a utilização do oxigênio de modo eficiente, no caso das mitocôndrias, ou a possibilidade de sintetizar o seu próprio alimento, no caso dos cloroplastos. Acredita-se que as mitocôndrias foram englobadas primeiro e, posteriormente, os cloroplastos. Por esse motivo é chamada de **Teoria Endossimbiótica em série**.

A Teoria Endossimbiótica em série, atualmente, é reforçada pela ocorrência de muitas relações endossimbióticas que ocorrem entre endossimbiontes procariotos e eucariotos com outros protistas e, também, em células de invertebrados marinhos ou dulciaquícolas.

Síntese do Capítulo



Para receber os seres vivos, a Terra precisou passar por grandes transformações e, com o surgimento deles, as transformações se intensificaram. A atmosfera primitiva era rica em metano, hidrogênio, amônia e em vapor d'água, mas carente de oxigênio. Segundo Oparin, as altas temperaturas, as descargas elétricas e a ação de raios ultravioleta foram os responsáveis pela formação de aminoácidos que formaram proteínas, e o agrupamento destas formaram os coacervados. Estes, desenvolveram uma “membrana” que os protegia. Surgiram, assim, os primeiros seres vivos. Acredita-se que os primeiros seres vivos eram heterotróficos e procariontes e, posteriormente, surgiram os autotróficos eucariontes. A presença de oxigênio na atmosfera foi o responsável pela formação da camada de ozônio que protege os seres vivos da ação dos raios ultravioleta. Por muito tempo, acreditou-se que os seres vivos surgiram da matéria inanimada (abiogênese), mas tal concepção foi destruída por Francisco Redi e Pasteur. Eles demonstraram por meio de experimentos que um ser vivo provém de outro ser vivo (biogênese). Atualmente, acredita-se que as organelas, presentes nas células eucarióticas, que têm capacidade de se auto-duplicar, como as mitocôndrias e os cloroplastos, eram organismos de vida livre que foram fagocitados por células eucariontes e mantêm uma relação de endossimbiose.

Atividades de avaliação



1. Do seu ponto de vista, qual ou quais característica(s) são importantes para que se estabeleça a vida?
2. Diferencie as células procariontes das eucariontes.
3. Qual a relevância da endossimbiose na origem das células eucariontes?
4. Quais as diferenças existentes entre a atmosfera atual e a atmosfera primitiva?
5. Porque a atmosfera primitiva não permitia a existência de seres vivos?
6. Qual a importância do trabalho de Miller? Existe alguma relação entre os resultados do trabalho de Miller e a abiogênese?
7. A ordem lógica em que os eventos ocorrem é:
 - () formação de coacervados
 - () surgimento dos organismos autoróficos
 - () mudança na atmosfera a partir da presença do oxigênio
 - () formação de proteínas
 - () surgimento da camada de ozônio
 - () surgimento dos organismos heterotróficos

Leituras, filmes e sites



BRYSON, Bill. **A origem da vida** In: Uma breve história de quase tudo; do big-bang ao Homo sapiens. Rio de Janeiro: Companhia das Letras, 2008, p. 293-308.

Referências



- DE ROBERTIS, Eduardo M. F. & HIB, José. **Bases da Biologia Celular e Molecular**. 3 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001.
- JUNQUEIRA, Luiz Carlos & CARNEIRO, José. **Citologia Básica**. 7 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2000.
- RAVEN, Peter H.; EVERT, Ray E.; EICHHORN, Susan E. **Biologia Vegetal**. 6 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. 2001.

Classificação dos seres vivos

2.1. Classificação dos seres vivos

Ao longo dos 5 bilhões de anos de história da Terra, muitas formas de vida foram extintas e outras apareceram. A diversidade de organismos hoje existente é o resultado de centenas de milhões de anos de transformação dos seres vivos, por meio de processos de mutação e, principalmente, recombinação gênica. Essas alterações são expressas pela diversidade morfológica, fisiológica e de reprodução dos seres vivos. *Você já se perguntou quantos tipos de seres vivos existe no planeta Terra?*

Estima-se que atualmente existam entre 5 e 50 milhões de tipos de animais, plantas e micro-organismos (seres vivos) no planeta Terra. Essa variedade de formas de vida (biodiversidade) encontra-se distribuída nos mais diversos ambientes e constitui o grande patrimônio biológico da Terra. Para facilitar o estudo da biodiversidade, há muitos anos, os cientistas vêm buscando classificar os seres vivos em grupos. Assim, a biodiversidade é expressa pelo número de espécies em que essa variedade de formas de vida está reunida.

Essa estimativa é discrepante, pois apenas pouco menos de 2 milhões foram registradas formalmente e organizadas como espécies, ou seja classificadas. (Figura 1). Para que servem tantas plantas e tantos animais? Segundo os cientistas, que chamam “diversidade biológica” ou “biodiversidade” a esta extraordinária riqueza da natureza, quanto maior for o número de organismos diferentes num determinado ambiente ligados entre si por uma variedade de relações mais ou menos estreitas, mais “perfeito” será o seu funcionamento. Infelizmente, a intervenção do homem em muitos ambientes naturais provoca a extinção de numerosas espécies, em muitos casos, ainda desconhecidas.

Segundo o zoólogo e evolucionista Ernst Mayr, “espécie é um grupo de populações que, real ou potencialmente, acasalam entre si e estão isoladas, em termos reprodutivos, de outros grupos semelhantes”. Simplificando, isto significa que os membros de uma espécie acasalam uns com os outros (e produzem uma progênie viável), mas não acasalam com membros de outras espécies. Na prática, os cientistas definem uma espécie utilizando todo um conjunto de características físicas, tais como o número e a forma dos dentes de um animal ou o número e a forma das pétalas de uma flor, podendo todas elas serem utilizadas como uma lista de referência para fins de identificação.

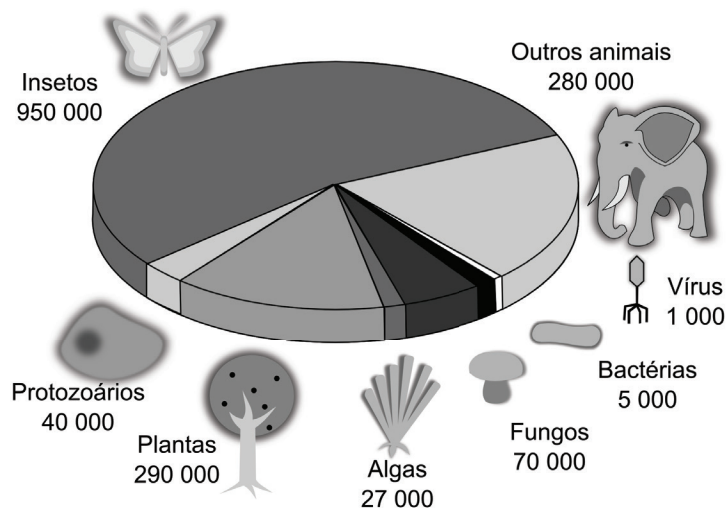


Figura 1 – Estima-se que atualmente existam entre 5-50 milhões de seres vivos. Essa diversidade é expressa em número de espécies. http://www.cientic.com/tema_classific.html ver livro vida

As espécies conhecidas representam somente uma pequena fração das espécies que existem. Cerca de 70% de todas as espécies conhecidas são invertebrados. Este conjunto integra, provavelmente, a vasta maioria de organismos ainda por descobrir e pode constituir 90% de todas as espécies atuais. (Figura 2).

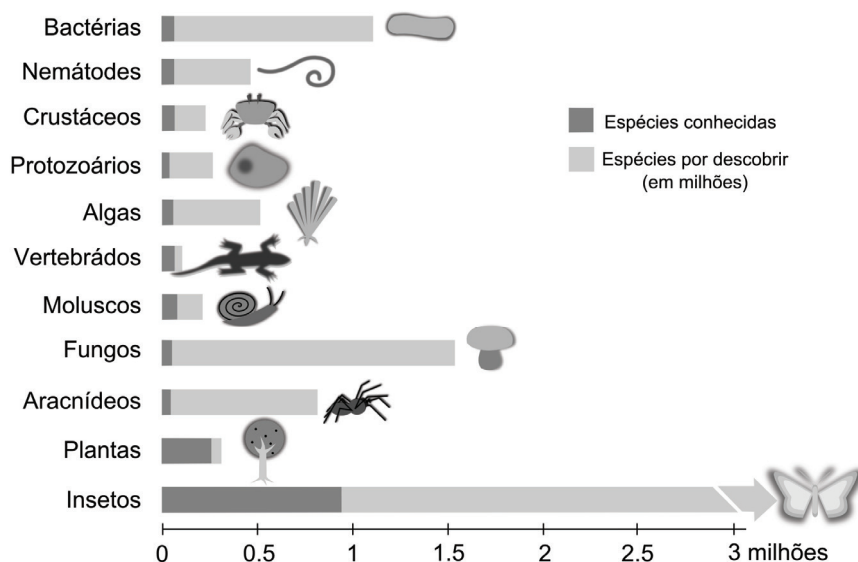
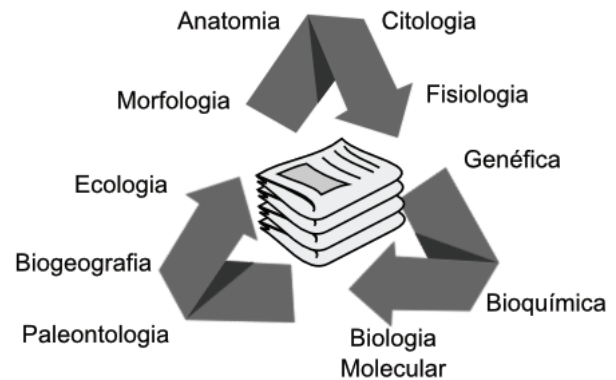


Figura 2 – Representação das espécies conhecidas e desconhecidas. Livro vida. http://www.cientic.com/tema_classific.html

A diversidade de organismos hoje existentes é uma fração das variedades de formas de vida que já existiram e foram extintas por causas diversas. Acredita-se que cerca da metade das espécies esteja extinta antes mesmo de serem catalogadas, o que caracteriza uma megaextinção antrópica. Para catalogar todas essas espécies, existem cerca de 1.500 pesquisadores atuando na região tropical. Sendo assim, seriam necessários 4.000 anos para concluir a catalogação de todas as espécies e determinar a diversidade global. Classificar significa pôr em ordem de acordo com um sistema de classificação. Tal atividade é inerente à espécie humana e vai desde atividades simples, como classificar alimentos (se calóricos, orgânicos, crus ou cozidos etc.) a atividades mais específicas, como classificar as diferentes camadas da atmosfera, por exemplo.



A ciência que estuda e classifica a biodiversidade é a **Sistemática**. De acordo com Radford (1986), a Sistemática estuda tanto o fenótipo (caracteres externos) quanto o genótipo (caracteres moleculares, genéticos), assim como as relações filogenéticas (graus de parentesco) entre os diferentes taxos. Para obter melhores informações, a respeito de uma determinada espécie são utilizadas informações oriundas de outras ciências, como a Morfologia, a Anatomia, a Fisiologia, a Citologia, a Paleontologia, a Genética, a Biogeografia, a Ecologia, a Bioquímica, a Biologia Molecular e outras ciências complementares (Figura 3).

A pesquisa sobre a composição química das plantas é muito antiga e vem desde o tempo dos herbalistas, que extraíam das plantas substâncias com propriedades medicinais. Ao longo dos séculos, as informações sobre as propriedades químicas das plantas vêm se acumulando, de modo que os primeiros pesquisadores sabiam que plantas similares normalmente possuem características químicas comuns. O estudo da composição química da planta é conhecido como fitoquímica. Os dados obtidos nas pesquisas de fitoquímica podem ser aplicados na taxonomia (quimiotaxonomia, em que compostos químicos são utilizados para separar ou agrupar espécies) e na biologia celular (pesquisas com as macromoléculas, substâncias extracelulares e outras substâncias orgânicas).

Para classificar um ser vivo são necessárias três etapas fundamentais:

1. Reconhecer um **táxon** (termo utilizado para designar uma unidade taxonômica de qualquer hierarquia, como classe, ordem, família, gênero, espécie) como idêntico ou semelhante a outro. Para isso são utilizadas ilustrações, fotografias, descrições. Esse processo que nomeia o espécime analisado é denominado *Identificação*;

2. Empregar corretamente os nomes das espécies, obedecendo a um conjunto de regras e recomendações. Essa etapa corresponde à *Nomenclatura*;
3. Ordenar os táxons dentro de um sistema de *classificação* enquadrando-os num determinado gênero que faz parte de uma família, pertencente a uma determinada classe e assim por diante. Essa etapa corresponde à *Classificação*.

Muitos pesquisadores consideram a Taxonomia e a Sistemática como termos sinônimos, mas, de acordo com Barroso et al. (2002), a Sistemática está diretamente relacionada à classificação dos seres vivos e detém-se na diversidade morfológica e nas relações existentes entre eles enquanto a Taxonomia está relacionada à elaboração das leis da classificação, incluindo seus procedimentos e regras.

E qual a importância da taxonomia para a preservação da biodiversidade? Em primeiro lugar, existe uma urgência de documentação. Sem documentação, uma gama da biodiversidade e do conhecimento sobre ela será perdido. A documentação é crucial para os processos que regem a biodiversidade e para o desenvolvimento de estratégias de conservação. Para a escolha de locais para preservar, é importante estimar a biodiversidade presente, por exemplo, em termos de número de espécies (riqueza de espécies).

2.2. Nomes das espécies

Todas as espécies conhecidas possuem um nome composto, formado por uma palavra que representa o gênero (epíteto genérico), seguido por um nome que o especifica (epíteto específico). P. ex.: *Pontederia cordata* e *Pontederia rotundifolia* pertencem a um único gênero, mas são espécies diferentes. Esse padrão de nomenclatura é conhecido como o sistema binário de Lineu.

Códigos de Nomenclatura

Os códigos orientam como colocar os nomes de organismos vivos e fósseis de forma correta. Estas orientações são feitas por meio de regras e recomendações que são publicadas em edições atualizadas dos códigos internacionais: Todos os códigos apresentam regras independentes entre si.

1. Código Internacional de Nomenclatura Botânica (sigla em inglês: ICBN)
2. Código Internacional de Nomenclatura Zoológica (sigla em inglês: ICZN)
3. Código Internacional de Nomenclatura de Bactéria (sigla em inglês: ICB)
4. Código Internacional de Classificação e Nomenclatura de Vírus (sigla em inglês: ICVCN)
5. Código Internacional de Nomenclatura para Plantas Cultivadas (sigla em inglês: ICNCP)
6. Filocódigo (inglês: Phylocode – versão draft – 2002)
7. Biocódigo (inglês: Biocode – versão draft) x CINB

Nesse sistema, o nome que representa o gênero estará se referindo a um grupo de espécies, enquanto o epíteto específico só terá sentido, se associado a um gênero, inclusive o epíteto específico pode estar associado a diferentes gêneros, como p. ex., *Eleutherine brasiliensis* e *Trigonia brasiliensis*, ambas es-

pécies pertencentes a famílias totalmente diferentes. Para batizar as espécies, é necessário seguir as regras previstas nos Códigos Internacionais de Nomenclatura. Tais regras têm o objetivo de uniformizar os nomes das espécies e, de acordo com as regras, o primeiro nome (genérico) é sempre escrito com a letra inicial maiúscula, e o segundo nome (específico), a letra inicial é minúscula. O nome científico deve ser sempre destacado no texto. Para isso, deve-se usar o itálico ou sublinhar o nome quanto o texto for escrito à mão. O idioma empregado na literatura científica é o latim para facilitar a comunicação entre pesquisadores de diferentes nacionalidades, uma vez que este idioma, atualmente, não é reconhecido como idioma oficial de nenhum país. Por trás de cada nome científico, existe uma descrição minuciosa da espécie. Para elaborar essa descrição, um representante da espécie é escolhido e utilizado como modelo. Esse modelo é chamado de *espécime-tipo*. Esse material será um documento utilizado para decidir se um espécime analisado pertence ou não à mesma espécie.

A adoção do nome científico possibilitou o compartilhamento de informações entre os pesquisadores de diferentes nacionalidades.

A importância da adoção de uma nomenclatura científica deve-se ao fato de que:

- Nomes em línguas comuns não são universais;
- Em muitas partes do mundo, uma minoria de espécies tem nomes vernaculares / populares;
- Nomes populares não indicam a categoria; são usados sem discriminação para táxons que o botânico reconhece como gêneros, espécies, variedades, etc;
- O mesmo nome popular pode ser usado para mais de uma espécie diferente e uma espécie pode ter mais de um nome popular numa só língua, em localidades diferentes;
- Para regularizar e fazer consistente o uso de nomes populares, seria necessário criar e aplicar regras em cada língua. O resultado seria mais complicado do que o sistema científico atual;
- A escolha do Latim, língua “morta”, como língua para os nomes científicos evita desgostos culturais já que foi a língua “universal” da cultura ocidental, desde o tempo dos romanos até pelo menos o século XVIII.

Algumas plantas são conhecidas pelos seus nomes populares, como é o caso da manga, do milho, da cana de açúcar, do café etc. Entretanto, esses nomes sofrem alterações de acordo com o idioma oficial de cada país ou, até mesmo, dentro de dialetos em algumas comunidades.

2.3. Sistemas de classificação

Os organismos são agrupados obedecendo a uma hierarquia de categorias que vai desde o nível de Reino até ao nível de Gênero, em que os Gêneros são agrupados em Famílias, Famílias em Ordens, Ordens em Classes etc. Essas categorias citadas são as mais conhecidas e utilizadas. A possibilidade de adoção dos prefixos “super”, “sub” e “infra” ampliam o número de categorias disponíveis. Atualmente, considera-se uma categoria acima do Reino, o Domínio. Um grupo taxonômico em qualquer nível é conhecido como táxon.

P. ex., *Allium cepa* (alho) é um táxon dentro da categoria espécie. *Allium* é um táxon incluído na categoria gênero.

Os cientistas classificam os seres vivos numa série de grupos, tanto menor quanto mais próximo for o seu parentesco, através de um sistema piramidal que tem como vértice a espécie: Espécies afins estão reunidas em gêneros, gêneros afins estão reunidos em famílias, e assim por diante até a base, constituída pelos reinos. A correta sequência hierárquica deve ser memorizada para que se possa ter a posição relativa dos táxons.

A nomenclatura instituiu uma terminologia que permite saber, a partir do sufixo de um taxón, qual é a sua categoria taxonômica e, conseqüentemente, a sua posição hierárquica. Cada código de nomenclatura adota terminações específicas (Tabela 1).

Tabela 1

Categorias taxonômicas e suas respectivas terminações				
Categoria taxonômica/ reino	Plantae	Protista (algas)	Animalia	Fungi
Filo	Angiospermas	Chlorophyta	Chordata*	Ascomycota
Classe	Monocotiledôneas	Charophyceae	Mammalia*	Basidiomycetes
Ordem	Asparagales	Charales	Carnivora*	Agaricales
Família	Orchidaceae	Characeae	Canidae	Agaricaceae
Gênero	Catleya*	Chara	Canis*	Agaricus*
Espécie	Catleya labiata*	Chara sp.	Canis familiaris* (cão doméstico)	Agaricus bisporus*

*Não apresentam terminações específicas.

Observando a tabela podemos reconhecer que não existe uma terminologia específica para os gêneros e para as espécies.

2.4. Evolução dos sistemas de classificação

Para organizar os seres vivos em unidades taxonômicas hierárquicas foram criados os sistemas de classificação que devem ser consistentes e comparáveis, capazes de serem modificados com o acréscimo de novas informações. Esses sistemas foram se modificando à medida que novas tecnologias foram sendo aperfeiçoadas.

O primeiro sistema de classificação foi proposto por Aristóteles que dividiu os organismos em apenas dois Reinos: Plantae e Animalia. Estes se caracterizavam por serem móveis e heterótrofos, e aqueles, pela ausência de movimento e por serem autótrofos, além de se reproduzirem por esporos ou sementes. Se adotarmos esses critérios, os fungos e as bactérias fariam parte do Reino Plantae, e os protozoários fariam parte do Reino Animalia, por serem móveis e heterotróficos. Esse sistema se sustentou até o período em que organismos fo-

tossintetizantes móveis foram descobertos, assim como animais fixos no substrato, como os Poríferos e Cnidários (esponjas-do-mar e corais). (Quadro 1)

Quadro 1

A classificação dos seres vivos proposta por Aristóteles			
Autor	Reinos	Seres	Características
Sistema Aristotélico	Plantae	algas, fungos, plantas	Autótrofos; Imóveis; Reprodução por meio de esporos ou sementes; Parede celular de celulose
	Animalia	todos os animais	Heterótrofos; Móveis

Um terceiro Reino foi proposto por Haeckel, na segunda metade do século XIX. Esse Reino recebeu todos os organismos de posição incerta, como as bactérias, cianobactérias, entre outros, mas, apenas no século XX, o reino protista foi aceito. (Quadro 2)

Quadro 2

A classificação dos seres vivos proposto por Haeckel			
Autor	Reinos	Seres	Características
Haeckel século XIX	Protista	Todos os organismos de posição incerta, como as bactérias, protozoários, etc.	diversas
	Plantae	Algas e Plantas	Eucariontes; Autótrofos; Imóveis
	Animalia		Heterótrofos; Móveis

A presença de um núcleo individualizado foi um novo critério utilizado para a classificação dos seres vivos, a partir da segunda metade do século XX. Assim, os organismos sem núcleo individualizado (procariontes) constituíram o reino Monera enquanto os organismos com núcleo individualizado (eucariontes) constituíam os três reinos, a saber: Protista, Plantae e Animalia. Esse sistema foi proposto por Copeland. (Quadro 3)

Quadro 3

A classificação dos seres vivos proposto por Copeland			
Autor	Reinos	Seres	Características
Copeland século XX	Monera	Bactérias, Algas e Protozoários	Procariontes; Autótrofos e Heterótrofos; Microscópicos ou não; Com parede celular ou não.
	Protista	Grupos unicelulares e miceliais.	Eucariontes; Unicelulares ou Pluricelulares Autótrofos ou Heterótrofos; Imóveis
	Plantae	Bríofitas, Pteridófitas, Gimnospermas e Angiospermas.	Eucariontes; Autótrofos; Imóveis; Reproduzem-se por esporos ou sementes; Parede celular de celulose
	Animalia	Todos os animais	Eucariontes; Heterótrofos; Móveis

No final da década de 1960, Whittaker tratou os fungos como um Reino à parte, criando o Reino FUNGI, o que totalizou cinco Reinos. A separação em cinco reinos deve-se a um maior número de critérios analisados:

- 1. Organização celular:** procarionte (Monera), eucarionte unicelular (Protista), eucarionte multinucleado (Fungi), eucarionte pluricelular (Plantae & Animalia);
- 2. Nutrição:** fotossíntese (Plantae); absorção (Fungi); ingestão (Animalia). Os três tipos de nutrição são encontrados entre os protistas; no Monera, não existe ingestão;
- 3. Interações:** produtores (Plantae, Monera e Protista), consumidores (Animalia e Protistas) e decompositores (Fungi e Monera). O próprio autor propôs a inclusão das algas no Reino Protista, separando-as do Plantae. (Quadro 4)

Quadro 4

A classificação dos seres vivos proposto por Whittaker			
Autor	Reinos	Seres	Características
Whittaker 1979	Monera	Bactérias e Cianobactérias	Procariontes; Unicelulares; Heterótrofos ou Autótrofos (Fotossíntese, Quimiossíntese e Fermentação)
	Protista	Fungos aquáticos, pseudoplasmodiais, mixomicetos, Quitídrios, Algas	Eucariontes; Autótrofos (Fotossíntese) e Heterótrofos (Ingestão ou Absorção); Uni ou pluricelulares; Microscópicos ou não; Móveis ou imóveis; Assexuada ou sexuada.
	Fungi	Fungos terrestres ou aquáticos e líquens	Eucariontes; Heterótrofos por Absorção; Multicelulares (raramente unicelulares); Assexuada e sexuada.
	Plantae	Briófitas, Pteridófitas, Gimnospermas e Angiospermas	Eucariontes; Autótrofos; Imóveis; Reproduzem-se por esporos ou sementes; Parede celular de celulose.
	Animalia	Todos os animais que se desenvolvem de blástulas	Eucariontes; Heterótrofos.

Na década de 1980, Woese adotou uma categoria mais elevada que Reino, o Domínio. O Domínio Eucarya abrange todos os eucariotes com os reinos Protista, Fungi, Plantae e Animalia. O Domínio Archaea, formado pelo reino Archaeobacteria (Halófitas extremas e Termofílicas) e o Domínio Bacteria, composta pelo Reino Eubactéria (Sapróbias, Químioautotróficas, Fotoautotróficas). Assim o Domínio tornou-se o nível hierárquico mais alto.

A evolução dos sistemas de classificação está diretamente ligada ao desenvolvimento tecnológico. Assim, os primeiros sistemas de classificação foram basicamente descritivos, com base nas observações morfológicas externas. Com o surgimento e o avanço do microscópio, os estudos citológicos, bem como a anatomia interna dos órgãos deram um grande salto nas pesquisas. Ultimamente técnicas moleculares têm sido utilizadas como ferramentas para uma classificação mais precisa das espécies. Os caracteres morfológicos utilizados para a classificação das espécies,

nos primeiros sistemas de classificação, eram poucos ou únicos e isso acarretou grandes erros em relação às semelhanças. Por esse motivo, os primeiros sistemas de classificação eram chamados de *Sistemas Artificiais*, por não representarem uma verdadeira situação e conduzirem a erros. A análise de um maior número de caracteres morfológicos, aliadas ao desenvolvimento de técnicas laboratoriais aprimoradas, deu origem a um novo sistema de classificação – *Sistemas Naturais ou Fenéticos*. Estudos genéticos, a descoberta dos caracteres hereditários e as relações de ancestralidade e descendência deram origem a uma nova fase dos sistemas de classificação – *Sistemas Filogenéticos*.

2.5. Os seis reinos

Atualmente, os seres vivos estão divididos em três domínios e seis reinos, a saber: Domínio Archaea, com Reino Monera, Domínio Bacteria, com Reino Eubacteria, e Domínio Eukaria, com os Reinos Protista, Animalia, Fungi, e Plantae.

Quadro 5

A classificação dos seres vivos proposta por Woese				
Autor	Domínio	Reino	Seres	Características
Woese 1987	ARCHAEA Procariontes; 1 cromossomo circular; ausência de mitocôndrias, plastídios e citoesqueleto; fotossíntese não baseada na clorofila Parede celular: Peptideoglicano	Archaeobacteria	Metanogênicas; Halófitas extremas; Termofílicas	Ausência de ácido murâmico nas paredes celulares; Composição lipídica das membranas plasmáticas; Reprodução assexuada por fissão
	BACTERIA Procariontes; 1 cromossomo circular; ausência de mitocôndrias, plastídios e citoesqueleto; Fotosíntese baseada na clorofila. Parede celular: Pseudopeptideoglicano, glicoprotéínas e outros	Eubacteria	Sapróbias; Quimioautotróficas; Fotoautotróficas	Presença de ácido murâmico nas paredes celulares; Reprodução assexuada por fissão ou brotamento; RNAR 16S
	EUCARYA Eucariontes; vários cromossomos lineares; presença de mitocôndrias, plastídios e citoesqueleto; Fotossíntese baseada na clorofila. Parede celular: celulose em plantas, quitina em fungos, ausente nos animais	Protista	Mastigomycota; Pseudoplasmodiais; Mixomicetos; Quitídios; Algas	Autótrofo ou Heterótrofo; Uni ou multicelulares; Móveis ou imóveis; Assexuada ou sexuada
		Fungi	Fungos terrestres ou aquáticos; Líquens	Heterótrofos – Absorção Multicelulares, raro uni.; Assexuada ou sexuada.
		Plantae	Bríofitas, Pteridófitas; Gimnospermas e Angiospermas	Autótrofo; Imóveis; Reproduzem-se por esporos ou sementes; Parede celular de celulose.
		Animalia	Metazoários	Heterótrofos, Móveis.

Síntese do Capítulo



Os seres vivos vêm sofrendo várias transformações que resultam na atual diversidade morfológica, fisiológica e reprodutiva. Estima-se que existam entre 5-50 milhões de tipos de seres vivos, distribuídos nos mais diversos ambientes. Muitos deles serão extintos antes mesmo de serem catalogados. A extinção pode ocorrer naturalmente ou devido à intervenção humana.

Para conhecer todas as espécies existentes foram criados os sistemas de classificação, que utilizam critérios para organizar os indivíduos dentro de categorias, como espécie, gênero, família, ordem, etc.

A ciência que estuda e classifica a biodiversidade é a Sistemática. Para classificar um ser vivo, são necessárias três etapas fundamentais: 1. Identificação, que é reconhecer um táxon como idêntico ou semelhante a outro; 2. Nomenclatura, que consiste em empregar corretamente os nomes das espécies, e 3. Classificação, que é ordenar os táxons dentro de um sistema de classificação.

As regras que devem ser seguidas para nomear as espécies estão presentes nos códigos de nomenclatura internacional. É fundamental saber que os nomes científicos seguem a regra do sistema binário de Lineu. O primeiro sistema de classificação foi proposto por Aristóteles e tratava apenas de três reinos. Atualmente, são reconhecidos seis reinos, propostos por Woese, e, acima da categoria Reino, existe a categoria Domínio.

Atividades de avaliação



1. De uma maneira sintética, explique:
 - a) O que é Biodiversidade?
 - b) Como a Biodiversidade é reconhecida?
 - c) Por que estudar a Biodiversidade?
 - d) Quais as ferramentas utilizadas no estudo da Biodiversidade?
2. Identifique a categoria taxonômica a que se refere cada um dos nomes abaixo citados, de acordo com as regras de Nomenclatura Botânica.
 - *Ulva*
 - *Ulva lactuca*
 - Chlorophyta

- Ulvales
 - Ulvaceae
3. *Cordia oncocalyx* é um nome aparentemente complicado para uma árvore nativa da caatinga nordestina. Estudos químicos revelam que esta espécie possui grandes quantidades de alantoína (substância de ação cicatrizante) e de quinonas (resistência da madeira à infecção por micro-organismos). Justifique o uso do nome científico, em vez de identificar a planta como “pau-branco”, como fazem os sertanejos.
4. Podemos usar uma analogia para nos ajudar a entender como é essa “hierarquia” na classificação biológica. Quando endereçamos uma carta a alguém, escrevemos no envelope o nome da pessoa, o nome da rua onde ela mora, o número da casa, o nome do bairro, a cidade, o estado e o país. O país tem vários estados. Cada estado contém muitas cidades. As cidades são subdivididas em bairros. Cada bairro tem mais de uma rua. Cada rua tem várias casas, cada uma com um número diferente. Com os seres vivos também temos essa organização. Temos vários reinos que, na nossa analogia, corresponderiam a vários países. O Reino Animal contém vários filos, como o filo dos anelídeos, dos artrópodes, dos moluscos, dos cordados.
- A que correspondem os reinos em nossa analogia?
 - A que correspondem os filos em nossa analogia?
 - A que correspondem as classes em nossa analogia?
 - A que correspondem as ordens em nossa analogia?
 - A que correspondem as famílias em nossa analogia?
 - A que correspondem os gêneros em nossa analogia?
 - A que correspondem as espécies em nossa analogia?
5. Um organismo A pertence ao mesmo Filo que um organismo B. Já o organismo C pertence também à mesma Ordem de B. O organismo B se parece mais com A ou com C? Justifique e diga quais são as categorias taxonômicas em ordem hierárquica.
6. Por que a classificação biológica é hierárquica?
7. Qual a importância da classificação biológica e nomenclatura científica para a Química? E como a Química pode auxiliar a Taxonomia?

Leituras, filmes e sites



BRYSON, Bill. **A riqueza do ser**. In: Uma breve história de quase tudo; do big-bang ao Homo sapiens. Rio de Janeiro: Companhia das Letras, 2008, p.357-377.

Referências



BARROSO, G. M.; PEIXOTO, A.L.; ICHASO, C.L.F.; GUIMARÃES, E.F.; COSTA, C.G. **Sistemática de Angiospermas do Brasil**. Vol. 1. 2. ed. Minas Gerais,. Editora UFV, 2002.

De ROBERTIS, E.M.F. & HIB, José. **Bases da Biologia celular e molecular**. 3. ed. Rio de Janeiro; Guanabara Koogan, 2001.

JUNQUEIRA, Luiz Carlos & CARNEIRO, José. **Citologia Básica**. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2000.

RADFORD, A. E. **Fundamentals of plant systematics**. Harper & Row, Publishers, 1986, p. 498.

RAVEN, Peter; EVERT, Ray & EICHHORN, Susan E. **Biologia Vegetal**. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001.

STACE, C.A. Plant taxonomy. **Plant taxonomy and biosystematics**. 2 ed. Cambridge University Press, 1991.

Teoria celular

Após a descoberta da célula, os pesquisadores tinham dúvidas se todos os seres vivos possuíam célula, até que o botânico alemão **Matthias Jakob Schleiden** e o zoólogo **Theodor Schwann** criaram a Teoria celular.

A Teoria celular afirma que todos os seres vivos são formados por células. O reconhecimento de que a célula é a unidade fundamental de todos os seres vivos é um dos princípios fundamentais da Biologia. Apesar de serem semelhantes no geral, as células apresentam formas e funções diferenciadas. Foi com o patologista Rudolf Virchow que a teoria celular tornou-se mais ampla.

A teoria celular está fundamentada em três pilares: as células são **unidades morfológicas** dos seres vivos; as células são **unidades fisiológicas** dos seres vivos, e as células produzem novas células a partir da **divisão celular**.

As células são responsáveis pela forma do corpo do ser, pelas atividades internas (metabolismo) e pelo funcionamento ordenado do corpo. Os primeiros seres vivos eram unicelulares e, posteriormente, surgiram os seres pluricelulares. Mesmo assim, todos os indivíduos são ou foram em algum momento uma única célula (o zigoto, p. ex.).

Existem dois tipos básicos de células: as procariontes e as eucariontes. As primeiras são caracterizadas por apresentar os cromossomos em meio ao citoplasma, e a segunda, possui uma região que mantém os cromossomos isolados do restante do citoplasma, gerando um núcleo individualizado. Estas são as principais características, mas outros caracteres devem ser utilizados para distinguir os dois padrões celulares.

As células procariontes são particularmente pobres em membranas, possuem apenas a **membrana plasmática**, que é revestida por uma **parede extracelular** rígida, composta de proteínas e glicosaminoglicana. Esta parede assegura uma proteção mecânica e é responsável pelo formato da célula que, normalmente, é esférica ou em forma de bastão. Isso acontece porque não existe citoesqueleto nas células procariontes. A membrana plasmática pode apresentar algumas invaginações que penetram no citoplasma e dão origem aos mesossomos. Nos procariontes fotossintetizadores, existem algumas membranas dispostas de forma paralela, associadas a pigmentos responsáveis

Contrapondo a teoria celular, temos a teoria orgânica, que enfatiza o corpo como elemento principal constituído de células.

Os primeiros seres vivos eram formados por apenas uma célula (unicelulares). Depois surgiram os seres com milhares de células (pluricelulares).

pela captação da energia luminosa. Nessas células, encontramos ribossomos unidos a moléculas de RNA mensageiro, formando **polirribossomos**. Os cromossomos são idênticos, circulares e estão ligados em pontos diferentes da membrana, formando nucleoides. Destaca-se que os cromossomos dos procariontes não estão associados a histonas, característica típica dos eucariontes. Os filamentos dos cromossomos das células procariontes não sofrem condensação durante a divisão celular e nem se dividem por meio da mitose.

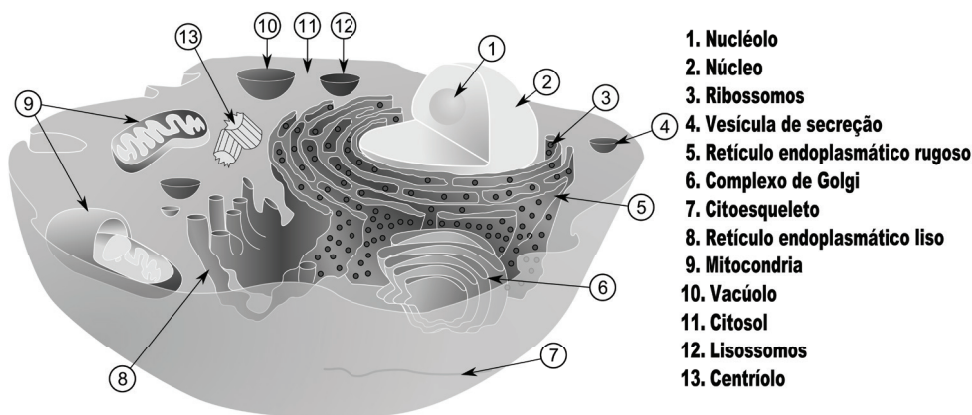


Figura 1 – Representação esquemática de uma célula eucarionte com suas organelas.

As células eucariontes possuem um complexo sistema de membranas que delimitam pequenos compartimentos com características particulares e desempenham funções específicas. A presença dessas membranas cria duas regiões distintas: o citoplasma e o núcleo. O citoplasma é envolto pela membrana plasmática, e o núcleo, pelo envoltório nuclear. A principal vantagem da aquisição de membranas foi um acréscimo de tamanho, sem interferir nas suas funções. Outra característica das células eucariontes é a presença de organelas, e o espaço compreendido entre essas estruturas é conhecido por matriz citoplasmática ou citosol. A matriz é composta por aminoácidos, água, íons, enzimas, entre outras substâncias. Também encontramos microfibrilas e microtúbulos. As células eucariontes têm formas e estruturas variáveis e se diferenciam de acordo com as suas funções específicas nos diferentes tecidos (Figura 1). Algumas células mudam de forma continuamente (ex: os leucócitos), no entanto, algumas outras células possuem formas estáveis, como as fibras musculares, neurônios e a maioria das células vegetais. A forma das células está diretamente associada a sua adaptação funcional, ao citoesqueleto, à ação mecânica exercida pelas células adjacentes e à rigidez da membrana plasmática.

1. Instrumentos utilizados para observar as células

O estudo das células e a definição da Teoria celular abriram um novo campo de estudo na Biologia: a Citologia, que se detém na estrutura e funcionamento das células. O conhecimento sobre as células está diretamente ligado ao desenvolvimento de técnicas de microscopia e ao aperfeiçoamento do microscópio.

O primeiro microscópio foi elaborado em 1590 por dois holandeses fabricantes de óculos. O aparelho permitia a observação de estruturas pequenas com razoável nitidez. Antonie von Leeuwenhoek se deteve na observação de materiais biológicos de forma sistemática. Ele também se dedicou a construir vários microscópios dotados de uma única lente, hoje conhecidos como microscópios simples.

Posteriormente, Robert Hooke aperfeiçoou os microscópios elaborados por Leeuwenhoek, acrescentando mais uma lente. Uma das lentes ficava próximo ao olho do observador recebeu o nome de ocular; a lente que ficava próxima ao objeto recebeu o nome de objetiva. Assim surgiu o microscópio composto. Com o auxílio desses microscópios, Hooker começou a investigar pequenos animais e plantas. Após analisar cascas de árvore, notou a presença de pequenos orifícios dispostos de forma semelhante aos alvéolos dos favos nas colméias. No entanto, ele não tinha noção de que esses orifícios se tratavam de células vegetais mortas e batizou-os estes de cell (cavidade, em português).

Hoje em dia, os microscópios ópticos possuem três conjuntos de lentes. Além das lentes oculares e objetivas, temos também as lentes condensadoras. Estas lentes têm a função de condensar a luz que incide sobre o objeto a ser analisado. A lente objetiva é responsável pela formação das imagens, enquanto as lentes oculares projetam a imagem no olho (Figura 2). A importância dos microscópios para a ciência deve-se ao fato de ele aumentar o poder de resolução de uma imagem, ou melhor, o objeto. Quando observado a olho nu, representa uma unidade e, quando visto ao microscópio, ele é desvendado em pequenas porções que formam um todo. Assim, podemos definir o poder de resolução como a capacidade de distinguir imagens entre dois pontos próximos.

A distância mínima que permite a discriminação entre dois pontos muito próximos é o limite de resolução. O limite de resolução é inversamente proporcional ao poder de resolução, ou seja, maior poder de resolução, menor limite de resolução.

O microscópio possibilitou o descobrimento das células e a fundamentação da teoria celular, mas tal equipamento permite apenas um aumento de 1200-1500 vezes, o que não permite a visualização de estruturas que ocupam o interior da célula, a membrana plasmática, entre outras.

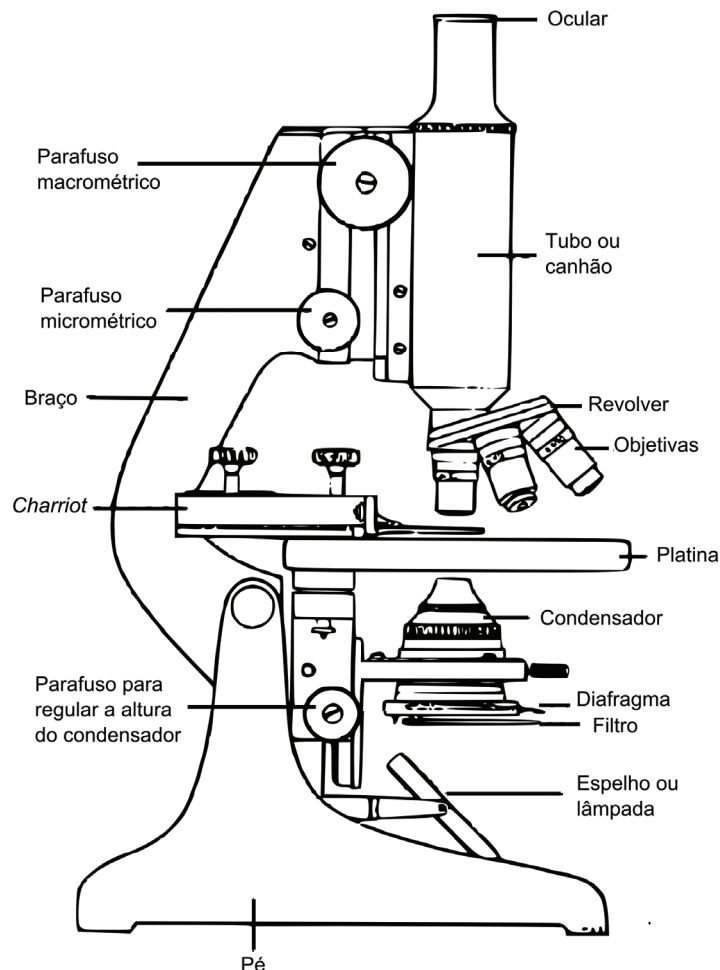


Figura 2 – Modelo de microscópio óptico com três conjuntos de lentes: oculares, objetivas e condensadoras.

2. Preparação do material

Um grande problema enfrentado pelos citologistas é desenvolver técnicas que diminuam a transparência das células aumentando a sua visualização. Outro problema é o grande teor de água contido na célula, responsável pelo baixo contraste. Para minimizar esses problemas, o material citológico passa por vários processos de preparação. Dependendo do objetivo e do material utilizado são empregadas técnicas citológicas específicas.

3. Fixação do material

A preservação das estruturas e da composição química das células e tecidos é obtida com a ação de substâncias fixadoras, como formol, acetona, glutaraldeído, ácido acético, álcool, entre outras. A escolha dos fixadores dependerá

Algumas células podem ser observadas ainda vivas sem passar pelo processo de fixação. Tal técnica, conhecida como exame a fresco, tem como desvantagem a observação de poucos detalhes da estrutura celular.

do objetivo que se pretende alcançar. A fixação se caracteriza pela morte da célula com preservação de suas estruturas. Para a preservação da composição química, são utilizados processos físicos de fixação que consistem no congelamento rápido do tecido e desidratação em baixíssima temperatura sob o vácuo. O congelamento é obtido com nitrogênio líquido e, posteriormente, o gelo sublima a vapor, resultando na desidratação do material.

4. Coloração

Após a fixação, as células continuam transparentes e as estruturas não se distinguem entre si. Os citologistas, então, lançam mão de substâncias que vão colorir de forma diferenciada as estruturas celulares. Para isso, a amostra é colocada em meio a soluções contendo corantes. São conhecidos dois grupos de corantes: os básicos e os ácidos. Cada estrutura possui relações de especificidade com seu corante.

5. Corte

Os tecidos são cortados em fatias finas para serem observados no microscópio. Para isso, é utilizado um aparelho conhecido por micrótomo. O material já corado é colocado em meio à parafina formando um bloco. Esse bloco então é cortado em várias camadas. Outra técnica adotada é a inclusão de parafina no interior da célula. Para realizar esse processo, a célula deve ser desidratada. Posteriormente, recebe um líquido intermediário, como xilol, benzeno ou toluol e, finalmente, recebe a parafina.

Após a criação do microscópio óptico, várias técnicas citoquímicas foram desenvolvidas, mas, com o advento do microscópio eletrônico (ME), pode-se observar detalhes da estrutura celular, inclusive pode-se classificar as células em procariontes e eucariontes, devido à observação da membrana ao ME.

Os microscópios eletrônicos podem aumentar entre 5mil a 100mil vezes, mas o mais importante é que este microscópio pode distinguir dois pontos com 1nm de distância entre si (limite de resolução). Existem dois tipos de microscópio eletrônico: o de transmissão e o de varredura. No ME de transmissão, um feixe de elétrons atravessa o material a ser analisado. A passagem dos elétrons vai depender da resistência imposta por cada estrutura e, por esse motivo, o feixe se torna heterogêneo. O feixe eletrônico é lançado em lentes eletrônicas que ampliam a imagem que será exibida no monitor. O ME de varredura estuda os detalhes da superfície de um objeto sólido, revestido por uma fina camada metálica. Os feixes de elétrons passam várias vezes sobre o objeto. Os elétrons emitidos pela camada de metal que reveste o objeto são captados por sensores. São geradas imagens tridimensionais que podem ser impressas, como fotomicrografias.

A preparação das lâminas pode ser feita por meio de processos simples, como o esfregaço, usada normalmente para amostras com células isoladas, como as células sanguíneas, por exemplo. Por meio da técnica de esmagamento, o material é colocado entre a lâmina e a lamínula e é aplicada uma pequena pressão sobre a lamínula. O corte também pode ser manual, se o tecido for relativamente rígido, como os tecidos vegetais.

O material biológico a ser analisado em ME passa pelas mesmas etapas seguidas para o MO. Primeiro é feita a fixação com glutaraldeído. Em seguida, o material recebe tetróxido de ósmio para fixar lipídios. A etapa seguinte é a desidratação. Depois o material é emblocado em resinas e cortado com ultramicrotomo (navalhas de vidro ou diamante). São utilizados corantes eletrônicos, que possuem metais pesados, como chumbo ou urânio. Os locais que têm afinidade pelos corantes, em geral, são eletrodensos, dificultam a passagem dos elétrons e aparecem em cores mais escuras enquanto as regiões menos densas apresentam tons mais claros.

O ME possibilitou as técnicas de manipulação *in vitro* das células, o estudo isolado de organelas, como as mitocôndrias e os cloroplastos, bem como a manipulação de material genético, a observação da membrana plasmática e do complexo sistema de membranas existentes no citoplasma.

Síntese do Capítulo



De acordo com a teoria celular, todos os seres vivos são constituídos por células. Esta teoria prega que as células são unidades morfofisiológicas dos seres vivos e que são capazes de produzir cópias de si mesma, por meio da divisão celular. As células podem viver individualmente, constituindo um organismo unicelular ou viver de forma aglomerada, constituindo os seres pluricelulares. Existem dois tipos básicos de células: as com núcleo individualizado, eucarióticas; e as células sem núcleo individualizado, procarióticas. Nesse caso, o material nuclear está disperso no citoplasma. As células eucarióticas, geralmente, são constituídas por uma membrana plasmática, o citoplasma com organelas, e um núcleo. A observação das células só foi possível com a criação dos microscópios. Os primeiros microscópios são ópticos e os mais avançados são os microscópios eletrônicos. Com o advento do ME, tornou-se possível a definição da estrutura das membranas e a identificação das organelas. Para observar os componentes celulares, o material deve passar por procedimentos padrões de desidratação, coloração, montagem de lâmina, entre outros.

Atividades de avaliação



1. Quais são os três fundamentos da teoria celular?
2. Qual a importância da teoria celular para a Biologia?
Discorra sobre: “teoria celular versus teoria orgânica”.
3. Qual a importância dos corantes para a elaboração de lâminas com material citológico?
4. Descreva, de forma sucinta, o processo de preparação de lâminas para a citologia.
5. Qual a diferença entre microscópio eletrônico de transmissão e o de varredura?
6. Quais são as vantagens e as desvantagens da realização de exame a fresco?

Leituras, filmes e sites



Livros

BRYSON, Bill. **Células**. In: Uma breve história de quase tudo; do big-bang ao Homo sapiens. Rio de Janeiro: Companhia das Letras, 2008, p. 378-387.

Referências



De ROBERTIS, E.M.F. & HIB, José. **Bases da Biologia celular e molecular**. 3. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001.

JUNQUEIRA, Luiz Carlos & CARNEIRO, José. **Citologia Básica**. 7ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2000.

Parte

2

Morfofisiologia Celular

A química da célula

As água-vivas possuem cerca de 95% de água no corpo.

As células apresentam um arsenal de substâncias que mantêm relações entre si por meio de reações químicas. Conhecer essas complexas reações, os processos que as desencadeiam, bem como seus produtos e substratos, é o papel da química da vida ou Bioquímica. O estudo da célula está diretamente associado ao estudo das moléculas que a compõem, assim a Biologia celular está inteiramente dependente dos avanços da Biologia molecular. Os componentes químicos da célula podem ser classificados como inorgânicos (água e sais minerais) e orgânicos (carboidratos, lipídios, proteínas, entre outros). Grandes moléculas são chamadas de polímeros ou macromoléculas. Tais moléculas são formadas por pequenas unidades chamadas de monômeros, que estão unidas entre si por meio de ligações covalentes. Os principais polímeros são: os **ácidos nucleicos (DNA e RNA)**, polímeros de nucleotídeos; os polissacarídeos, polímeros de monossacarídeos; as proteínas, polímeros de aminoácidos. Macromoléculas podem se associar com outras moléculas e formar complexos, como glicoproteínas (proteínas e **polissacarídeos**), lipoproteínas (proteínas e lipídios) e nucleoproteínas (ácidos nucleicos e proteínas).

Os polímeros são formados pela repetição de moléculas menores chamadas de monômeros. Se numa macromolécula todos os monômeros forem iguais, teremos um homopolímero. Se forem diferentes entre si, teremos um heteropolímero.

1. A matéria viva

Em todos os seres vivos encontramos carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio, fósforo e enxofre. Tais elementos caracterizam a **matéria orgânica**. Estes elementos químicos estão ligados entre si ou a outros elementos, por meio de **ligações químicas**, assim são geradas as **substâncias orgânicas**. Na natureza, existem basicamente dois tipos de ligações químicas: a covalente e a iônica. As ligações covalentes são ligações fortes que ocorrem para a formação de moléculas. As ligações iônicas são fracas e ocorre entre íons. O íon que cede elétrons é chamado de cátion porque assume uma carga elétrica positiva ao doar um elétron. O que recebe um elétron assume uma carga negativa, sendo então chamado de ânion.

As substâncias orgânicas se caracterizam pela presença de um arcabouço de carbono (**cadeia carbônica**). A essa cadeia se ligam vários elementos químicos que geram uma grande variedade de substâncias químicas, como as proteínas, os carboidratos, os lipídios e os ácidos nucleicos. As substâncias químicas constituem até 25% do corpo de um ser vivo, 75% de água e 1% de sais minerais. As proteínas estão entre as substâncias orgânicas mais abundantes.

Algumas substâncias possuem uma região hidrofílica e outra hidrofóbica, sendo chamadas de substâncias anfipáticas.

1.1.2. Sais minerais

Os **sais minerais** são substâncias inorgânicas que são responsáveis pela regulação de determinadas atividades vitais do organismo, como a contração muscular, os batimentos cardíacos, a transmissão de impulso nervoso, entre outras. Uma regulação importante refere-se aos íons, que modificam os níveis de acidez de um meio controlando a quantidade H^+ . As concentrações de sais, dentro e fora da célula, são diferentes. No interior da célula, vamos encontrar K^+ e Mg^{2+} em abundância enquanto o Na^+ e o Cl^- estão principalmente concentrados no meio extracelular.

1.1.3. Água

A água caracteriza-se pela combinação de dois átomos de hidrogênio e um átomo de oxigênio, unidos por meio de ligações covalentes que proporcionam estabilidade à molécula. As cargas elétricas da água estão localizadas em polos opostos gerando uma assimetria, o que se chama de **dipolo** (Figura 1). Essa característica torna a água um **solvente universal** uma vez que o seu lado positivo atrai íons negativos, e o seu lado negativo atrai íons positivos. Desse modo, os sais em meio aquoso são dissociados, o que caracteriza a água como solvente universal. A água está presente no interior da célula, no espaço entre elas (espaço intersticial), constituindo líquidos corporais, como sangue e linfa. A água é uma substância indispensável, pois os processos fisiológicos ocorrem exclusivamente em meios aquosos. E, por esse motivo, é a substância mais abundante no corpo.

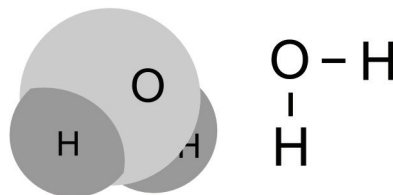


Figura 1 – Esquema da distribuição assimétrica das cargas de uma molécula de água

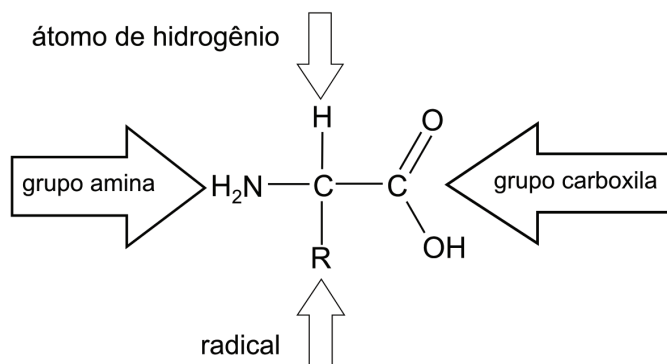
A água pode participar de reações químicas, como as **reações de hidrólise** em que determinadas moléculas são desmembradas pela ação da água (reações de hidrólise) ou surgem como produtos de reações chamadas de **síntese por desidratação**. A água intervém na eliminação de substâncias da célula e absorve calor, evitando que mudanças rápidas de temperatura atinjam as células.

As substâncias apresentam em suas estrutura grupamentos que apresentam afinidade com a água (grupamentos polares), e grupamentos que apresentam aversão à água (grupamentos apolares). As substâncias que apresentam muitos grupamentos polares são facilmente solúveis em água, são **substâncias hidrofílicas** (carbano, proteínas, ácidos nucleicos, etc.). As que possuem grupamentos apolares são insolúveis em água e conhecidas como **substâncias hidrofóbicas** (óleos, lipídios em geral).

A quantidade de água nos tecidos diminui com a idade. Assim, os primeiros sinais de envelhecimento são observados na textura da pele que fica enrugada devido à perda de água.

1.1.4. Proteínas

As proteínas são formadas por monômeros de **aminoácidos**. Nos aminoácidos, um dos átomos de carbono está ligado a um grupo carboxila (**-COOH**) e um grupamento amina (**-NH₂**), além de um hidrogênio e um resíduo lateral (**R**), que varia de acordo com cada tipo de aminoácido (Figura 2).



Na natureza, encontramos 20 aminoácidos: dois ácidos, três básicos, cinco neutros e polares e dez neutros não-polares.

Figura 2 – Estrutura química dos aminoácidos. O carbono central (carbono α) está ligado a um grupo amina (NH₂), um grupo carboxila (COOH), além de um Radical que varia de acordo como o tipo de aminoácido.

Os aminoácidos se ligam através da NH₂ de um aminoácido com o grupamento COOH de outro. Essa combinação é conhecida como **ligação peptídica**. A combinação de dois aminoácidos constitui um dipeptídeo; de três, um tripeptídeo. A união de poucos peptídeos forma os **oligopeptídeos** e, finalmente, os **polipeptídeos**, constituídos por muitos aminoácidos. As proteínas são moléculas importantíssimas para a manutenção de atividades básicas da célula. Elas podem desempenhar funções estruturais e enzimáticas. Podemos encontrar proteínas unidas a porções não-proteicas formando as proteínas conjugadas: as **glicoproteínas** (unidas a hidratos de carbono); as **lipoproteínas** (ligadas aos lipídios), e as **cromoproteínas** (ligadas a pigmentos).

As cadeias de aminoácidos estão organizadas em quatro diferentes níveis:

Estrutura primária, quando os aminoácidos estão sequencialmente dispostos formando uma cadeia (Figura 3A);

Estrutura secundária, a conformação espacial da proteína vai mudando até atingir a forma de uma α - *hélice* (a cadeia se enrola num cilindro imaginário e se estabiliza por meio de pontes de hidrogênio entre o grupamento amino de um aminoácido com o grupamento carboxila de outro). Outra conformação da estrutura secundária é o modelo de *folha pregueada* β como uma folha de papel pregueada (Figura 3B e 3C);

Estrutura terciária, novos dobramentos da estrutura secundária, resultando em uma estrutura tridimensional, globosa ou alongada (fibrosa) da pro-

Algumas enzimas requerem a presença de substâncias chamadas de coenzimas para poderem atuar. As coenzimas podem ser metais, grupos prostéticos ligados a enzima ou vitaminas do complexo B. Quando a coenzima está ligada à enzima, temos uma Holoenzima. Sem a coenzima, a enzima fica inativa, sendo então chamada de Apoenzima.

teína (Figura 3D e 3E). As proteínas globulares e as fibrosas são originadas a partir desses dobramentos;

Estrutura quaternária, quando dois ou mais peptídeos se combinam (Figura 3F).

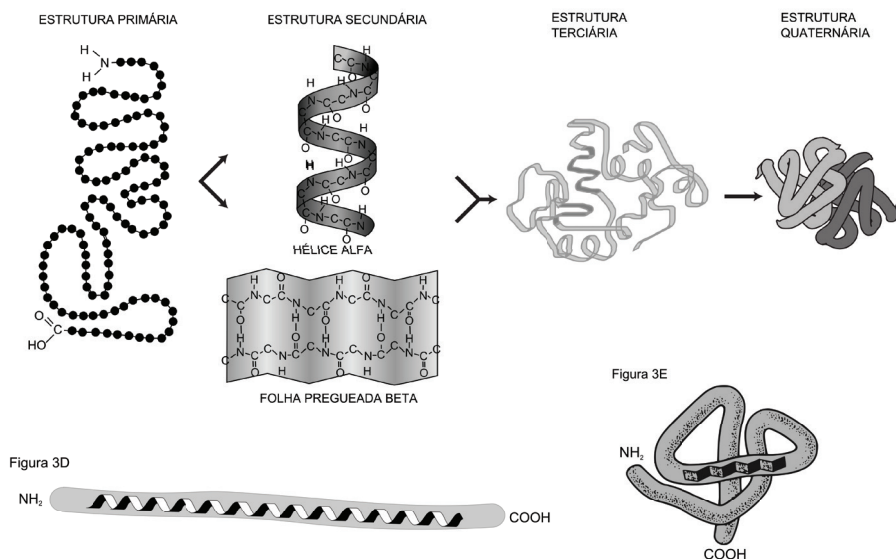


Figura 3 – Níveis de organização estrutural das proteínas. A: Estrutura primária; B: Estrutura Secundária (α hélice); C: Estrutura Secundária (folha pregueada β); D: Estrutura terciária fibrosa; E: Estrutura Terciária globular; F: Estrutura Quaternária.

A estrutura primária é determinada pela sequência de aminoácidos. Os demais níveis de organização devem-se, exclusivamente, às diversas ligações químicas existentes entre os átomos dos aminoácidos. Além das ligações covalentes, temos as não-covalentes, como pontes de hidrogênio, ligações iônicas, interações hidrofóbicas, ligações dissulfeto e interações de van der Waals. As ligações covalentes são ligações fortes que necessitam de muita energia para quebrá-las, o que ocorre muitas vezes sob a ação de enzimas. As ligações não-covalentes são fracas, mas a grande quantidade destas ligações torna a molécula estável.

1.1.5. Enzimas

As enzimas são proteínas específicas para realizar a síntese ou a degradação de substâncias. Essas proteínas especiais funcionam sob condições ideais de temperatura e pH. As enzimas também são responsáveis em acelerar as reações químicas, não modificando a sua estrutura e, por esse motivo, podem ser utilizadas repetidas vezes.

As enzimas possuem uma região chamada de sítio ativo onde os substratos se encaixam. O sítio ativo de uma enzima pode ser moldado a partir do

primeiro encaixe com o sítio ativo do substrato, tornando-se complementar a partir desse processo conhecido por encaixe induzido (Figura 4a). O substrato será modificado quimicamente e transformado em um ou mais produtos.

As ribozimas são enzimas não-proteicas uma vez que são ácidos ribonucleicos.

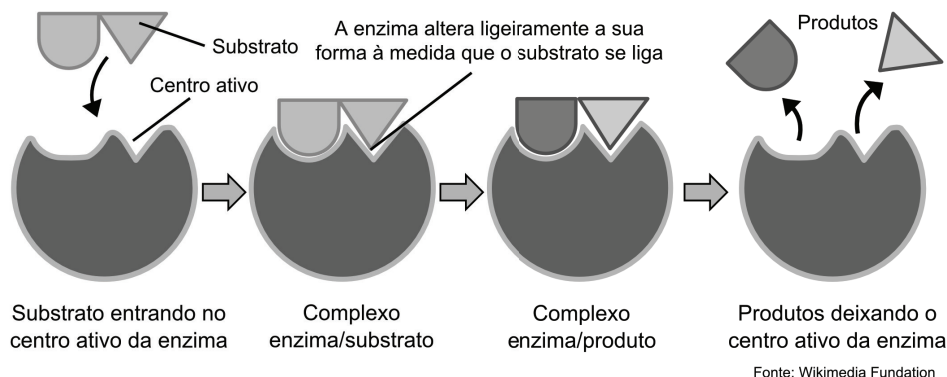


Figura 4a – Modelo encaixe-induzido que é caracterizado pela adequação do sítio ativo da proteína ao substrato



Um tipo de enzima age sobre um tipo único de substrato, apresentando, portanto, reações de especificidade semelhante a um modelo chave-fechadura (Figura 4b). As enzimas recebem o nome de seus substratos, juntamente com o sufixo *ase*: a enzima fosfatase atua sobre o fosfato; a lipase atua sobre os lipídios, a ribonuclease atua sobre os ácidos nucleicos, etc. Algumas enzimas não adotam a regra, por ex: pepsina, tripsina.

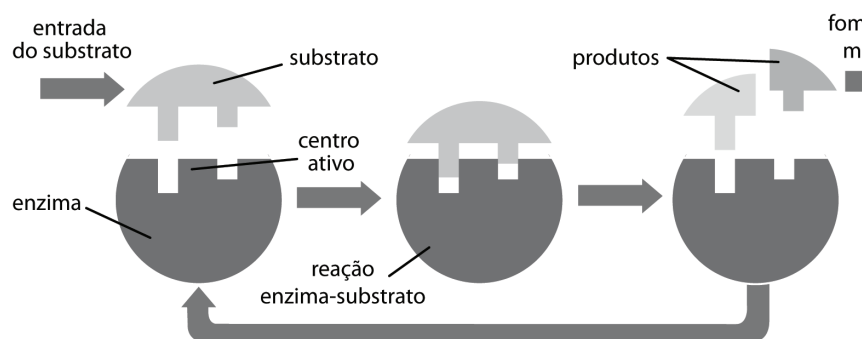


Figura 4b – Modelo chave-fechadura que é caracterizado pela especificidade entre o substrato e a enzima

As reações enzimáticas ocorrem em processos em duas etapas: primeiro ocorre a união do substrato com a enzima, formando um complexo enzima-substrato e, logo em seguida, o substrato é desdobrado e a enzima liberada para atuar sobre outra molécula do substrato. A atividade enzimática pode se processar em cadeia, os produtos de uma atividade enzimática passam a ser substratos para uma outra enzima. A atividade em cadeia aumenta a eficiência dos processos enzimáticos.

Como as enzimas são proteínas e, portanto, são produzidas sob o controle do DNA, é por meio das enzimas que o DNA controla todas as atividades dentro da célula.

A atividade da enzima é regulada de acordo com as necessidades da célula. Consequentemente, algumas enzimas sofrem auto-regulação, com o produto final da cadeia atuando sobre a primeira enzima da sequência. A ausência do produto induz a atividade da enzima e o seu excesso inibe a sua atividade (regulação alostérica).

1.1.6. Carbono

O carbono associa-se ao hidrogênio e ao oxigênio e, juntos, vão formar os hidratos de carbono, que são as principais fontes energéticas da célula. A cadeia formada pode ser apresentada de forma linear ou ramificada. De acordo com o número de monômeros, os hidrocarbonetos são classificados em:

1. **Monossacarídeos:** com a fórmula geral $C_n(H_2O)_n$, correspondem às trioses, às tetraoses, às pentoses e às hexoses, de acordo com o número de átomos de carbono. Os mais importantes são a ribose, a desoxirribose, a aligucose, a galactose, a frutose, etc.; (Figura 5);
2. **Dissacarídeos:** açúcares formados por dois monômeros de hexoses representado pela fórmula $C_{12}H_{22}O_{11}$. Assim, a lactose é formada por duas hexoses (glucose + galactose);
3. **Oligossacarídeos:** açúcares unidos a lipídios e proteínas, formando glicolipídios e glicoproteínas, respectivamente. Muitas vezes, as cadeias dos oligossacarídeos são ramificados, já que podem apresentar vários tipos de monossacarídeos;
4. **Polissacarídeos:** constituídos por muitos monômeros de hexoses; os mais comuns são o amido e o glicogênio, ambas substâncias de reserva das plantas e dos animais, respectivamente; e a celulose, constituinte estrutural da parede celular. Os três polissacarídeos citados são formados por monômeros de glicose com diferentes tipos de ligações entre si.

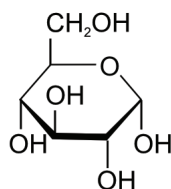


Figura 5 –
A molécula
de glicose.

Alguns polissacarídeos fazem parte da superfície celular, desempenhando papel estrutural e informacional. Participam do reconhecimento entre as células para constituir os tecidos e os receptores celulares. Reconhecem as ligações estruturais entre o citoplasma e a matriz extracelular. Quando associados a proteínas formam o glicocálice das células animais, parede das células bacterianas e parede das células vegetais.

1.1.7. Lipídios

Os lipídios são moléculas insolúveis em água e solúveis em solvente orgânicos que, devido à presença do anel benzeno, são estruturas hidrofóbicas. Alguns lipídios estão ligados a um grupo polar que possibilita a ligação a uma molécula de água. Nas células, os lipídios mais comuns são triacilgliceróis, fosfolipídios, glicolipídios e esteróides.

O **triacilglicerol** é uma reserva de energia para o organismo; os ácidos graxos, quando oxidados, liberam mais energia que os hidratos de carbono. Esse lipídio é formado por três ésteres de ácidos graxos e glicerol.

Os fosfolipídios, na célula, apresentam duas classes: os **glicofosfolipídios** e os esfingofosfolipídios. Os glicofosfolipídios têm dois ácidos graxos, ligados a uma molécula de glicerol e um fosfato ligado a um segundo álcool, formando um *ácido fosfatídico*. O segundo álcool pode ser uma serina formando o *fosfatidilserina*, ou pode ser uma colina (*fosfatidilcolina*), entre outros ácidos. Os **esfingofosfolipídios** contêm ceramida que é o resultado da união de dois ácidos graxos e um serina. Essa união forma a esfingosina. O esfingofosfolipídio que existe nas células é a esfingomielina. Apresentam duas caudas hidrofóbicas, resultantes dos dois ácidos graxos e uma cabeça hidrofílica que representa o glicerol, o fosfato e o segundo álcool. Por esse motivo, os fosfolipídios são moléculas anfipáticas e com essa característica estão presentes na membrana celular.

Os **glicolipídios** são de dois tipos: os cerebrosídeos e os gangliosídeos. Os primeiros são constituídos pela união de uma glicose ou galactose com uma ceramida. Os gangliosídeos são semelhantes aos anteriores, mas estes apresentam um oligossacarídeo no lugar da glicose ou galactose.

Os **esteróides** são lipídios que constituem vários hormônios (estrógeno, progesterona, testosterona entre outros) e a vitamina A.

1.1.8. Ácidos Nucleicos

Os ácidos nucleicos são moléculas informacionais que controlam a atividade celular, especialmente a síntese de macromoléculas, a diferenciação e a divisão celular com a transmissão de informações genéticas para as células-filha. Os ácidos nucleicos, o DNA e o RNA, apresentam uma desoxirribose e uma ribose, respectivamente em suas moléculas, e estão presentes em todos os seres vivos. Esses ácidos foram, inicialmente, descobertos no núcleo da célula e, hoje, sabe-se que são os formadores dos genes.

Os ácidos nucleicos são polímeros constituídos por monômeros (nucleotídeos) que estão unidos por meio de ligações fosfodiésteres. Os ácidos nucleicos são constituídos por **pentoses** (glicídios), ácido fosfórico e bases nitrogenadas. A união desse trio constitui o nucleotídeo que se agrupa aos milhares e forma o ácido nucleico (Quadro 1).

As **bases nitrogenadas** são classificadas em dois tipos: as pirimídicas (timina, citosina e uracila) e as púricas (adenina e guanina). No DNA, as pirimidinas são timina e citosina; e as purinas são a citosina e guanina. No RNA, encontramos a uracila no lugar da timina.

As pentoses dos ácidos nucleicos são de dois tipos: a *ribose* (presente no RNA) e a *desoxirribose* (presente no DNA). A diferença entre elas é a ausência de um átomo de oxigênio na desoxirribose.

Os **fosfatos** estão ligados ao carbono 3' da pentose de um nucleotídeo e ao carbono 5' do nucleotídeo seguinte. A cadeia do ácido nucleico fica com uma extremidade C3' e C5' livres. (Figura 6)

As informações contidas na molécula de DNA são repassadas (transcritas) para uma molécula de RNA mensageiro, que apresentará uma sequência de nucleotídeos, estabelecendo a sequência de aminoácidos das proteínas (tradução).

DNA ^{transcrição} RNA ^{tradução} PROTEÍNA

Quadro 1

Características dos ácidos nucleicos		
	DNA	RNA
Ocorrência	Especialmente no núcleo, mas também encontrado em organelas com capacidade de se autoduplicar (mitocôndrias e cloroplastos).	Forma-se no núcleo e migra para o citoplasma.
Bases	Citosina, Timina, Adenina e Guanina	Citosina, Uracila, Adenina e Guanina
Pentose	Desoxirribose	Ribose
Função	Informações genéticas	Síntese de proteínas
Estrutura	Fita dupla	Fita única

1.2. Características do DNA

Nas células eucarióticas, o DNA é encontrado dentro do núcleo, constituindo os cromossomos. É também encontrado em pequenas quantidades nas mitocôndrias e cloroplastos. Nesse mesmo tipo de célula, encontramos o DNA associado a proteínas básicas, as **histonas**, e, com elas, forma um complexo nucleoproteico conhecido como **cromatina**.

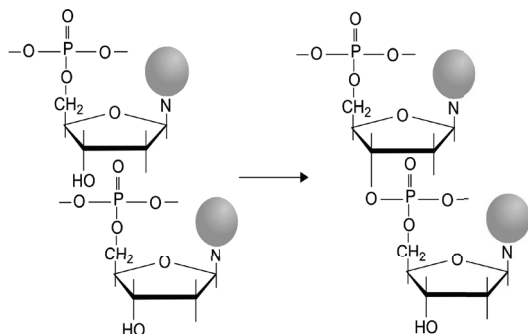


Figura 6 – Parte de uma cadeia de ácido nucleico mostrando as extremidades C5' e C3'.

O DNA é formado por duas cadeias helicoidais de ácido nucleico, unidas por meio de pontes de hidrogênio. As cadeias formam uma dupla hélice em torno de um eixo central. As duas cadeias são consideradas antiparalelas por apresentarem os carbonos livres 3' e 5' em sentidos opostos (Figura 7). As bases nitrogenadas ocupam a área interna da hélice (são hidrofóbicas). Ligando adenina e timina, existem duas pontes de hidrogênio, e a ligação entre citosina e guanina é formada por três pontes de hidrogênio, o que lhe confere mais estabilidade. Outra característica da molécula de DNA é que as suas cadeias são complementares, ou melhor, cada base nitrogenada de uma cadeia liga-se ao seu par complementar na outra cadeia.

Essa característica permite que, durante a duplicação do DNA, as duas cadeias sirvam de base para a formação de duas novas cadeias que são complementares. Desse modo, são geradas duas moléculas-filhas com a mesma constituição da molécula geradora.

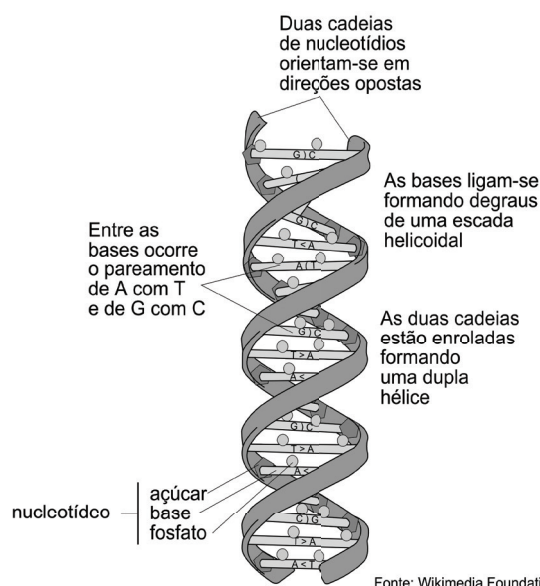


Figura 7 – A dupla hélice de DNA. As cadeias são antiparalelas, pois apresentam as extremidades 3' e 5' em sentidos opostos.

1.2.1. Características do RNA

O RNA é constituído por uma única cadeia de nucleotídeos. A estrutura do RNA é igual ao do DNA, exceto pela presença de uracila no lugar da timina. Existem três tipos funcionais e estruturais de RNA:

1. RNA mensageiro (RNAm);
2. RNA de transferência ou transportador (RNAt);
3. RNA ribossômico (RNAr).

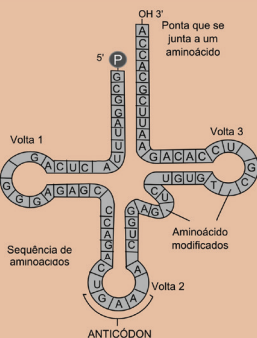
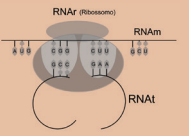
Os três participam da produção de proteína de acordo com a seguinte sequência: o RNAm é formado no núcleo, a partir da transcrição da molécula de DNA que informa a sequência de aminoácidos da proteína e depois migra para o citoplasma. O RNAr (constitui o ribossomo) serve de apoio para a síntese proteica. Assim, tanto o RNAm quanto o RNAt usarão o RNAr como suporte. O RNAt é responsável pelo reconhecimento e pelo transporte de aminoácidos até os ribossomos.

O RNAt tem como função transferir os aminoácidos para as posições corretas nas cadeias polipeptídicas em formação, nos complexos de ribossomo e RNAm. O RNAt também é capaz de reconhecer uma sequência de três bases nitrogenadas presentes no RNAm, denominadas de **códon**. Essa sequência é específica para cada aminoácido. A sequência de bases presentes no RNAt que reconhece o códon é chamada de **anticódon**. (Quadro 2). Os RNAt são sintetizados a partir dos filamentos de DNA e migram para o citoplasma.

A união de uma base e uma pentose forma um nucleosídeo. Se houver a inserção de um fosfato a esse nucleosídeo, teremos um nucleotídeo. Os nucleotídeos, além de constituírem os ácidos nucleicos, são estruturas que armazenam energia química. Como exemplo de nucleotídeos, temos o ATP (adenina trifosfato), o GTP (guanina trifosfato). Os nucleotídeos podem estar livres, desempenhando funções de coenzima.

O RNAm é sintetizado de modo semelhante ao RNAt. A molécula de RNAm é bem maior que a proteína que será formada por ele, uma vez que são necessários três nucleotídeos para codificar um aminoácido. Algumas proteínas são formadas com partes extras contendo vários aminoácidos que são removidos no processo final. O DNA que transcreve os RNAm contém partes que são traduzidas em proteínas, os **éxons**, e partes sem informações chamadas de **íntrons**. No processo de formação do RNAm, os íntrons são eliminados e as partes que contêm as informações importantes são “soldadas” para formar a molécula de RNAm. Os RNA que possui íntrons são conhecidos por RNAhn (RNA heterogêneo). (Quadro 2). O RNA ribossômico constitui mais de 80% do RNA presente na célula. Quando combinado com proteínas, forma os **ribossomos** e, quando estes se ligam aos filamentos de RNAm, formam os **polirribossomos**, onde ocorrem a síntese de proteína. Os ribossomos são constituídos por duas subunidades, uma e outra menor, com funções e estruturas diferentes. São encontrados cerca de 50 tipos de proteínas nos ribossomos. (Veja o Quadro 2 na página a seguir).

Quadro 2

Características Gerais do Ácido Ribonucleico			
	RNAt	RNAm	RNAr
Funções	Transporte dos aminoácidos, unir seu anticódon ao códon do RNAm; Determinar a posição dos aminoácidos nas proteínas	Determina a posição dos aminoácidos nas proteínas, uma vez que possui as sequências de bases nitrogenadas.	Forma os polirribossomos
Localização	Principalmente no citoplasma; poucos são encontrados no núcleo.	Principalmente no citoplasma; poucos são encontrados no núcleo.	Principalmente no citoplasma; poucos são encontrados no núcleo.
Forma	Trevo 	Filamentos simples 	Ribossomos 

Síntese do Capítulo



As células são constituídas por água, substância mais abundante dentro da célula, sais minerais e vários polímeros. Os polímeros são formados a partir da organização de vários monômeros. Os ácidos nucleicos (DNA e RNA) são polímeros de nucleotídeos; os polissacarídeos, de monossacarídeos; as proteínas, de aminoácidos. Macromoléculas podem se associar entre si, originando complexos, como glicoproteínas (proteínas e polissacarídeos), lipoproteínas (proteínas e lipídios) e nucleoproteínas (ácidos nucleicos e proteínas).

Atividades de avaliação



1. A macromolécula mais abundante em um ser vivo é a(o):

- a) água
- b) açúcar
- c) DNA
- d) lipídio
- e) proteína

2. Relacione as colunas

Coluna 1

- 1. hidrólise
- 2. síntese por desidratação
- 3. hidrofóbica
- 4. anfipática

Coluna 2

- () substância cujas moléculas não têm afinidade com moléculas de água.
- () reação química em que ocorre união de moléculas reagentes em formação de água como produto final.
- () reação química em que ocorre quebra de moléculas com participação da água como um dos reagentes.
- () substâncias que possuem uma porção hidrofóbica e outra porção hidrofílica.

3. Quais são os átomos que se combinam e formam a maioria dos compostos orgânicos?

4. Caracterize a estrutura quaternária de uma proteína.

5. Explique a ação das enzimas sobre o substrato.

6. Qual é função dos esfingofosfolípidios, glicolipídios e esteróides?
7. A frutose, a lactose e o glicogênio são, respectivamente,:
monossacarídeo, polissacarídeo, dissacarídeo.
dissacarídeo, polissacarídeo, monossacarídeo.
monossacarídeo, dissacarídeo, polissacarídeo.
polissacarídeo, dissacarídeo, monossacarídeo.
8. A Guanina trifosfato (GTP) é um
polissacarídeo.
ácido nucleico.
nucleotídeo.
ácido graxo.
9. Como ocorre a regulação alostérica?
10. Quais as diferenças entre a molécula de DNA e a de RNA?

Referências



- De ROBERTIS, E.M.F. & HIB, José. **Bases da Biologia celular e molecular**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001
- JUNQUEIRA, Luiz Carlos & CARNEIRO, José. **Citologia Básica**. 7ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2000.
- STRYER, L. **Bioquímica**. 4ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1996.

Membranas Biológicas

As células são revestidas e delimitadas por uma película muito fina que tem como função isolá-las do ambiente externo. Na verdade, a película é responsável pelo controle do fluxo de substâncias na célula. Assim, ela pode manter a constância do meio interno que é diferente do meio externo. Essa película é chamada de membrana plasmática.

As membranas plasmáticas são barreiras permeáveis seletivas que desempenham diversas funções, como:

- Controlar a passagem de íons e pequenas moléculas;
- Servir de suporte para enzimas;
- Participar do processo de endocitose e exocitose;
- Possibilitar o reconhecimento e adesão entre si e com componentes da matriz extracelular;
- Interagir, especificamente, com moléculas provenientes do meio externo, como hormônios, neurotransmissores, entre outras.

A membrana plasmática caracteriza-se por duas camadas de lipídios, com moléculas de proteínas imersas na matriz lipídica. Tanto as moléculas de lipídio quanto as de proteína podem deslocar-se no plano da membrana sem perder contato entre si. Esta estrutura dinâmica da membrana foi proposta por Singer & Nicolson, em 1972, e nomeada de **modelo do mosaico fluido**. (Figura 1)

A membrana plasmática possui a mesma estrutura das demais membranas presentes na célula, como as que envolvem as organelas, o sistema de endomembranas, incluindo o envoltório nuclear e os peroxissomos.

A membrana plasmática possui receptores específicos que possibilitam o reconhecimento de outras células e de diversos tipos de moléculas. O reconhecimento de moléculas induz diferentes respostas que variam de acordo com o tipo de célula ou o estímulo. A resposta pode ser produção de anticorpos, produção de secreções, divisão celular, entre outras.

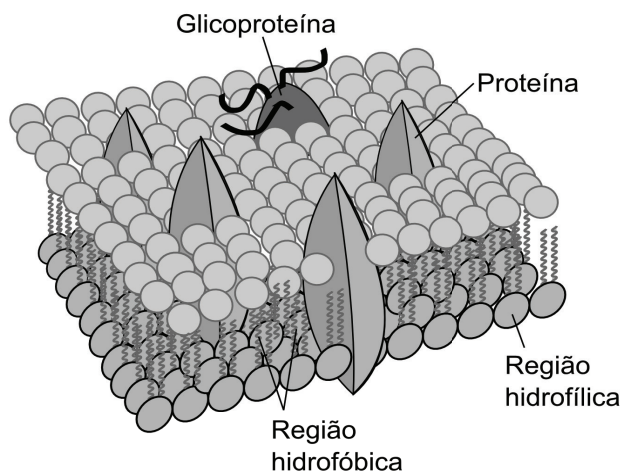


Figura 1 – Esquema do modelo Mosaico Fluido da membrana plasmática.

Um bom exemplo dos marcadores de superfície de membrana são as glicoproteínas e os glicolipídios que determinam os grupos sanguíneos. Os grupos A-B-O estão na dependência de pequenas variações na estrutura dos hidratos de carbono, presentes nas glicoproteínas e nos glicolipídios.

2.1. Composição química da membrana

A membrana plasmática apresenta uma face voltada para o seu interior, face citossólica, e uma voltada para o meio externo. A composição química das faces da bicamada é variável, tanto na composição de lipídios quanto na de proteínas. Além da diferença na composição, há também diferença de carga elétrica - a face interna é ligeiramente negativa, e a face externa é positiva.

2.1.1. Os lipídios

Os lipídios da membrana plasmática são moléculas longas com uma extremidade hidrofóbica (solúvel em lipídio e insolúvel em água) e outra hidrofílica. Moléculas com esta propriedade são chamadas de **anfipáticas**. Os principais tipos de lipídios encontrados na membrana são os fosfoglicerídeos, esfingolipídios e o colesterol, encontrado nas células animais, ausente nas vegetais.

As extremidades hidrofóbicas estão voltadas para o interior da membrana e as hidrofílicas, para o meio extracelular ou para o citoplasma, ambos aquosos. (Figura 2).

As moléculas de lipídios podem movimentar-se livremente pela membrana, bem como girar em torno do seu próprio eixo e migrar de uma camada para a outra. Esses movimentos, realizados pelas moléculas, constituem o modelo fluido. As proteínas também realizam os mesmos movimentos dos lipídios.

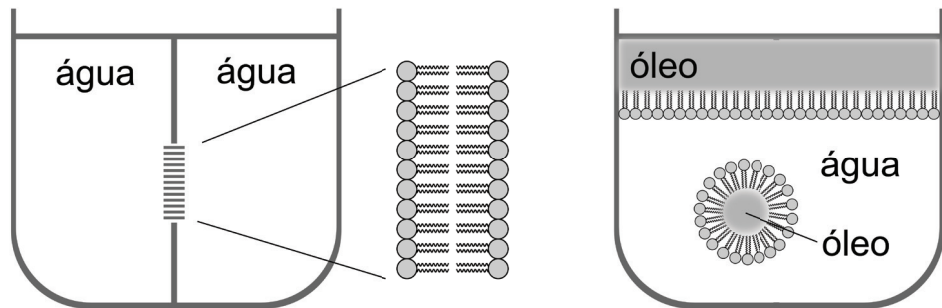


Figura 2 – Representação esquemática da bicamada lipídica com suas cadeias hidrofóbicas voltadas para o interior e as cadeias hidrofílicas voltadas para o meio extracelular em contato com o meio aquoso.

2.1.2. As proteínas

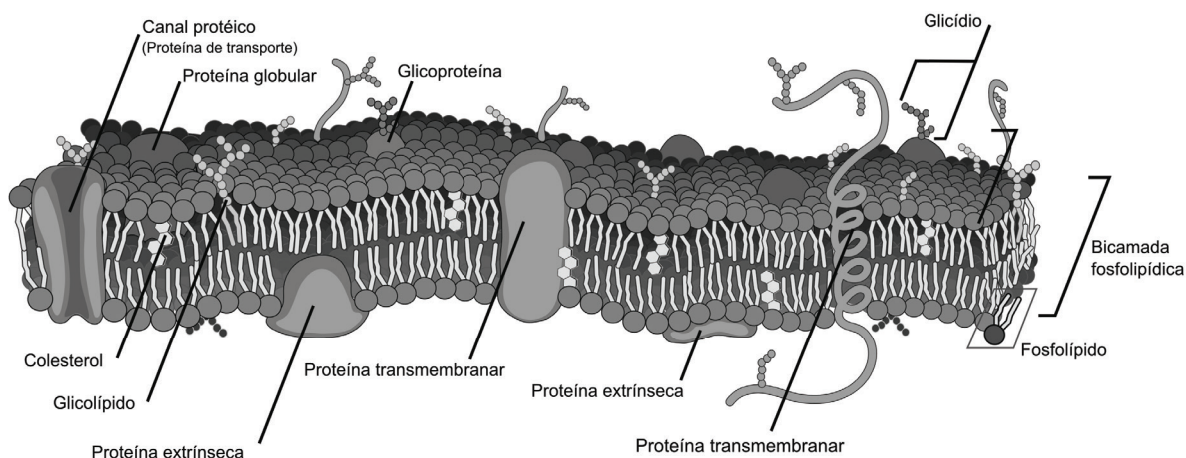
Cada membrana apresenta proteínas características responsáveis por várias funções da membrana. As proteínas de membrana se classificam em dois grupos, de acordo com o grau de facilidade de extraí-las da membrana: as integrais ou intrínsecas e as periféricas ou extrínsecas. As primeiras estão intimamente associadas à membrana e, para retirá-las, são usados processos drásticos, como a utilização de detergentes. Essas proteínas estão ligadas aos lipídios

por meio de interações hidrofóbicas e expõem ao meio aquoso a sua porção hidrofílica. Algumas proteínas atravessam integralmente a bicamada lipídica expondo a sua porção hidrofílica em ambas as superfícies da membrana. Essas proteínas são denominadas proteínas transmembranas.

Algumas proteínas transmembranas se unem e formam pequenos canais cujas aberturas estão voltadas para ambos os lados da bicamada. Tais canais são importantes para o transporte de solutos.

As proteínas extrínsecas podem ser facilmente isoladas da membrana por ação de soluções salinas, uma vez que estão presas na superfície das membranas. (Figura 3).

Algumas **proteínas transmembranas** atravessam a bicamada duas ou mais vezes sendo então chamadas de multipasso ou proteína transmembranas de passagem múltipla.



Fonte: Wikimedia commons

Figura 3 – Representação das proteínas presentes na membrana plasmática: proteínas integrais e proteínas periféricas

2.1.3. Além da membrana

A maioria das células possui envoltórios externos (glicocálix e parede celular) em relação à membrana plasmática que as protege ou auxilia nas suas funções.

O **glicocálix** é composto basicamente por glicolipídios e glicoproteínas e está presente nas células animais e de alguns protozoários. São moléculas filamentosas que se entrelaçam e formam uma pequena malha que protege a membrana plasmática. (Figura 4).

A **parede celular** é encontrada em bactérias, nos fungos, nas algas e nos vegetais. A parede celular é relativamente espessa.

Quando as células são jovens, a parede celular é fina e flexível, sendo chamada de **parede primária**. Essa parede permite o crescimento da célula até atingir o tamanho definitivo, quando então recebe substâncias que tornará a parede mais rígida, entre elas temos a lignina e a suberina, que são consti-

O isolamento da membrana plasmática só foi possível com a utilização de células desprovidas de organelas. Para isso, foram utilizados eritrócitos. Essas células são colocadas em meio hipotônico, onde se rompem liberando o conteúdo interno (hemoglobina). As membranas são então isoladas por meio de centrifugação.

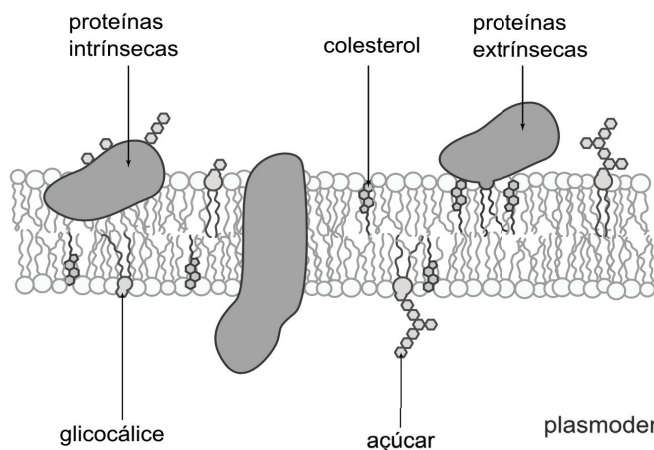
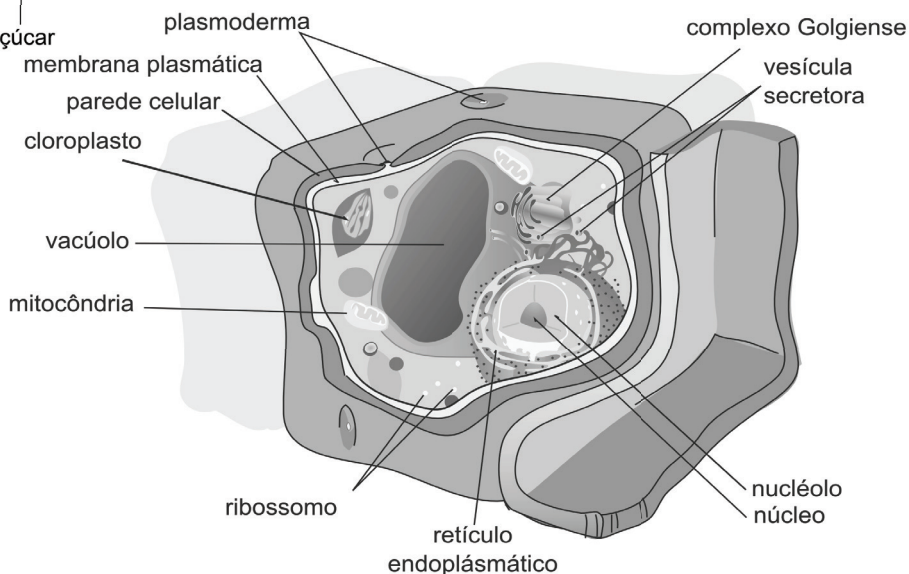


Figura 4 – Presença de glicolípídeos e glicoprotéínas na face externa das membranas celulares



Fonte: Wikimedia Commons

Figura 5 – Disposição das camadas da parede celular de uma célula vegetal.

2.1.4. Transporte através da membrana

As substâncias químicas apresentam um fluxo contínuo através da membrana plasmática. Os íons e pequenas moléculas (solutos) atravessam constantemente a membrana. Tal fato é chamado de **permeabilidade**. As grandes moléculas atravessam a membrana por meio de estruturas especiais, como: vesículas, poros e canais.

A membrana plasmática é semipermeável porque os solutos têm que atravessar a dupla camada lipídica. Essa dupla camada facilita a passagem de substância lipossolúvel e dificulta a de substâncias polares. Permite, também, a passagem da água por difusão simples. Desse modo, algumas moléculas são selecionadas pela membrana.

Nas algas e vegetais, a parede celular é constituída principalmente por celulose. Nos fungos, pode ser constituída por quitina. A parede secundária é composta por três camadas rígidas, denominadas S1, S2 e S3.

tuintes da madeira. Assim, forma-se a **parede secundária**.

As células vegetais adjacentes se comunicam por meio de orifícios que não apresentam celulose e por onde passam pontes citoplasmáticas que põem em contato as células vizinhas. Esses orifícios são chamados de **plasmodesmos**. A parede celular confere à célula proteção mecânica, definição da forma e controle da entrada de água (Figura 5).

2.1.5. Tipos de Transporte

2.1.5.1. Transporte passivo

Na passagem dos solutos através da membrana plasmática pode haver gasto de energia (transporte ativo), ou não haver gasto de energia (transporte passivo). Se o **transporte passivo** for realizado através da membrana plasmática, é chamado de **difusão simples** (Figura 6 e 7), mas, se houver a utilização de canais iônicos e de substâncias chamadas de permeases (= transportadores), teremos uma **difusão facilitada**. O transporte ativo ocorre especificamente sob a ação de enzimas conhecidas como permeases.

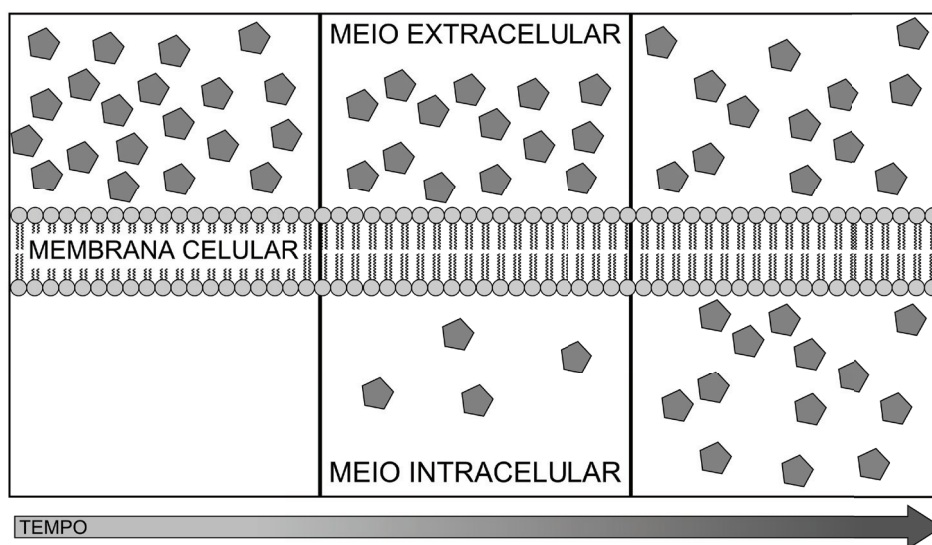


Figura 6 – Difusão de uma substância em um solvente.

Difusão é o movimento do soluto que se desloca dos locais de **maior** concentração para os **de menor** concentração. Isso define o **gradiente de concentração**. Se o soluto apresentar carga elétrica, teremos um **gradiente elétrico**. A soma dos dois gradientes forma um **gradiente eletroquímico**. (Figura 7).

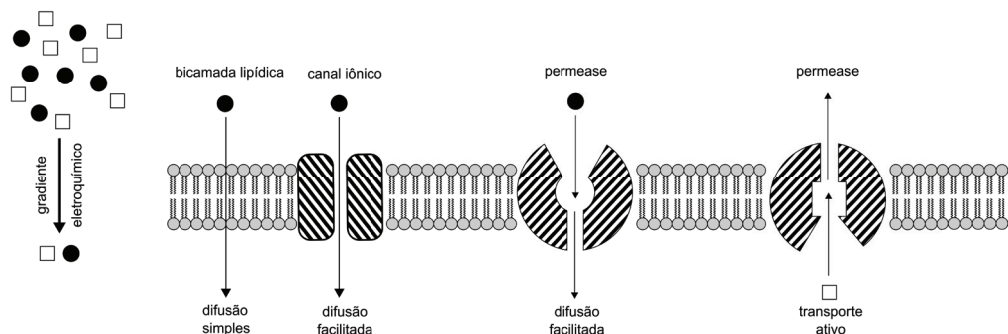


Figura 7 – Tipos de transporte através da membrana das células demonstrando diferentes estruturas utilizados pelos solutos para atravessá-la.

Existem substâncias que aumentam a permeabilidade de íons na membrana, os ionóforos. Algumas delas atuam formando canais ou poros (formadores de canais); outras, envolvem o íon e o conduzem para o outro lado, onde o liberam (transportadores móveis). A passagem da água também é facilitada por meio de um canal delimitado por quatro proteínas, estrutura conhecida como aquaporina.

A difusão facilitada ocorre a favor dos gradientes de concentração, mas esse processo utiliza canais iônicos e permeases para conduzir com mais eficiência os solutos. Os canais iônicos são poros que atravessam a membrana plasmática e são específicos para diferentes tipos de íons por isso, extremamente seletivos.

Além do gradiente de concentração, temos o gradiente de voltagem que se caracteriza pelo fluxo de íons. Como o interior da célula é negativo, há a entrada de íons positivos que são impedidos de sair, o contrário acontece com os íons negativos.

Os tipos de canais iônicos

Os canais iônicos não ficam abertos constantemente. Os movimentos de abertura e fechamento desses canais são regulados por meio de potencial elétrico (**canais dependentes de voltagem**) ou por meio de uma substância indutora (**canais dependentes do ligante**). (Figura 8).

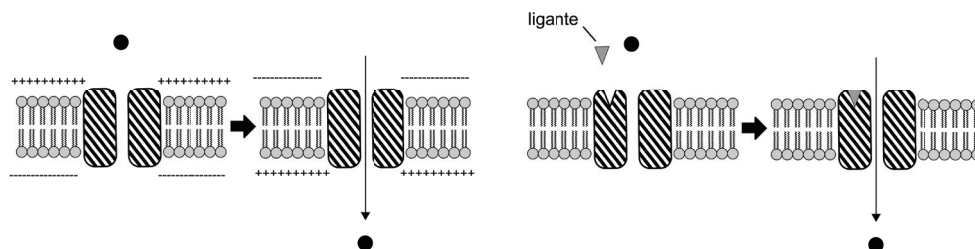


Figura 8 – Esquema dos canais iônicos dependentes de voltagem e do ligante.

Permeases passivas

As permeases são proteínas transmembranas que se ligam especificamente a um ou mais solutos (Figura 7).. A presença do soluto altera a estrutura da permease e transfere o material de um lado para o outro da membrana. Existem três tipos de permease que atuam de modo passivo: **monotransporte** – transportam apenas um tipo de soluto; **co-transporte** - transportam dois tipos de solutos ao mesmo tempo no mesmo sentido; e **contra-transporte**, transportam dois tipos de solutos em sentidos opostos. Tanto no co-transporte como no contra-transporte os solutos devem estar associados. (Figura 9).

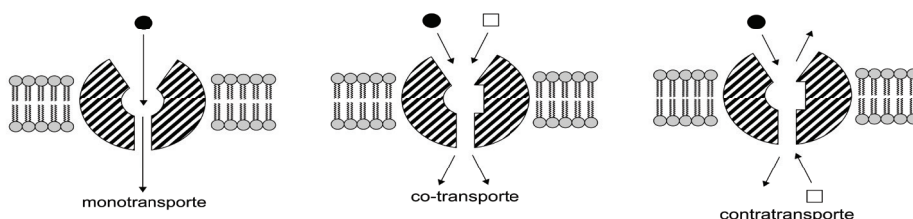


Figura 9 – Tipos de transporte realizados pelas permeases.

Osmose

É um processo de difusão em que apenas a água atravessa a membrana semipermeável. A água migra de um local de maior concentração para um local com menor concentração de água. Quando uma célula é imersa em água pura, a tendência é que a água migre para o interior da célula porque a concentração deste líquido no meio externo é maior que dentro da célula. Mas, se a célula for colocada num meio rico em solutos (maior concentração externa de soluto, menor concentração de água), a água tende a sair da célula porque há uma maior concentração interna. Desse modo, temos, comparativamente, soluções mais concentradas denominadas de **hipertônicas** e soluções menos concentradas, **as hipotônicas**. Quando as soluções apresentam concentrações iguais temos as soluções **isotônicas**.

Quando a célula é colocada num meio hipotônico, a água entra na célula resultando no aumento de volume. Se houver um aumento excessivo, pode ocorrer o rompimento da membrana plasmática - **lise celular**. O contrário vai acontecer quando a célula for colocada em meio hipertônico, pois a célula vai diminuir o volume devido à perda de água. O meio isotônico não vai influenciar na mudança de volume ou forma das células, uma vez que as soluções estão em equilíbrio. As células vegetais respondem de forma similar às células animais, com a diferença de que, quando colocadas em um meio altamente hipotônico, a membrana plasmática das células vegetais não estouram devido à presença da parede celular que limita o aumento de volume. (Figura 10).

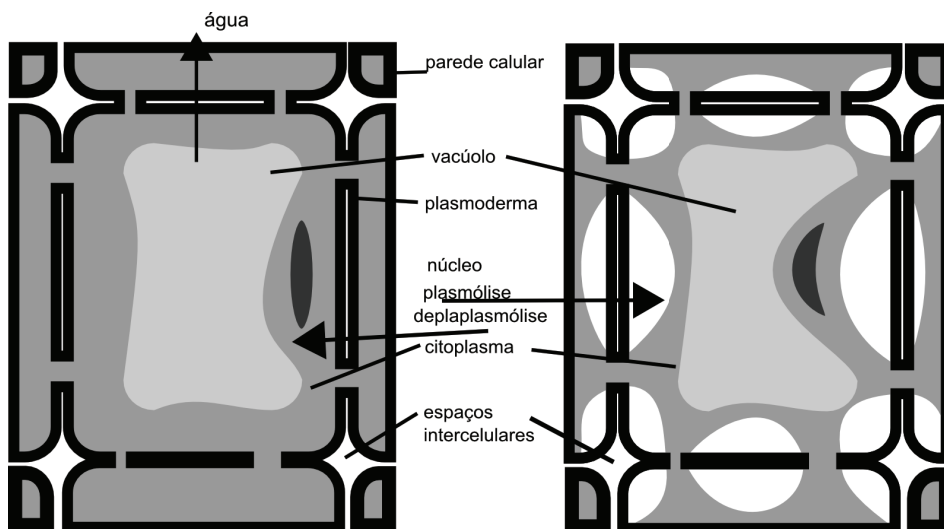


Figura 10 – A parede celular das células vegetais impede que as células estourem, além de não permitir a deformação da célula quando está murcha.

2.1.5.2. Transporte ativo

Quando o transporte de solutos é realizado contra o gradiente de concentração ou de voltagem, há um gasto de energia e o transporte é chamado de ativo. O transporte ativo é feito por meio de permeases, também chamadas de bombas. Também encontraremos processo de monotransporte, co e contra-transporte.

O sistema de contra-transporte mais conhecido é a **Bomba de Na^+ K^+** . A face da bomba de Na^+ K^+ voltada para o interior da célula possui um sítio específico para o Na^+ e a face voltada para o meio extracelular tem afinidade com o K^+ . A função dessa bomba é eliminar o Na^+ do interior da célula e introduzir o K^+ . O transporte desses íons é feito contra o gradiente e requer energia, que será disponibilizada pelo ATP, após ação da $\text{Na}^+\text{K}^+\text{-ATPase}$.

A concentração interna de K^+ é maior que a concentração externa. O Na^+ apresenta situação contrária, a sua concentração externa é maior que a interna. O Na^+ , por difusão, migra para o interior celular e, pelo mesmo motivo, o K^+ sai da célula. A bomba de Na^+K^+ inverte esse fluxo, introduzindo K^+ e eliminando Na^+ contra o gradiente de concentração e com gasto de energia. Para cada três Na^+ eliminados, são introduzidos dois K^+ .

A atividade da bomba de Na^+K^+ caracteriza o contra-transporte, uma vez que na ausência de um dos solutos não haverá transporte (Figura 11).

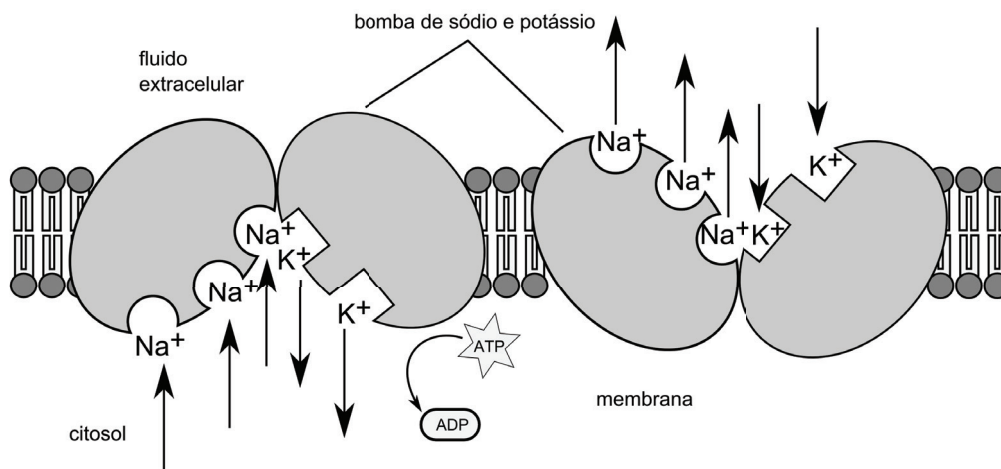


Figura 11 – Representação esquemática da bomba de sódio e potássio.

Endocitose e Exocitose

As células também são aptas a transferir para o seu interior grandes moléculas que são impossibilitadas de atravessar a membrana por meio de poros, canais, transportes ativos ou outros meios. Para que isso aconteça, a membrana sofre mudanças morfológicas para envolver o material e liberá-lo dentro da

célula. Esse processo é chamado de **Endocitose**. Quando o processo ocorre no sentido inverso, do citoplasma para o meio externo, temos **Exocitose**. (Figura 12) Quando a partícula a ser transferida para o interior da célula é sólida, ocorre a **fagocitose** e, se for um líquido, ocorre a **pinocitose**.

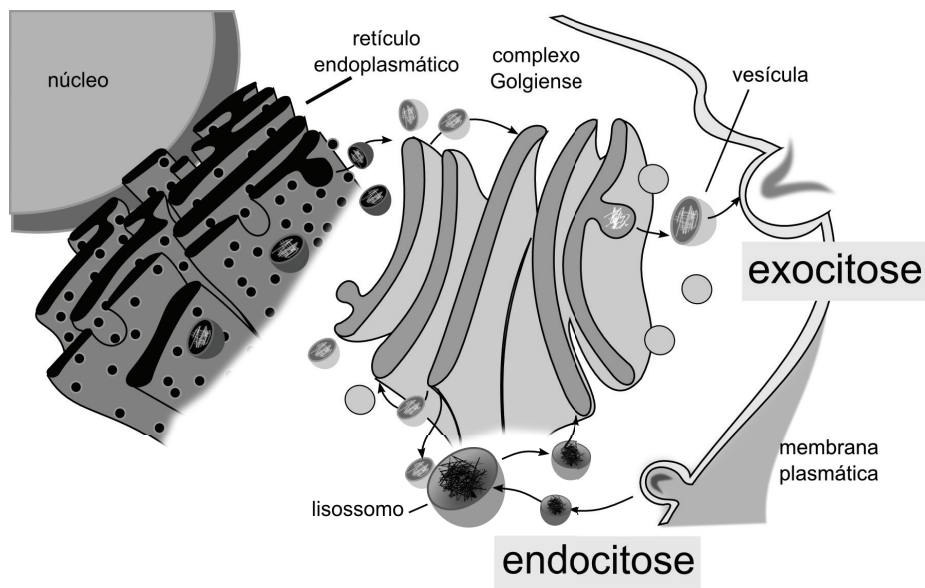


Figura 12 – Processo de endocitose, englobamento de partículas; e exocitose, eliminação de partículas.

2.2. Fagocitose

A fagocitose se inicia quando a partícula é reconhecida por receptores específicos da membrana celular. Após o reconhecimento, há a formação de pseudópodos que englobam a partícula. Forma-se, então, uma estrutura semelhante a um vacúolo, chamado de **fagossomo**. Esse é conduzido ao interior da célula por meio da atividade do citoesqueleto. Os lisossomos se unem ao fagossomo e lançam enzimas que irão digerir a partícula. (Figura 13 B).

A fagocitose é um processo de alimentação para alguns organismos, como as amebas e os protozoários. Nos mamíferos, a fagocitose é feita por células responsáveis pela defesa do corpo, como os **macrófagos**.

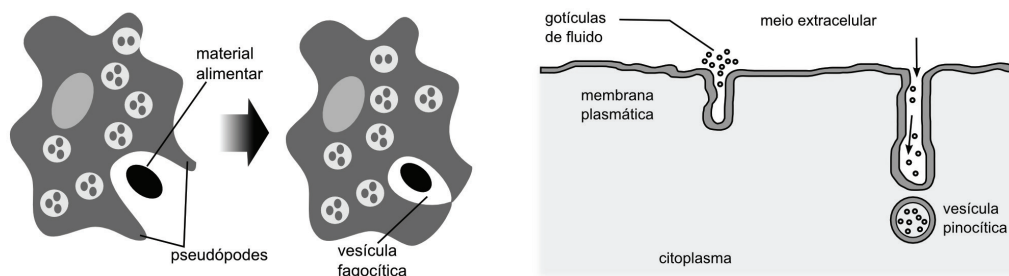


Figura 13 – Processo de englobamento de partículas: A: Pinocitose, englobamento de substâncias líquidas. B: Fagocitose, englobamento de substâncias sólidas.

Quando alguma organela não é mais necessária, ou está alterada, ela é envolta por membranas e, rapidamente, sofre a ação de lisossomos, caracterizando a autofagia.

2.3. Pinocitose

O englobamento de líquidos é feito com a invaginação da membrana, formando pequenas vesículas que são posteriormente puxadas para o interior da célula, e penetram no citoplasma. Existem dois tipos de pinocitose: a não-seletiva e a seletiva. No primeiro tipo, todos os solutos podem ser englobados pela vesícula enquanto na pinocitose seletiva, os receptores de superfície se ligam ao soluto específico, englobam-no em vesículas, que são conduzidas para o interior do citoplasma onde sofrerão o ataque de enzimas lisossômicas. (Figura 13 A).

2.4. Estruturas Juncionais

As células estão unidas entre si e à matriz extracelular por meio de estruturas juncionais que compõem três grupos: (Figura 14).

- Estruturas que unem as células uma as outras: **desmossomos e junções aderentes**;
- Estruturas que promovem a vedação entre as células: **zonulas oclusivas**;
- Estruturas que permitem a comunicação entre as células: **nexos e junções comunicantes**.

O desmossomo é constituído pelas membranas de duas células vizinhas. Entre elas, surge um ma-

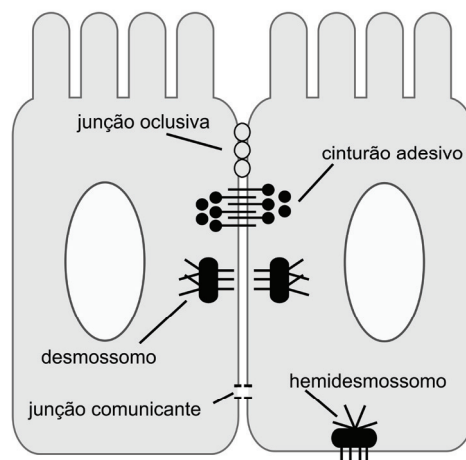


Figura 14 – Estruturas que mantêm as células epiteliais entre si e com a matriz extracelular.

terial denso e, nesta mesma região, na face voltada para o citoplasma, o citoesqueleto das duas células fica aderido à membrana celular.

A **junção aderente**, semelhante aos **desmossomos**, apresenta um material granuloso e eletro-denso no espaço entre as células adjacentes.

A **zonula oclusiva** é uma camada contínua que se forma na porção apical das células epiteliais, impedindo o fluxo de íons ou moléculas por entre as células. (Figura 15)

As **junções comunicantes** são caracterizadas por tubos (conexons) que atravessam as membranas plasmáticas de duas células adjacentes. Por meio destes tubos, podem passar nucleotídeos, aminoácidos e íons. Os tubos podem apresentar-se muito permeáveis ou pouco permeáveis e, desse modo, abrem ou fecham a comunicação entre as duas células.

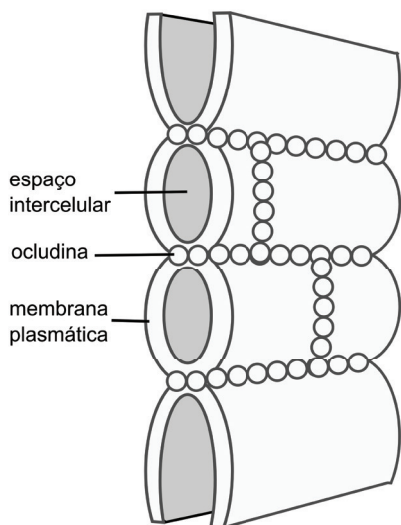


Figura 15 – Representação esquemática de uma Zônula oclusiva

Síntese do Capítulo



A membrana plasmática é uma película que protege a célula do meio externo, mas não a isola, pois permite o fluxo de substâncias, selecionando solutos e macromoléculas que devem ser incorporadas ao citoplasma ou eliminando produtos de seu metabolismo. Ela também permite a comunicação entre células, a partir de contatos, como as junções e desmossomos. A membrana plasmática possui uma dupla camada de lipídios onde estão imersas algumas proteínas.

Atividades de avaliação



1. Explique a constituição lipoproteica da membrana plasmática.
2. Caracterize a parede celular e destaque a sua composição química nas plantas e nos fungos.
3. Durante a osmose, a água passa através da membrana semipermeável da solução mais concentrada em soluto para a solução:
 - a) hipotônica
 - b) hipertônica
 - c) osmotônica
 - d) isotônica
4. As células do nosso sistema de defesa combatem invasores que penetram no nosso corpo, envolvendo-os com projeções da membrana plasmática (pseudópodes). Esse processo é chamado de:
 - a) difusão
 - b) osmose
 - c) fagocitose
 - d) pinocitose
5. Quando se diz que a membrana plasmática é lipoproteica, o que estamos querendo dizer?
6. Caracterize o glicocálix.
7. Diferencie endocitose da exocitose e da autofagia.
8. Explique de forma sucinta o mecanismo da bomba de sódio e potássio.
9. Diferencie: transporte passivo e osmose.

Referências



De ROBERTIS, E.M.F. & HIB, José. **Bases da Biologia celular e molecular**. 3ª ed., Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001.

JUNQUEIRA, Luiz Carlos & CARNEIRO, José. **Citologia Básica**. 7ª ed., Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2000.

Citoplasmas e organelas

Acreditava-se que o interior celular era preenchido por um fluido espesso onde estava contido o núcleo. Esse fluido é conhecido como **citoplasma**. Utilizando apenas o microscópio óptico, não seria possível observar que esse citoplasma também é constituído por um complexo de membranas, que conectam a membrana plasmática ao envoltório nuclear (no caso dos eucariontes), e por pequenas estruturas membranosas, conhecidas com **organelas**. As células procarióticas são simples em sua composição e apresentam uma ou mais moléculas de DNA livres no citoplasma, além de vários ribossomos. As células eucarióticas, além de possuírem organelas e núcleo, têm um **citoesqueleto**, que é responsável pela sua forma e movimentação.

As membranas apresentam duas faces: uma voltada para o citoplasma (citossólica); e a outra, voltada para o interior da célula (luminal).

3.1. Endomembranas

O sistema de endomembranas é formado por um conjunto de membranas que delimitam cisternas, tubos e sacos que se comunicam entre si (Figura 1). A comunicação pode ser feita diretamente por contato ou através de vesículas que transportam secreções. A principal função desse sistema de membrana é a produção de substâncias e a secreção destas. As vesículas transportadoras brotam de uma membrana do compartimento doador e ficam livres no citoplasma, até encontrar a membrana do compartimento receptor onde vão liberar seu conteúdo e se unir com a membrana do receptor. O sistema de endomembranas é constituído pelas seguintes organelas: retículo endoplasmático, complexo Golgiense, endossomos e lisossomos. O sistema de endomembranas bem como as organelas só foram visualizados a partir do desenvolvimento do microscópio eletrônico. Antes disso, as regiões do citoplasma observadas no microscópio óptico eram coradas como uma estrutura única, chamada de **ergastoplasma**.

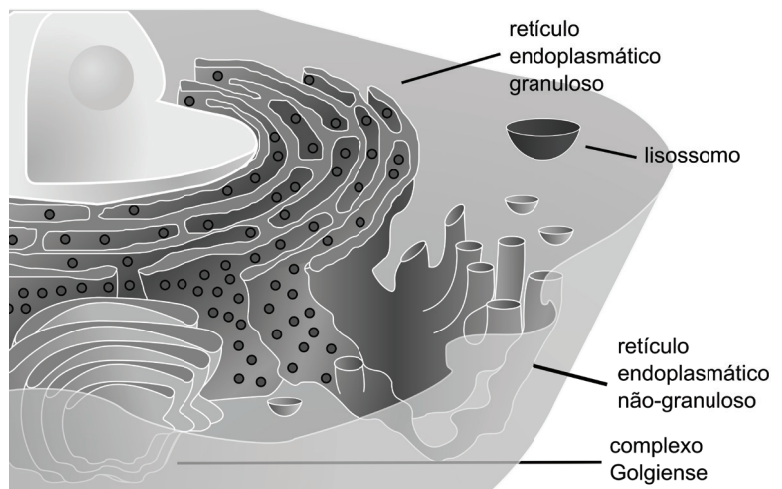
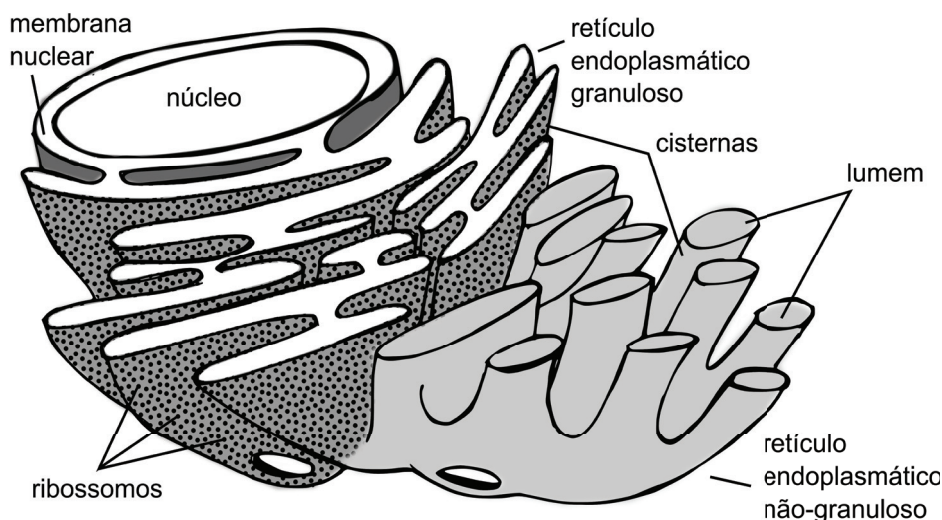


Figura 1 – Sistema de endomembranas demonstrando as organelas que o compõem.

3.1.1. Retículo endoplasmático

Retículo endoplasmático é a estrutura que preenche grande parte do citoplasma e está presente em todas as células eucariontes. É formado por uma intrincada rede de membranas achatadas que delimitam cavidades (cisternas) e tubos membranosos. Encontramos dois tipos básicos: o retículo endoplasmático granuloso (REG), associados a ribossomos, e o retículo endoplasmático liso (REL), sem ribossomos. (Figura 2).

O **retículo endoplasmático granuloso** apresenta-se associado com ribossomos e, por esse motivo, é responsável pela produção de proteínas. Algumas das proteínas, produzidas por essa estrutura, são conduzidas para o exterior da célula; outras, farão parte da membrana celular, e as enzimas são utilizadas pelos lisossomos. O **retículo endoplasmático não-granuloso** é responsável pelo metabolismo de ácidos graxos, fosfolípidios e esteróides, bem como pela desintoxicação da célula por álcoois, venenos e outras substâncias tóxicas, com a inativação e posterior eliminação do corpo.



As células musculares esqueléticas armazenam Ca^{++} no REL para ser utilizado na contração muscular.

Figura 2 – Representação do retículo endoplasmático granuloso e não-granuloso.

Os dois tipos de retículo endoplasmático diferem tanto na sua morfologia quanto na composição química. A quantidade e o tipo de retículo endoplasmático é variável entre os tipos de célula e de sua produção de proteínas. O RE é responsável pela síntese de triacilgliceróis e pela produção de membranas celulares.

3.1.2. Complexo golgiense

O complexo golgiense é caracterizado por um conjunto de membranas achatadas (cisternas) empilhadas umas sobre as outras. O produto do retículo endoplasmático é conduzido ao complexo golgiense por meio das **vesículas de**

transição. Estas brotam das membranas do retículo e se fundem a membranas do complexo golgiense onde liberam seu conteúdo. (Figura 3).

Parte das proteínas produzidas pelo retículo endoplasmático rugoso é conduzida até o complexo golgiense para ser modificada, separada e armazenada em bolsas membranosas e transportadas para o meio extracelular onde agirão.

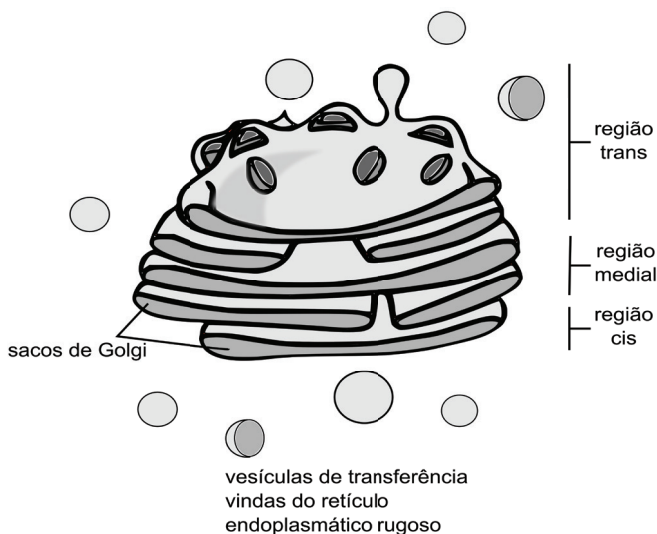


Figura 3 – Representação do complexo Golgiense

Muitas substâncias que são processadas no complexo golgiense saem da célula e vão atuar em diferentes locais do corpo. As macromoléculas processadas pelo complexo golgiense são empacotadas em vesículas de transporte, que se desprendem do complexo, e liberam seu conteúdo em locais específicos. A produção e a eliminação dessas substâncias constituem a **secreção celular**. Um exemplo é a produção de hormônios.

3.1.3. Lisossomos

Os lisossomos são bolsas membranosas que possuem enzimas digestivas no seu interior. Tais enzimas são capazes de digerir diversos tipos de substâncias orgânicas. Estas organelas têm cerca de 80 tipos de enzimas (lipases, proteases, nucleases, fosfatases, etc). Em uma célula, podemos encontrar várias destas organelas. Os lisossomos são estruturas que se formam no complexo golgiense e dele se desprendem. O lisossomo formado é, então, chamado de **lisossomo primário**. Quando o lisossomo primário se une a um pinossomo ou a um fagosossomo e inicia a sua atividade enzimática, temos um **lisossomo secundário ou um vacúolo digestório**. (Figura 4). A digestão celular é caracterizada pela atividade enzimática sobre as substâncias coletadas pela célula. Assim, as substâncias, após a digestão intracelular, poderão atravessar a parede do lisossomo e sair para o citoplasma, onde serão utilizadas no metabolismo

celular. O material não digerido (**corpos residuais**) permanecerá dentro do vacúolo até ser eliminado pelo processo chamado de **clasmocitose**.

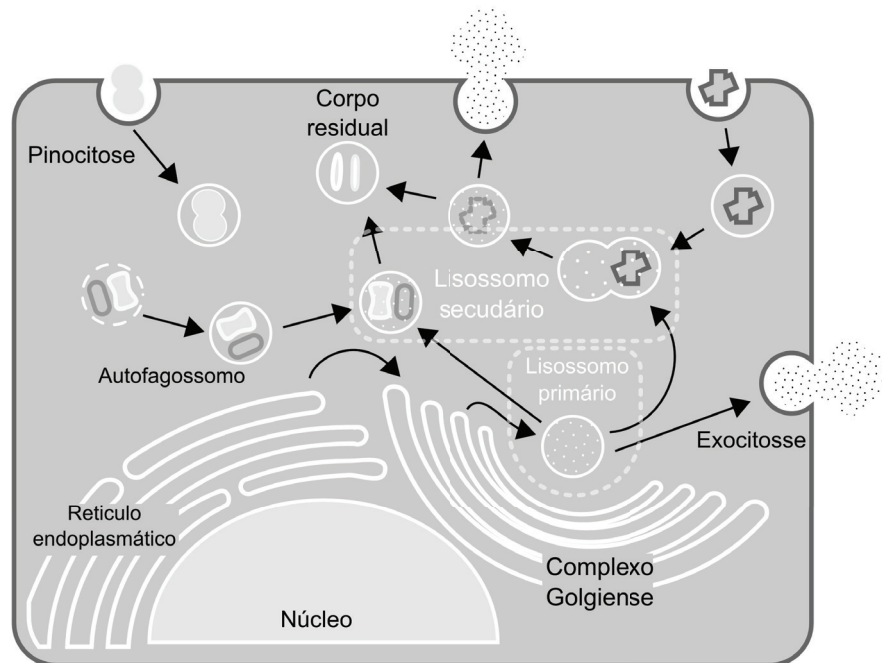


Figura 4 – Representação esquemática dos lisossomos e peroxissomos.

Os lisossomos têm dupla função:

- 1) Realizar a digestão de substâncias coletadas pelas células por meio de pinocitose ou de fagocitose, o que define a **função heterofágica**. O lisossomo primário se une ao fagossomo ou ao pinossomo e origina um lisossomo secundário ou um **vacúolo digestório**.
- 2) Realizar a digestão de partes desgastadas da célula, caracterizando a **função autofágica**. As estruturas desgastadas são envolvidas pelas membranas do retículo endoplasmático, que, formando uma bolsa, isolam-nas do citoplasma. A estrutura formada é um **autofagossomo** que, ao unir-se com um lisossomo primário, forma um lisossomo secundário, chamado de **vacúolo autofágico**.

3.1.4. Peroxissomos

Os peroxissomos, presentes em todas as células, são mais abundantes nas células hepáticas e renais. São organelas que contêm oxidases, enzimas que utilizam o oxigênio para oxidar substâncias orgânicas, e, como um subproduto, surge o peróxido de hidrogênio (água oxigenada), que é tóxico para a célula. A organela também possui a enzima catalase, que quebra o peróxido produzindo água e oxigênio. A principal função desta organela é a oxidação dos ácidos graxos para a produção de colesterol. A presença de peroxissomos é importante

Metabolismo é o conjunto de fenômenos físicos e químicos que levam à produção e à manutenção de substância viva organizada e à oferta de energia para uso do organismo.

O material digerido e as enzimas contidas no lisossomo são liberados no citoplasma. O lisossomo vazio é, então, convertido a endossomo.

para transformar substâncias tóxicas, que foram absorvidas do sangue e estão presentes nos órgãos, como o rim e o fígado, em não-tóxicas.

Os peroxissomos são classificados de acordo com o tipo de enzimas presente em seu interior. São encontradas cerca de 40 tipos de enzimas. (Figura 4)

A enzima catalase também é responsável em degradar os radicais livres (ânions superóxidos) presentes no citoplasma. Além disso, a mesma enzima utiliza o peróxido de hidrogênio para oxidar certos tóxicos, neutralizando-os. Um exemplo dos compostos tóxicos neutralizados pela catalase são os fenóis, o etanol, o ácido fórmico, etc. Antes da mitose, todos os peroxissomos da célula são duplicados por meio de fissão binária. Para que a fissão ocorra, a massa de peroxissomos é aumentada, e a sua membrana é cedida pelo RE.

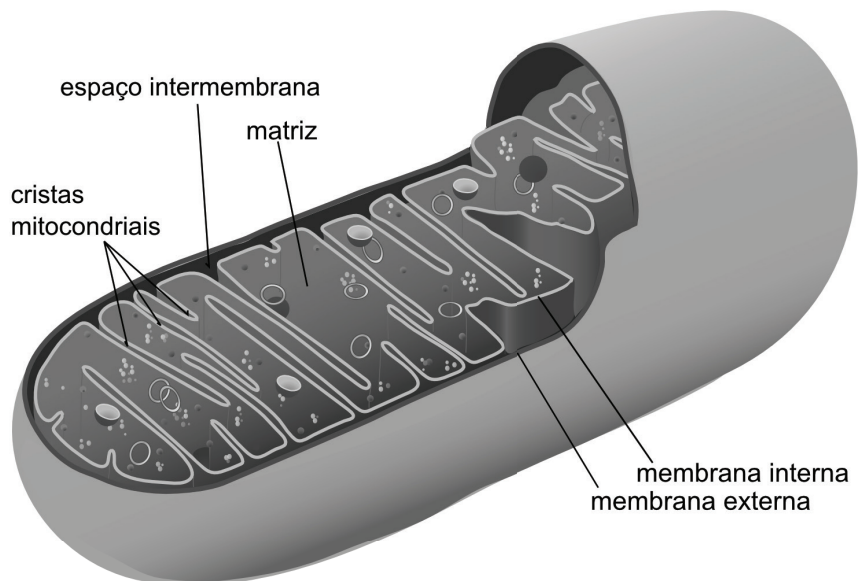
3.2. Mitocôndrias

As mitocôndrias são organelas alongadas ou arredondadas que estão presentes nas células eucarióticas e que participam da respiração aeróbia e de outras funções. São mais numerosas em células com metabolismo energético alto. As mitocôndrias podem se deslocar por toda a célula ou ocupar locais fixos, onde haja consumo intenso de energia.

As mitocôndrias apresentam duas membranas lipoproteicas que delimitam um espaço interno, a matriz mitocondrial, constituída por um líquido viscoso onde está o DNA, o RNA e pequenos ribossomos, e um **espaço intermembrana**. A membrana externa é lisa e semelhante à membrana plasmática enquanto a membrana interna é formada por várias dobras e pregas conhecidas como **cristas mitocondriais**; Elas se projetam para o interior da organela, com o objetivo de aumentar a superfície da membrana. Na membrana interna, encontramos o FAD, a cadeia transportadora de elétrons e a ATP sintetase (Figura 5). A membrana interna possui pequenas partículas em forma de raquete, os **corpúsculos elementares**, onde são gerados ATP e calor.

Na matriz mitocondrial encontramos, além de DNA e diversos tipos de RNA, várias enzimas como a piruvato desidrogenase, enzima que participa da β -oxidação dos ácidos graxos, enzimas do ciclo de Krebs, NAD e coenzima A, entre outras. O espaço intermembranas apresenta alta concentração de H^+ .

Em células que se movimentam, as mitocôndrias estão concentradas em locais próximos da estrutura locomotora. Nas células reprodutivas masculinas, as mitocôndrias estão concentradas próximas à base do flagelo.



Fonte: Wikimedia Commons

Figura 5 – Esquema de uma mitocôndria com seus componentes.

A principal função das mitocôndrias é gerar ATP. Na matriz mitocondrial, ocorre a descarboxilação oxidativa, a β -oxidação dos ácidos graxos e o ciclo de Krebs enquanto a fosforização oxidativa ocorre nas membranas internas da mitocôndria. As mitocôndrias também são responsáveis em retirar o excesso de Ca^{++} do citoplasma, além de sintetizar aminoácidos e esteróides. Algumas poucas proteínas são sintetizadas na própria mitocôndria, mas a maior parte delas provém do citoplasma. O DNA circular desta organela está ancorado na sua membrana interna.

As mitocôndrias têm a capacidade de se autoduplicar. Quando a célula entra em divisão celular, cada célula-filha recebe metade do número de mitocôndrias. Enquanto a célula-filha cresce, as mitocôndrias passam por divisão celular até restabelecer o número inicial. A produção de novas mitocôndrias é feita a partir de outras mitocôndrias preexistentes. Para que ocorra a divisão, as mitocôndrias duplicam o seu tamanho. A duplicação destas organelas pode ser tanto na interfase quanto na mitose, mas nem todas as mitocôndrias se dividem e, para compensar a ausência de divisão, algumas se dividem diversas vezes num mesmo ciclo.

A capacidade de autoduplicar-se, aliada às diversas semelhanças com as bactérias, sugere que as mitocôndrias e os cloroplastos possuem elos com seres procarióticos que, provavelmente, se instalaram no interior das células eucarióticas e começaram a manter relações de simbiose (teoria endossimbiótica).

Na reprodução sexuada, cada gameta doa uma parte das mitocôndrias para o zigoto, porém, as mitocôndrias de origem paterna se degeneram logo após a fecundação, restando apenas as mitocôndrias de origem materna. Em consequência todas as mitocôndrias do novo indivíduo são originadas das mitocôndrias maternas.

3.3. Plastos

Os plastos são organelas presentes nos **vegetais**. Podem ser de três tipos básicos: os leucoplastos (incolores); os cromoplastos (amarelos ou vermelhos) e os cloroplastos (verdes). Os leucoplastos estão presentes em raízes e caules e são responsáveis em armazenar amido (amiloplastos). Os cromoplastos são encontrados em flores, frutos maduros e folhas velhas e pouco se conhece sobre a função deles. Os cloroplastos são responsáveis pela fotossíntese. A cor verde deve-se à presença de clorofila.

De modo semelhante às mitocôndrias, os plastos podem se autoduplicar. Além disso, um tipo de plasto pode se transformar em outro tipo, assim, leucoplastos podem se transformar em cloroplastos e vice e versa.

Os proplastídios são plastos indiferenciados, pequenos, sem cor ou verde-claro. Eles são os precursores dos plastos diferenciados, como os cloroplastos, os cromoplastos e os leucoplastos.

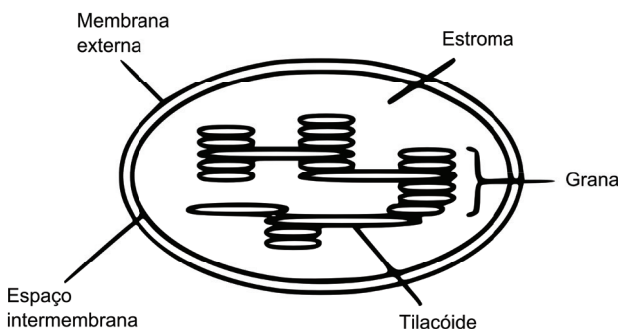
Os plastos são organelas que apresentam nucleoides, DNA circular não associado a histonas. A reprodução dos cloroplastos é feita por meio de fissão, típica das bactérias.

Os cloroplastos, juntamente com as mitocôndrias, constituem a maquinaria bioquímica capaz de produzir transformações energéticas nas células. Os cloroplastos captam energia da luz solar e a convertem em energia química por meio da **fotossíntese**. Utilizam esta energia juntamente com o CO₂ para formar moléculas orgânicas.

Os cloroplastos possuem pigmentos (clorofilas e carotenóides), responsáveis em capturar energia da luz solar.

3.4. Cloroplastos

Os cloroplastos são delimitados por uma dupla camada lipoprotéica e um complexo de membranas achatadas, empilhadas e interligadas entre si, os **tilacoides**.



O espaço entre os tilacoides e as membranas é preenchido por um fluido, chamado **estroma**, onde encontramos DNA, RNA e ribossomos semelhantes aos das bactérias. É nessa região que ocorre a fixação do

Figura 6 – Esquema de um cloroplasto com seus componentes.

CO₂ (Figura 6). Os tilacoides são discoides e estão empilhados, formando uma estrutura semelhante a um pilha de moedas, os **grana** (Figura 7). Ligando um grana a outro, temos os tilacoides do estroma. Algumas proteínas dos cloroplastos são formadas pelo DNA circular e sintetizadas dentro do próprio cloroplasto. Outras proteínas são codificadas pelo DNA nuclear, sintetizadas no citoplasma e, posteriormente, transportadas para o interior do cloroplasto.

As reações fotoquímicas (fotossistemas I e II) ocorrem nas membranas do cloroplasto, enquanto as reações de fixação de carbono ocorrem no estroma.

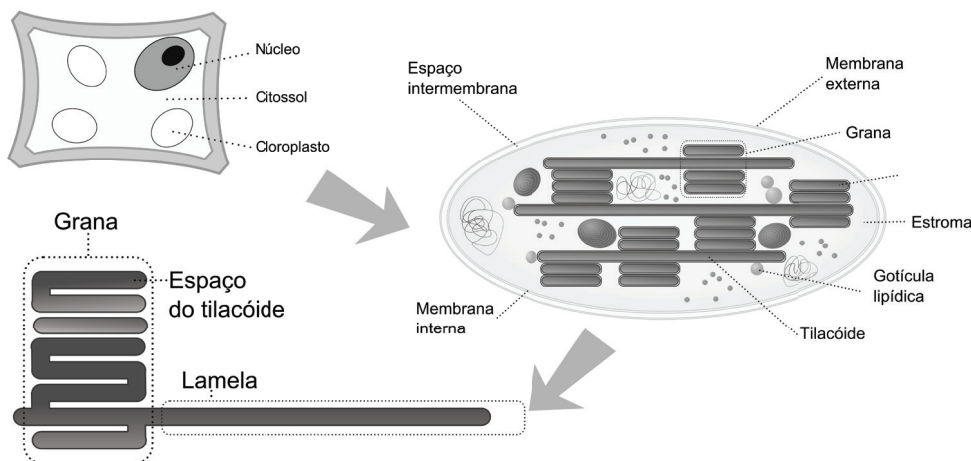


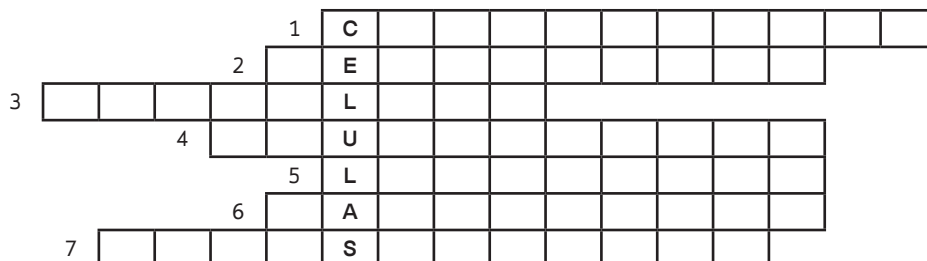
Figura 7 – Esquema mostrando um tilacoide e o espaço intratilacoide e estroma.

Síntese do Capítulo



Antes do desenvolvimento do microscópio eletrônico, o citoplasma era considerado um fluido espesso com substâncias que constituíam o ergastoplasma. Hoje, sabe-se que essa região é formada por um conjunto de membranas que compõem o retículo endoplasmático, o complexo golgiense, etc. Além dessas estruturas membranosas, encontramos organelas oriundas dessas membranas, como os lisossomos, os peroxissomos. Algumas organelas são autônomas, pois possuem DNA característico, são as mitocôndrias e os cloroplastos.

1. Qual é a função do retículo endoplasmático?
2. Qual a diferença entre o retículo endoplasmático granuloso e o liso?
3. Qual a principal função das mitocôndrias e dos cloroplastos?
4. Complete a cruzadinha.



- 1) Organela que possui DNA circular.
 - 2) Principal função desempenhada pelas mitocôndrias.
 - 3) Organela membranosa que está associada a ribossomos.
 - 4) Plastos que armazenam amido, normalmente são incolores.
 - 5) Organela rica em enzimas. Sua principal função é a digestão celular.
 - 6) Processo de englobamento de substâncias sólidas.
 - 7) Processo energético que, com a participação da luz solar, produz compostos orgânicos ricos em energia
5. Esquematize o caminho percorrido por uma enzima que irá atuar fora da célula desde o local de sua produção até a sua atuação.
 6. As estruturas celulares diretamente responsáveis pelo processo de autofagia são os:
 - a) peroxissomos
 - b) ribossomos
 - c) cloroplastos
 - d) lisossomos
 7. Qual é a relação entre o retículo endoplasmático e o complexo golgiense na secreção de uma enzima por uma célula animal.

Referências



De ROBERTIS, E.M.F. & HIB, José. **Bases da Biologia celular e molecular**. 3ª ed., Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001.

JUNQUEIRA, Luiz Carlos & CARNEIRO, José. **Citologia Básica**. 7ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2000.

RAVEN, Peter; EVERT, Ray E. EICHHORN, Susan E. **Biologia Vegetal**. 6ª ed., Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001.

Citoesqueleto

O citoesqueleto constitui uma complexa rede de estruturas intracelulares, constituída por filamentos proteicos e tubos finíssimos. O citoesqueleto é constituído por três tipos de filamentos: os filamentos intermediários, os microtúbulos e os filamentos de actina. (Figura 1) Encontramos também proteínas acessórias (reguladoras, de associação e motoras, como a miosina e a cinesina).

As proteínas reguladoras controlam os processos de aumento e redução dos filamentos. As de associação ligam os filamentos entre si e aos outros componentes da célula, e as proteínas motoras transportam as macromoléculas e as organelas pelo citoplasma. Também são responsáveis pelo deslizamento dos filamentos entre si. Normalmente, os deslizamentos ocorrem em sentido contrário. São esses deslizamentos que definem as mudanças de forma da célula e garantem a sua motilidade. A presença de citoesqueleto caracteriza as células eucarióticas.

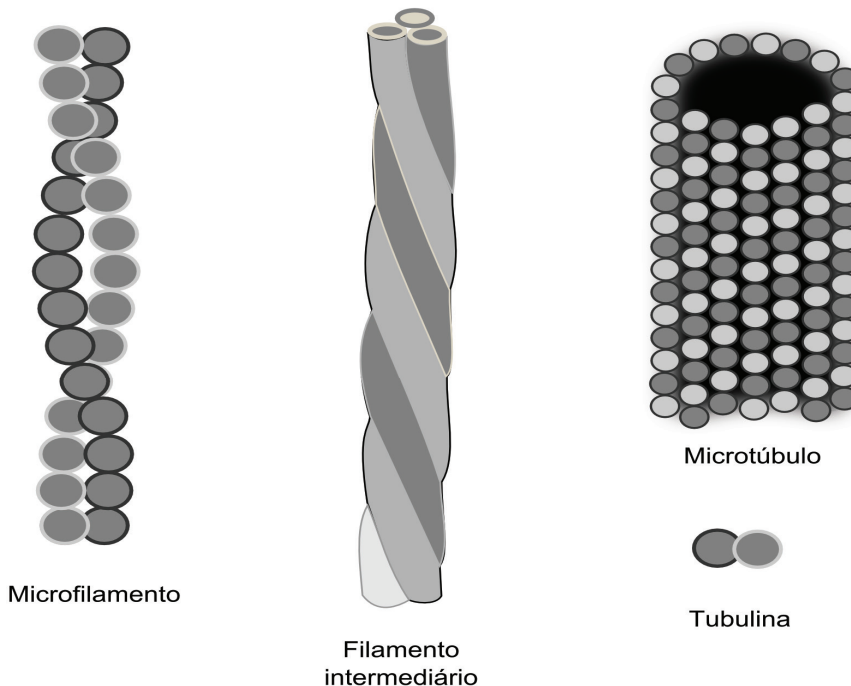


Figura 1 – Filamentos encontrados no citoesqueleto: intermediários, microtúbulos e microfilamentos (ou filamentos de actina).

O citoesqueleto desempenha várias funções:

- Manutenção da forma das células;
- Organização da distribuição das organelas na célula. (Figura 2)
- Auxílio nos deslocamentos da célula, como o movimento ameboide, a contração muscular, o movimento dos cílios e flagelos;
- Adesão da célula a células vizinhas e à superfície extracelular;
- Deslocamento de materiais no interior da célula, movimentação dos cromossomos durante as divisões celulares.

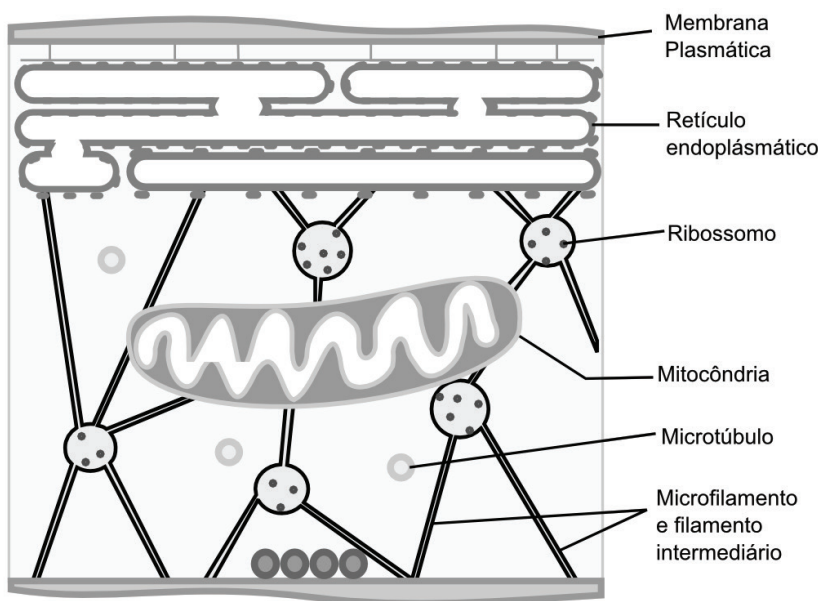


Figura 2 – O citoesqueleto é o responsável pela distribuição das organelas no citoplasma.

4.1. Proteínas acessórias

4.1.1. Proteínas motoras

As proteínas motoras são responsáveis pelo transporte das organelas de um lado para o outro no citoplasma. Além disso, colaboram para que os filamentos contínuos e paralelos deslizem entre si, em direções opostas. O deslocamento dessas fibras é fundamental para a definição da forma celular e resulta na motilidade e contração da célula. Constituem três grupos: as cinesinas, as dineínas e as miosinas. As duas primeiras têm como função transportar estruturas de um lugar da célula para outro. Para isso, elas se ligam quimicamente aos microtúbulos. Com o deslocamento, há consumo de ATP. Essas proteínas não formam filamentos. Elas diferem entre si apenas na direção em que se locomovem.

A miosina é uma proteína motora que forma filamentos, mas depende dos filamentos de actina para funcionar. A miosina utiliza a actina como um

trem que utiliza os trilhos para se deslocar. A interação entre miosina e actina está diretamente associada com a utilização de ATP. Existem 13 diferentes tipos de miosina, sendo I e II as mais comuns.

4.1.2 Proteínas reguladoras e de associação

As proteínas reguladoras controlam os processos de alongamento e redução dos filamentos e as proteínas de associação são responsáveis em ligar os filamentos entre si ou aos componentes da célula.

4.2. Microtúbulos

Os microtúbulos são responsáveis pelo movimento da célula (formação de pseudópodes, cílios e flagelos). Os microtúbulos são estruturas cilíndricas ocas formadas pela proteína tubulina. Esta proteína é constituída por duas partes uma α (alfa) e outra β (beta) (Figura 3) Quando a parte *alfa* da tubulina se liga à parte *beta* de outra, forma-se um protofilamento. A união de treze protofilamentos constituem um microtúbulo.

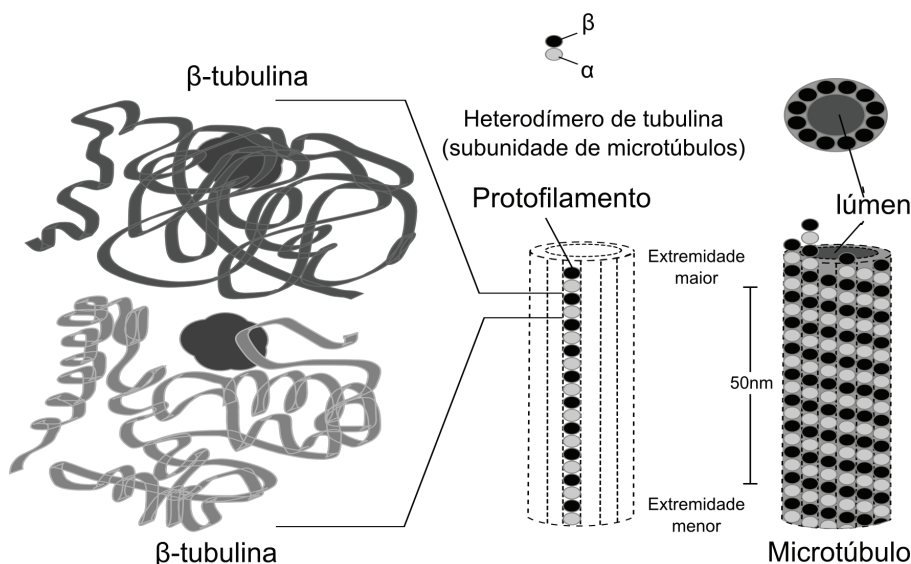


Figura 3 – Organização da tubulina para a formação dos microtúbulos.

Os microtúbulos são classificados de acordo com a sua posição na célula: os citoplasmáticos, quando a célula está na fase de interfase; os **mitóticos**, quando são fibras do fuso mitótico; os **ciliares** encontrados no eixo dos cílios; os **centriolares**, relacionados aos centríolos.

Os microtúbulos mitóticos e **citoplasmáticos** modificam o seu tamanho constantemente de acordo como o ciclo celular; já os ciliares e centriolares são muito estáveis.

Os microtúbulos surgem numa região próxima ao núcleo, o centrosomo, (conhecido como centro organizador dos microtúbulos é composto por um par de centríolos) (figura 4) e desta área se projetam até a membrana

Os centríolos são constituídos por nove trios de microtúbulos unidos por proteínas adesivas. Estas estruturas têm capacidade de duplicar-se. Isto ocorre quando a célula está se preparando para realizar a sua divisão. Para se duplicar, os centríolos utilizam moléculas de tubulina livres no citoplasma. Assim, quando a divisão celular se inicia, o centrosomo divide-se em dois, cada um com um par de centríolos. Os centríolos não são encontrados nas células fúngicas nem nas vegetais.

plasmática onde se fixam. Dessa forma, os microtúbulos são semelhantes a raios que partem do centro em direção ao córtex celular. (área próxima a membrana plasmática)

Os microtúbulos são responsáveis pelo transporte de macromoléculas e organelas que são conduzidas por todo o citoplasma. Esse transporte é realizado com a participação de duas proteínas motoras, a **quinesina** e a **dineína**. Uma proteína desliza para uma extremidade do microtúbulo e a outra segue em direção oposta. A posição do retículo endoplasmático e do complexo golgiense é determinada pelos microtúbulos que são auxiliados pelas proteínas motoras. Elas garantem a estabilidade espacial destas organelas. O crescimento dos axônios das células nervosas está diretamente relacionado ao crescimento dos microtúbulos.

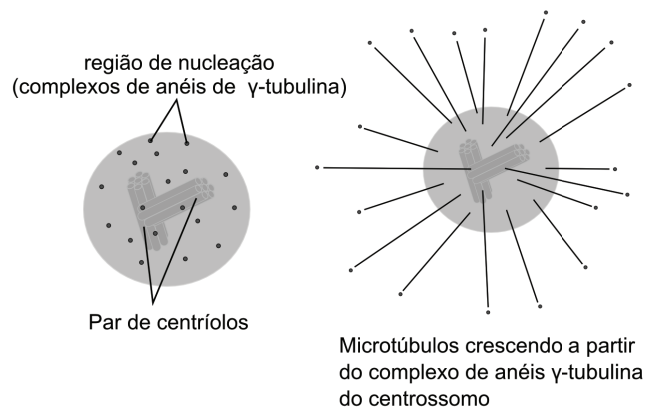


Figura 4 – Formação de microtúbulos nos centrossomos.

As células, quando estão prestes a realizar a divisão celular, possuem dois centrossomas em vez de um, sendo os microtúbulos citoplasmáticos substituídos pelos mitóticos, chamados de **fibras do fuso mitótico**.

Os microtúbulos também estão relacionados com os movimentos dos cílios e flagelos. Os cílios são menores que os flagelos e mais numerosos, enquanto os flagelos são mais longos e em número reduzido (1 ou 2). Os microtúbulos estão concentrados na base dos cílios e flagelos formando uma estrutura chamada de **axonema**. Nos cílios, os microtúbulos apresentam uma configuração espacial definida como $9 + 2$, na qual nove pares de microtúbulos formam um círculo e, no centro desse círculo, temos dois microtúbulos. As duplas estão unidas entre si pela ação das proteínas de associação porque as mantêm unidas enquanto os cílios se movimentam.

4.3. Filamentos de actina

Estes filamentos são muito finos e, por isso, são conhecidos como microfíamentos, possuindo apenas dois profilamentos de actina, que se entrelaçam formando um filamento. São mais flexíveis que os microtúbulos e possuem um

diâmetro menor. Em geral, os filamentos de actina estão associados formando feixes ou pacotes.

A actina é a proteína mais abundante na célula eucariótica; é formada por subunidades globulares que se polimerizam ou despolimerizam e formam um filamento com capacidade de crescer e encolher rapidamente. Os filamentos de actina são organizados em dois grupos de acordo com a sua disposição na célula:

a) Os **filamentos transcelulares** cruzam o citoplasma em várias direções formando feixes e redes interligados entre si e são responsáveis em dar sustentação e definir a forma da célula. (Figura 5A)

b) Os **filamentos corticais** estão associados à membrana plasmática (córtex) e estão ligados a ela por meio de proteínas de associação. (Figura 5B).

Ambos os tipos de filamentos de actina (corticais e transcelulares) contribuem para a manutenção da forma celular. As concentrações e funções de ambos os filamentos dependem do tipo de célula. Nas células que compõem o tecido epitelial, há predomínio dos filamentos corticais enquanto, no tecido conjuntivo, há domínio dos filamentos transcelulares. Nas células do tecido conjuntivo, os filamentos transcelulares de actina são chamados de **fibras de estresse**.

Os filamentos de actina contribuem para a motilidade celular, participam da citocinese e da contração das células musculares. Estes filamentos também são encontrados nas microvilosidades.

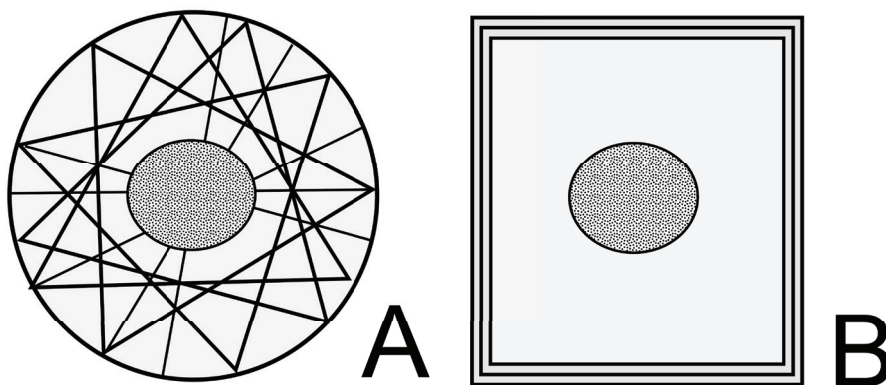


Figura 5 – Disposição dos filamentos de actina. A: filamentos transcelulares; B: filamentos corticais.

4.3.1. Mobilidade celular

Para que a célula se movimente, é necessário o aparecimento de uma área polarizada onde os filamentos de actina se concentrem na parte anterior (+) e se desorganizem na região posterior (-). A locomoção resulta da combinação de movimentos gerados por diferentes partes da célula. A actina, concentrada no córtex da célula, proporciona forças para que a célula possa se movimentar. O movimento das células é feito com a projeção da membrana, a célula se adere firmemente ao substrato e, posteriormente, há o deslocamento.

Antes de iniciar o movimento, os filamentos corticais sofrem modificações que resultam na mudança da forma celular. A extremidade da célula, que iniciará o movimento, formará diversas lâminas horizontais chamadas de **lamelipódios** em cujas bordas crescem vários prolongamentos chamados de **filopódios** (Figura 6). Os lamelipódios e filopódios alternam períodos de crescimento e de redução que constituem a base da motilidade celular. Os lamelipódios também se movimentam já que, na sua base, está presente a **miosina II**.

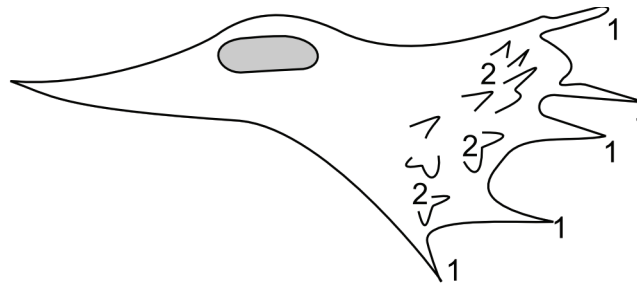


Figura 6 – Esquema de uma célula em movimento. (1) Filopódios (prolongaciones digitiformes); (2) Lamelipódios (lâminas citoplasmáticas).

O movimento da célula ocorre em função do alongamento dos filopódios; as pontas dos filopódios possuem contatos que ancoram sobre fibras de colágenos encontradas na matriz extracelular. Os filopódios encurtam-se conduzindo o corpo da célula até o ponto de ancoragem.

Outro filopódio se alonga e se prende a fibras localizadas mais à frente. As células não se deslocam ao acaso, elas seguem uma trajetória predeterminada e só param quando atingem seu objetivo. Acredita-se que o deslocamento das células pelo meio extracelular é orientado por meio de uma proteína, a **fibronectina**. A orientação das células feitas por meio da concentração de substâncias não-solúveis, presentes no meio extracelular, é conhecida como **haptotaxia**. O deslocamento celular pode ser direcionado por substâncias solúveis, lançadas por células no meio extracelular. A presença dessas substâncias pode provocar uma atração ou repulsão. Se houver atração, o processo é conhecido como **quimiotaxia**, a célula migra para um local com grande concentração da substância. Se houver repulsão, teremos um processo conhecido como **quimiorrepulsão** e depende de uma proteína, a **semaforina**.

A ancoragem dos filopódios nos elementos da matriz extracelular é transitória, ocorre apenas no tempo em que a célula é deslocada

4.3.2. Citocinese

Durante a citocinese, os filamentos de actina e de miosina II concentram-se na região equatorial, sob a membrana plasmática, e, juntos, formam um anel contrátil que auxilia na divisão do citoplasma. Os filamentos de miosina deslizam sobre os filamentos de actina em direções opostas, resultando na divisão celular. O deslizamento das fibras resulta na formação de um sulco na superfície celular que aprofundando e formando um estrangulamento que finaliza com a partição da célula (Figura 7).

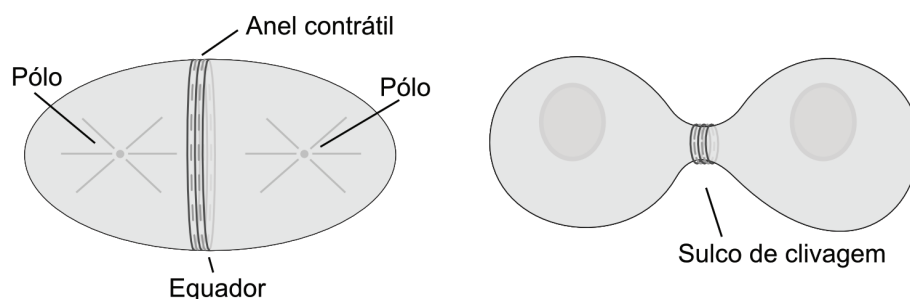


Figura 7 – Formação do anel contrátil que auxilia a divisão do citoplasma.

4.3.3. Microvilosidades

São expansões citoplasmáticas revestidas pela membrana plasmática que estão presentes em vários tipos celulares, principalmente representadas nas células envolvidas com a absorção de água e soluto. Em cada eixo citoplasmático, encontramos de 20-30 filamentos de actina paralelos e, estes filamentos, estão ligados entre si por meio de proteínas ligadoras, a **valina** e a **fimbrina**. Além disso, os filamentos de actina mais periféricos estão presos à membrana plasmática por meio da miosina I. Os filamentos de actina corticais estão ligados entre si e com a membrana plasmática por meio de uma proteína a espectrina. Na base da microvilosidade, encontramos um conjunto de filamentos intermediários que, juntamente com os filamentos de actina, formam a **membrana terminal** (Figura 8).

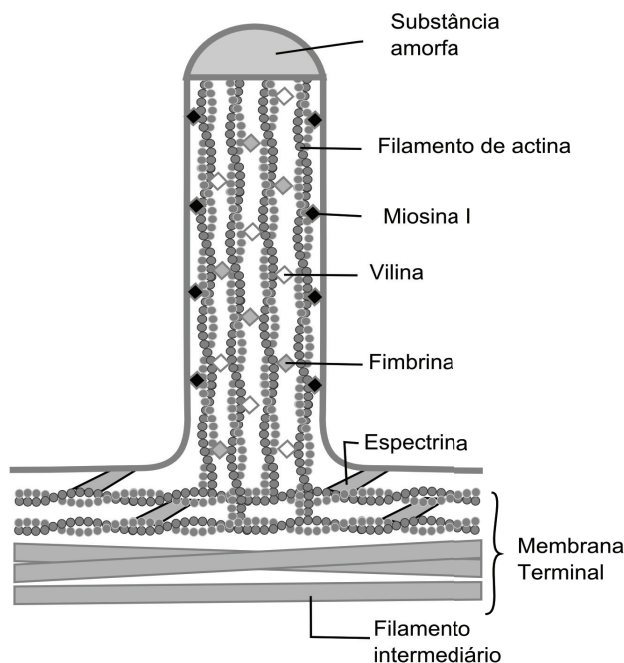


Figura 8 – Esquema de uma microvilosidade com os componentes do citoesqueleto.

4.3.4. Contração das células musculares

A contração muscular ocorre em função do deslizamento dos filamentos de actina sobre os filamentos de miosina II encurtando a distância entre elas (Figura 9).

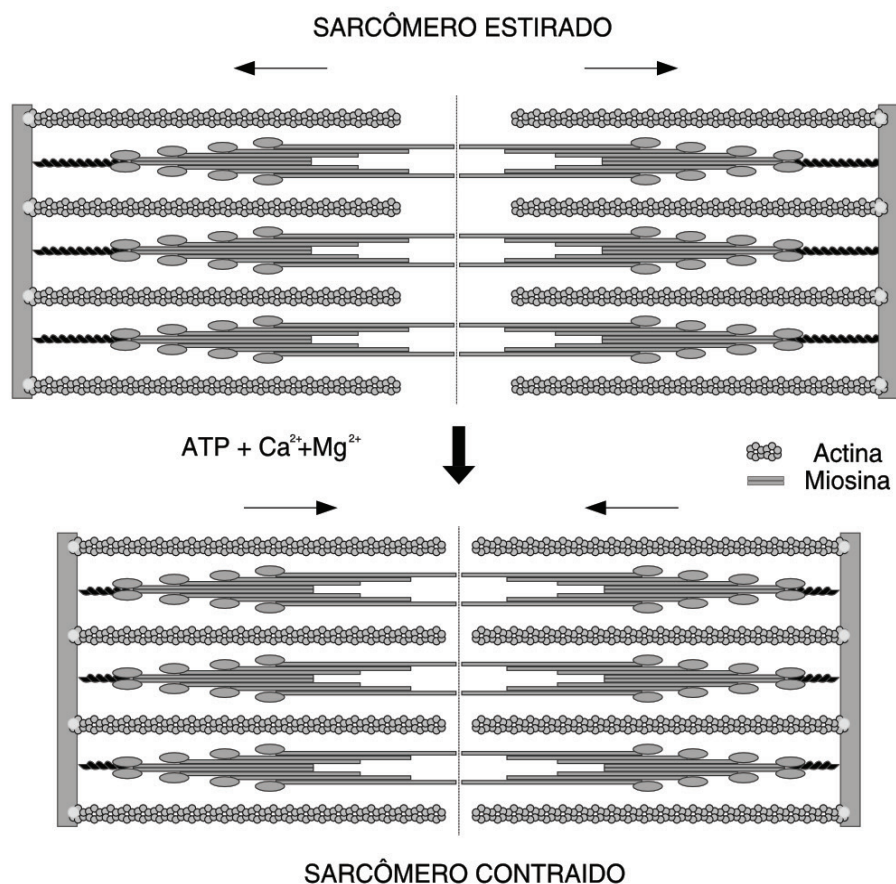


Figura 9 – Disposição das fibras de actina nas fibras musculares.

4.4. Filamentos intermediários

Os filamentos intermediários apresentam diâmetro menor que os microtúbulos e maior que os filamentos de actina. Estes filamentos também não alteram o seu tamanho, enquanto os microtúbulos e os filamentos de actina podem aumentar ou diminuir (polarizar e despolarizar) o seu tamanho, se for necessário.

Os filamentos intermediários são polímeros formados por monômeros lineares que formam redes conectadas à membrana plasmática e ao envoltório nuclear. Esta mesma rede envolve toda a membrana nuclear formando uma malha contínua, encontrada na face interna do envoltório. Os filamentos intermediários são responsáveis pelo posicionamento das organelas no citoplasma e colaboram com a manutenção da forma celular. Os filamentos intermediários são abundantes em células que sofrem grandes tensões mecânicas, proporcionando resistência física a células e tecidos.

Síntese do Capítulo



O movimento e a forma das células estão diretamente relacionados à presença de um citoesqueleto. O citoesqueleto está presente em todas as células eucarióticas e é representado por filamentos de actina, por microtúbulos e proteínas motoras, entre elas a miosina. Os movimentos celulares resultam do deslizamento dos filamentos de actina sobre os filamentos de miosina e esse processo exige gasto energético. O batimento dos cílios e flagelos é coordenado pelos microtúbulos.

Atividades de avaliação



1. Complete as cruzadas.

					1	M											
2						O											
3						V											
					4	I											
						5	M										
					6	E											
7						N											
					8	T											
					9	O											

- 1) Estruturas cilíndricas ocas.
- 2) Processo que ocorre quando células são atraídas por substâncias solúveis no meio extracelular.
- 3) Expansões citoplasmáticas envolvidas pela membrana plasmática que aumentam a superfície da célula. São encontradas em locais com intensa absorção de água e solutos.
- 4) Estruturas responsáveis pelo deslocamento da célula. São numerosas e curtas. Realizam movimentos sincronizados.
- 5) Proteína motora que forma filamentos e está sempre associada à actina.
- 6) Estruturas responsáveis pelo deslocamento da célula. São poucos e longos. Realizam movimentos aleatórios.
- 7) Proteína presente nos microtúbulos.

- 8) Responsáveis pela orientação das fibras do fuso durante a divisão celular.
- 9) Grupo de filamentos de actina que estão associados à membrana plasmática.
2. Qual é a contribuição dos microtúbulos para a divisão celular?
3. Diferencie os filamentos de actina corticais dos filamentos transcelulares.
4. As células procaríóticas não possuem citoesqueleto. Por qual motivo estas células não possuem tais estruturas.
5. Diferencie os principais tipos de filamentos que constituem o citoesqueleto.
6. A relação actina e miosina é muito importante para a motilidade da célula. Faça uma projeção sobre a importância dessa relação além do nível celular ao nível de tecidos e órgãos.
7. Faça um esquema que represente o processo que resulta na mobilidade das células.
8. Caracterize os tipos de microtúbulos.

Leituras, filmes e sites



Livros

JUNQUEIRA, L.C.U. **O segredo da troca de cores nos animais**. In: Ciência hoje, 118:6, 1996.

Referências



De ROBERTIS, E.M.F. & HIB, José. **Bases da Biologia celular e molecular**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001.

JUNQUEIRA, Luiz Carlos & CARNEIRO, José. **Citologia Básica**. 7ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2000.

Parte

3

Bioenergética

Fotossíntese

A energia solar é a principal forma de energia que entra nos sistemas biológicos e desencadeia uma série de reações químicas responsáveis pela síntese de substâncias orgânicas. Sabemos que as substâncias orgânicas sintetizadas são desde alimentos até materiais combustíveis, como petróleo, carvão mineral, madeira, entre outros. O processo que capta energia solar para produzir matéria orgânica é conhecido como **Fotossíntese**. Para isso, é utilizado o carbono retirado do CO₂ disponível no ar ou dissolvido na água. A quantidade de carbono fixado é na ordem de 2x10¹¹ toneladas de matéria orgânica por ano. Cerca de 60% é fixado nos ecossistemas terrestres e o restante nos ecossistemas aquáticos. A quantidade de carbono fixado é medida a partir da matéria orgânica seca (**peso seco**). Como visto no Capítulo I, os organismos, que realizam a fotossíntese e, com isso, produzem seu próprio alimento, são chamados de seres **autótrofos**.

A luz do sol entra nos ecossistemas como energia luminosa e, obedecendo a primeira lei da termodinâmica, é transformada em outras formas de energia, térmica ou em energia potencial, como os alimentos. De acordo com a segunda lei da termodinâmica, a energia tende a se dirigir de uma condição de alta energia para uma condição de baixa energia e, no caminho, vai dissipando energia térmica, até alcançar um equilíbrio. A organização dos sistemas, bem como a construção de estruturas e crescimento, ocorrem dependendo da entrada de energia no meio ambiente. A relação entre fotossíntese e as leis da termodinâmica é que, através desse processo, compostos de baixo nível energético são convertidos em compostos altamente energéticos, como os carboidratos. Assim, o carbono disponível na natureza será fixado e anexado a moléculas de carboidratos, tendo também o oxigênio como produto final. A equação geral da fotossíntese é:

gás carbônico + água + energia luminosa produzindo glicose + oxigênio

O catalisador dessa reação é a clorofila, ou seja, ela não se desgasta e nem é consumida, apenas ativa a reação.

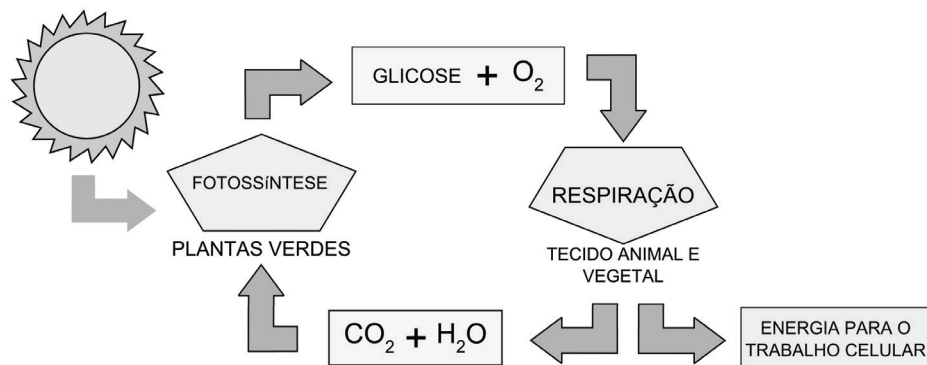


Figura 1 – Representação esquemática da equação geral.

A fotossíntese, portanto, é um mecanismo que **produz substâncias orgânicas simples** (p. ex., glicose) a partir de moléculas inorgânicas, como dióxido de carbono e água (Figura 1). Como se trata de uma reação de oxidoredução, o dióxido de carbono será reduzido a carbono orgânico (recebendo elétrons), e a molécula de água será oxidada (doando elétrons). O processo físico-químico da fotossíntese ocorre nos cloroplastos (organelas celulares, geralmente discoidais). Sua cor é verde devido à presença de clorofila. No seu interior, existe um conjunto bem organizado de membranas, formando pilhas unidas entre si, que são chamadas de grana. Cada elemento da pilha, que tem o formato de uma moeda, é chamado de tilacoide (Figura 2). Todo esse conjunto de membranas encontra-se mergulhado em um fluido gelatinoso que preenche o cloroplasto, chamado de estroma, onde há enzimas, DNA, pequenos ribossomos e amido. As moléculas de clorofila se localizam nos tilacoides, reunidas em grupos, formando estruturas chamadas de “complexo antena”.

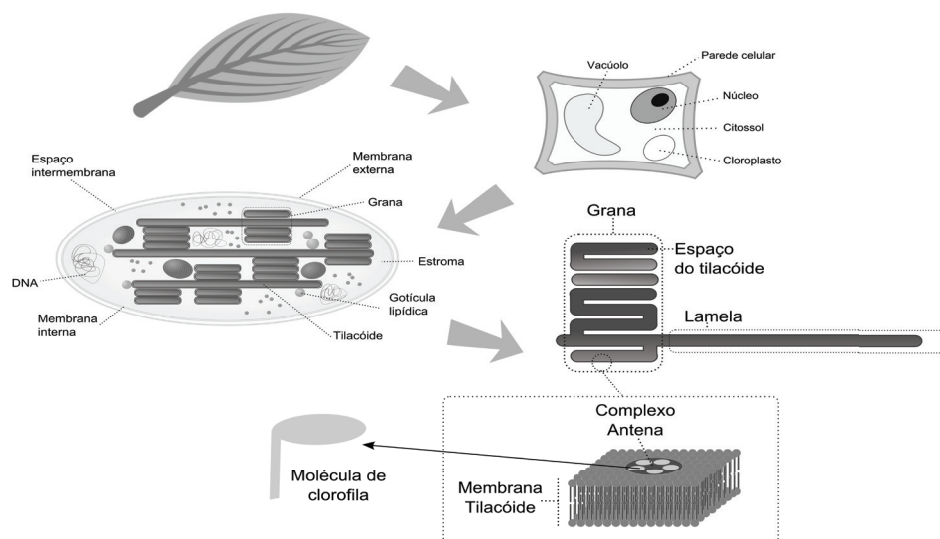


Figura 2 – Estruturas que participam da fotossíntese.

1.1. A luz

A luz solar é a fonte primária de toda a energia do nosso planeta. Por meio da fotossíntese, as plantas, algas e alguns tipos de bactérias convertem a energia física da luz solar em energia química, e esse processo é essencial para a manutenção de todas as formas de vida aqui existentes.

Precisamos saber algumas características da luz para podermos entender como os seres vivos captam a energia solar. A luz, ao se propagar no espaço, apresenta um comportamento ondulatório e, ao ter contato com um corpo, apresenta um comportamento de partícula.

Os comprimentos de onda – representados por λ (lambda) – correspondem à distância entre dois picos sucessivos de uma onda. A frequência (ν , ni) é o número de vezes que o mesmo ciclo passa por um ponto no espaço por segundo. (Figura 3)

A luz apresenta vários tipos de radiação. Cada tipo de radiação tem a frequência e o comprimento de onda específicos. A frequência é inversamente proporcional ao comprimento de onda. Cada comprimento de onda está associado a uma quantidade de energia. Essa energia, chamada de *Quantum*, é apresentada em forma de pequenos pacotes energéticos chamados de *fótons*.

De acordo com a equação, $E_q = hc / \lambda$, proposta por Max Planck (1900), em que E_q é a energia quântica, e h é uma constante de proporcionalidade (constante de Planck), quanto menor o comprimento de onda, maior a energia associada, sendo a energia quântica diretamente proporcional a sua frequência. Com essa equação, podemos medir a energia associada a qualquer comprimento de onda. Os comprimentos de onda de interesse para os processos biológicos compõem três faixas distintas: a ultravioleta (entre 100-400nm), a visível (acima dos 400 vai até 740nm) e a infravermelho (acima de 749nm).

Os comprimentos de onda muito curtos são maléficos aos seres vivos,

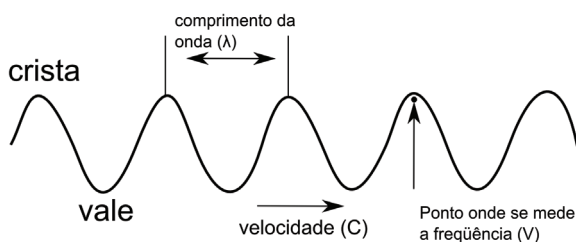


Figura 3 – O comprimento de onda (λ) equivale à distância entre dois picos sucessivos de uma onda, e a sua frequência equivale ao número de vezes que o ciclo passa no espaço.

porque a sua energia pode modificar a estrutura e a função das moléculas orgânicas das células e causar morte, lesionar ou promover mutações. As radiações com comprimentos de onda longos têm um baixo nível energético e, em contato com os organismos, alteram apenas a energia cinética das

suas moléculas. Os fótons na faixa da luz visível possuem um nível energético o suficiente para excitar elétrons, desencadeando reações químicas. Os fótons também são absorvidos por fotorreceptores ou pigmentos e, a partir daí, a energia dos fótons é transformada em energia bioquímica. Os raios infravermelhos são responsáveis pelo aquecimento da superfície da Terra. As radiações na faixa da luz visível são responsáveis pela maior parte dos fenômenos fotobiológicos dos seres vivos. (Figura 4)

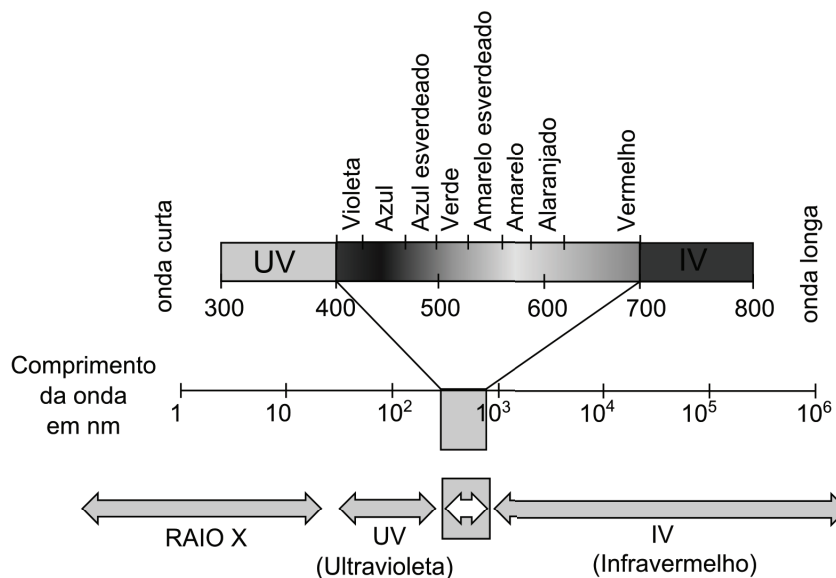


Figura 4 – Representação esquemática do espectro de luz.

1.2. Pigmentos

Para que a fotossíntese ocorra, os pigmentos fotossintéticos (clorofilas, carotenoides e ficobilinas) devem absorver a energia de um fóton de dado comprimento de onda e, então, utilizar essa energia para iniciar uma cadeia de eventos da fase fotoquímica da fotossíntese. A luz utilizada na fotossíntese é absorvida por uma série de pigmentos. Cada pigmento absorve determinados comprimentos de onda, refletindo os que não absorve. Os tipos de pigmentos utilizados na fotossíntese variam nos diferentes grupos de organismo fotossintetizantes. Nos vegetais superiores, os pigmentos mais importantes são a clorofila *a* e a clorofila *b* (diferenciam-se de acordo com a estrutura molecular). No caso da clorofila, o feixe de cor verde não é absorvido (é refletido), e as faixas absorvidas com maior eficiência são o azul e o vermelho. Por esse motivo, as folhas das plantas são verdes. Os pigmentos acessórios não absorvem as cores vermelhas, amarelas ou alaranjadas.

Os pigmentos fotossintetizantes são moléculas responsáveis pela captação de energia luminosa e transformação em energia química. São eles:

1. **Clorofila A** (fotoquímico): É essencial para a produção de oxigênio e desempenha um papel fundamental no processo de bioconversão de energia. É o pigmento mais abundante entre os eucariontes fotossintéticos. As bactérias fotossintetizantes são desprovidas de clorofila *a* e possuem, em seu lugar, a bacterioclorofila como pigmento fotossintético.
2. **Clorofila B e C** (acessório): Não está envolvida na transdução de energia da fotossíntese. Serve para ampliar a faixa de luz que pode ser usada na fotossíntese. Quando uma molécula de clorofila *b* absorve a luz, a energia é transferida para a molécula de clorofila *a*, que então a transforma em energia química durante a fotossíntese. Nas folhas da maioria das plantas verdes, a clorofila *a* geralmente representa $\frac{3}{4}$ do conteúdo total de clorofilas, e a clorofila *b* constitui o restante. A clorofila *c* substitui a clorofila *b* em algas pardas e diatomáceas.
3. **Carotenoides** (acessório): Embora possa auxiliar na coleta de luz de diferentes comprimentos de onda, sua principal função é de antioxidante, prevenindo danos na molécula de clorofila. Sem os carotenóides não haveria fotossíntese na presença de oxigênio. São pigmentos solúveis em lipídios, de cor vermelha, laranja ou amarela. Os carotenoides (carotenos e xantofilas) estão imersos na membrana dos tilacoides e são solúveis em lipídios.
4. **Ficobilinas** (acessório): Auxiliam na coleta de luz. São solúveis em água (ficocianina e ficoeritrina). A energia absorvida pelos carotenoides e ficobilinas precisa ser transferida para a clorofila *a* e, assim como as clorofilas *b* e *c*, estes pigmentos acessórios não podem substituir a clorofila *a* na fotossíntese.

As clorofilas conferem a cor verde às folhas e alguns caules fotossintetizantes enquanto os carotenoides são responsáveis pela cor amarela (caroteno) e pela cor laranja (xantofila). Temos também as ficobilinas, com cores azuis, devido à ficocianina ou com cores vermelhas, por conta da ficoeritrina.

Os pigmentos acessórios são importantes porque captam energia luminosa de diferentes comprimentos de onda, aumentando assim, a quantidade de luz disponível para a fotossíntese (figura 5). Por ser o pigmento mais abundante nos organismos fotossintetizantes, a clorofila mascara as demais cores, isto é observado especialmente nas folhas. No caso de flores e de alguns frutos maduros, há um predomínio de carotenoides.

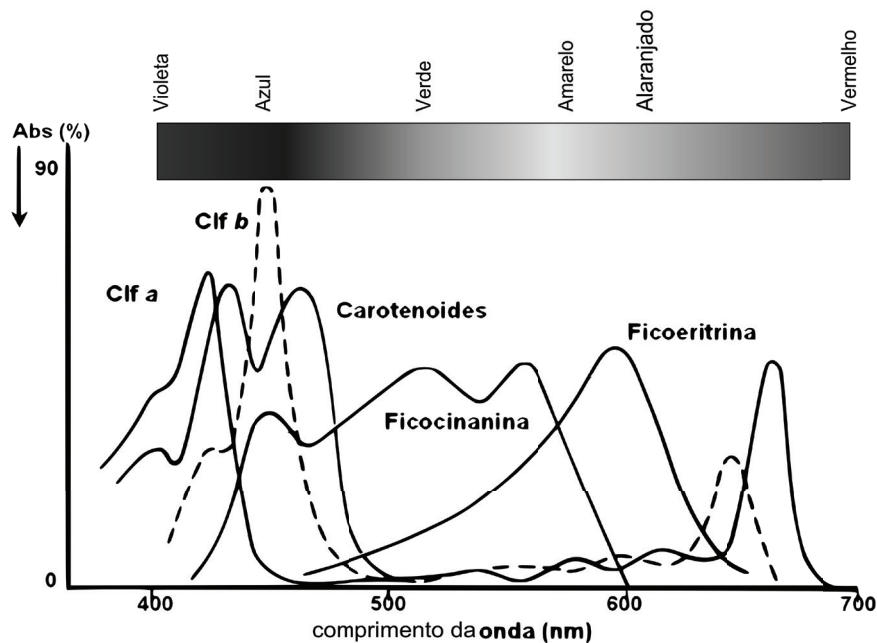


Figura 5 – Espectro de absorção dos pigmentos fotossintéticos.

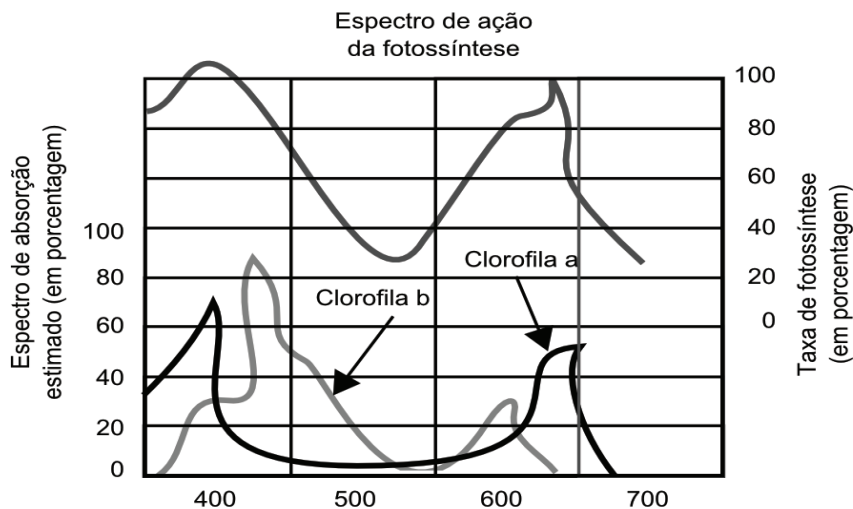


Figura 6 – Espectro de ação da fotossíntese.

Observando a figura 6, podemos notar que os picos do espectro de ação da luz na fotossíntese e os dos espectros de absorção da luz pela clorofila têm padrão semelhante, evidenciando que a clorofila é o pigmento mais importante na recepção da luz na fotossíntese. Espectro de Absorção é o padrão de absorção da luz por um pigmento. Espectro de Ação é a eficiência relativa de diferentes comprimentos de onda da luz por um processo específico, p. ex., fotossíntese, floração.

A clorofila *a* é responsável por captar energia solar e transformá-la em energia química nos eucariontes fotossintetizantes. Após a incidência de luz em uma molécula de clorofila, seus elétrons são excitados e conduzidos a níveis mais altos de energia.

A energia é captada pelos pigmentos e transferida dos elétrons de uma molécula para outra molécula vizinha e, posteriormente, para um complexo constituído por proteínas associadas aos tilacoides. Tais complexos são responsáveis pela eficiência de absorção de luz, canalizando-a para centros de reação. Os complexos são chamados de *complexo de captação de luz (CCL)* ou *complexo antena (CA)* (Figura 7). Esses complexos contêm as clorofilas *a* e *b*, além dos carotenoides. Nessa etapa, ocorre a primeira reação de oxirredução em que a clorofila é fotooxidada porque perde um elétron, e a molécula receptora é reduzida, porque recebe o elétron.

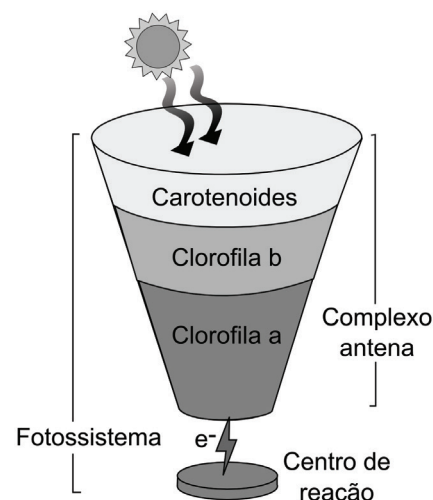


Figura 7 – Representação esquemática do complexo antena.

1.3. Etapas da Fotossíntese

A equação da fotossíntese é apresentada de forma básica, mas, por trás dela, encontramos diversas reações, como transporte de elétrons por coenzimas, síntese de ATP, desmembramento da molécula da água, entre outras reações de oxirredução.

A fotossíntese é, portanto, o resultado uma série de reações **Fotoquímicas** (nos tilacoides); e **Bioquímicas** (no estroma) (Figura 8). A etapa fotoquímica, denominada por muitos autores de fase clara, é também conhecida como reação de transdução de energia em que ocorrem reações dependentes da luz. Já a etapa bioquímica é conhecida como reação de fixação do carbono. Como muitos estudiosos acreditavam que essas reações eram independentes da luz, elas foram denominadas de fase escura. Entretanto, nas últimas três décadas, tornou-se claro que as reações requerem luz ou são controladas pela luz, e são melhor denominadas de reações de fixação ou redução do carbono. As reações de redução do CO_2 são realizadas com o consumo de ATP e NADPH, produzidos na fase fotoquímica.

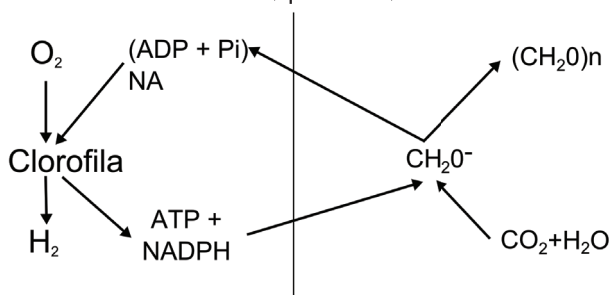


Figura 8 – Modificado de Taiz e Zeiger (1998).

1.4. Reações de transdução de energia / fotoquímica

- Reações dependentes da luz / Fase clara;
- A energia da luz é usada para formar ATP a partir de ADP através da fotofosforilação;
- Reduzir moléculas carregadoras de elétrons $\text{NADP}^+ \rightarrow \text{NADPH}$;
- As moléculas de água são clivadas (fotólise da água) e o O_2 é liberado.

A energia luminosa absorvida pela clorofila provoca uma reação fotoquímica que resulta na retirada de elétrons da água, liberando O_2 . Esses elétrons ficam em níveis energéticos mais elevados que possibilitam a síntese de ATP e NADPH. Essa etapa ocorre nos **tilacoides** dos cloroplastos. (Figura 9)

1.5. Reações de fixação do carbono / bioquímica

- A energia do ATP é usada para ligar o CO_2 a uma molécula orgânica;
- O poder redutor do NADPH é utilizado para reduzir um átomo de carbono do CO_2 recém fixado a um composto de cinco carbonos; a ribulose difosfato (RDP), a um carboidrato simples;
- Todos os eucariontes fotossintetizantes reduzem CO_2 para carboidratos via ciclo de Calvin (C_3). Existem também os mecanismos C_4 e CAM.

A energia química e o poder redutor são utilizados para reduzir o CO_2 a compostos orgânicos, durante as reações bioquímicas. Essa etapa ocorre no estroma dos cloroplastos. (Figura 9)

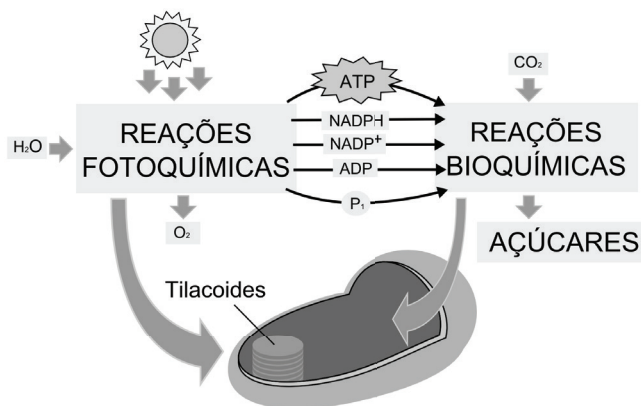


Figura 9: Representação esquemática da etapa da fotossíntese e a sede de cada etapa.

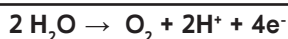
1.6. Etapa fotoquímica

Nessa etapa, ocorre a captação de energia solar e a conversão dessa forma de energia em energia química que, depois, é convertida em ATP e NADPH. Assim, temos as seguintes reações: **Fotólise da água**, **Fotossistema I** e **Fotossistema II**.

Os fotossistemas são complexos supramoleculares que operam simultaneamente. O armazenamento de energia da fotossíntese ocorre com a participação de quatro complexos proteicos diferentes que atuam de modo integrado: fotossistemas II e I, complexo citocromo bf e ATPsintase. A ligação entre esses complexos é feita via plastoquinonas, plastocianinas e ferredoxina.

1.6.1. Fotoxidação da água / Fotólise da água

A maioria dos organismos fotossintetizantes utiliza a água como molécula doadora de elétrons para a clorofila dos centros de reação e formação do oxigênio que é liberado para a atmosfera, conforme a equação:



A luz promove a oxidação da água produzindo oxigênio, liberando elétrons e prótons de hidrogênio. O excesso de H^+ gera um gradiente de concentração que será responsável pela síntese de ATP. As moléculas transportadoras de elétrons, como o NADP^+ , também passam por processos de oxirredução, passando a NADPH.

Para a liberação de uma molécula de oxigênio, é necessária a oxidação de duas moléculas de água liberando quatro prótons e quatro elétrons. Para que isso ocorra, o CR P680 deve absorver a energia de quatro fótons. Considerando que os fotossistemas II e I ocorrem de modo simultâneo, são necessários oito fótons para cada molécula de oxigênio liberado. Os prótons liberados da fotoxidação da água são concentrados no lúmen dos tilacoides aumentando o gradiente de prótons entre o estroma e o lúmen dos cloroplastos. (Figura 10)

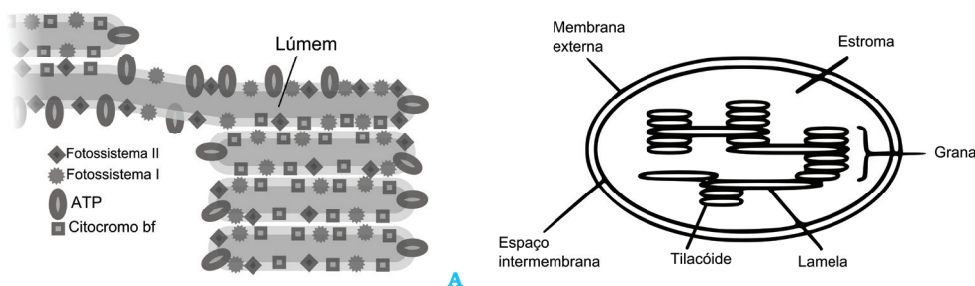


Figura 10 – Esquema de um cloroplasto de um vegetal superior com seus principais componentes (A) e corte transversal de um grana mostrando o lúmen dos tilacoides. (B)

1.6.2. Fotossistema II

O fotossistema II é constituído por 22 proteínas e possui no CR a clorofila a (P680) que, ao ser excitada pela luz, ejeta elétrons que são recebidos pela *feofitina*, molécula receptora primária de elétrons. Depois, são conduzidos para a *plastoquinona*, molécula receptora secundária de elétrons. O fotossistema

Em condições normais, ambos os sistemas coexistem, mas o fotossistema I pode ser responsável em dissipar o excesso de energia do sistema. A fotofosforilação cíclica pode ocorrer quando há muita radiação solar e pouco CO_2 disponível no mesófilo foliar.

II também é responsável pela transferência de elétrons da água para a plastoquinona. As *plastoquinonas*, na forma reduzida, liberam os elétrons para o *citocromo b_6f* . Os H^+ são lançados no lúmen dos tilacoides, provocando um gradiente entre o lúmen e o estroma dos cloroplastos. A feofitina reduzida dará continuidade entre o fluxo de elétrons e o complexo citocromo oxidado do FSI (P700). (Figura 11)

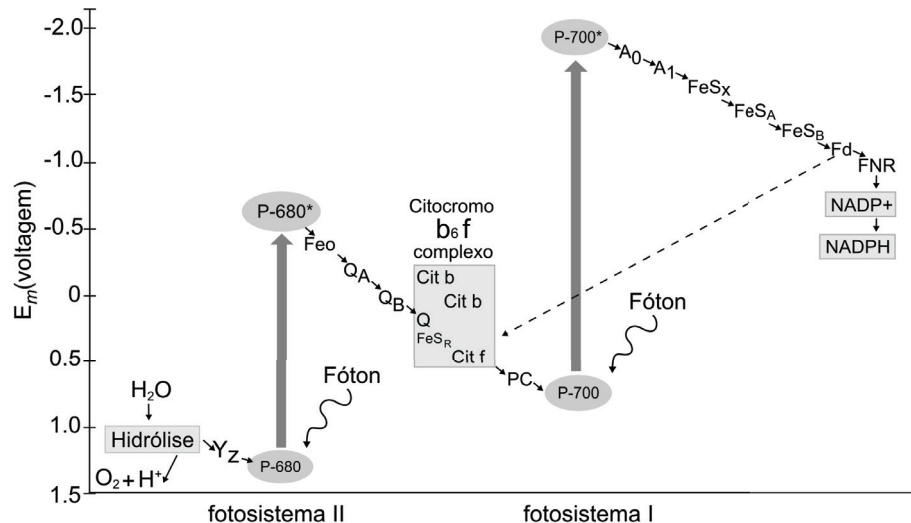


Figura 11 – Esquema dos fotossistemas II e I.

1.6.3. Fotossistema I

Nesse fotossistema são reconhecidas treze proteínas e o centro de reação é composto pela clorofila P700. O CR P700, ao receber fótons ou energia de excitação do complexo antena, doa elétrons para uma molécula A0, que, ao receber os elétrons, torna-se o agente redutor mais poderoso dos sistemas biológicos. Os elétrons do A0 passam para A1 e depois seguem para FeS_x e, finalmente, vão para a ferredoxina. Essas reações ocorrem ao lado do estroma, bem próximo à membrana. O principal destino dos elétrons da ferredoxina é a redução do NADP a NADPH+. Essa redução do NADP também contribui para o gradiente de prótons através da membrana do tilacoide. O NADPH+ é importante no processo de redução do CO_2 , na etapa bioquímica da fotossíntese. (Figura 11)

1.7. Fotofosforilação

A formação de ATP com o auxílio da luz é conhecida como fotofosforilação. A força propulsora para a produção de ATP é o gradiente de prótons. O complexo ATP sintase é responsável pela entrada de H^+ no interior do tilacoide, a favor de um gradiente de concentração do H^+ . O ATP formado durante o processo fotoquímico é utilizado para várias atividades metabólicas, além da fixação de CO_2 .

Os fotossistemas II e I estão interligados por carreadores de elétrons móveis e, quando a produção de ATP está acoplada ao fluxo de elétrons entre os dois *fotossistemas*, a *fotofosforilação* é chamada de *não-cíclica* ou *acíclica*. No fotossistema I, os elétrons seguem da *ferredoxina* para a plastoquinona através do citocromo b6f, gerando um ciclo de elétrons. A fotofosforilação cíclica está associada à transferência de H^+ . Comprimentos de onda maiores de 680nm não estimulam os CA nem os CR do fotossistema II.

1.8. Etapa bioquímica

A etapa bioquímica caracteriza-se pela fixação do CO_2 e produção de carboidratos. Essa etapa utiliza o ATP e o NADPH gerados na etapa anterior. A fixação de CO_2 é catalisada pela enzima *ribulose biscofosfato carboxilase/oxigenase*, também conhecida por **RUBISCO**, que desencadeia uma série de reações que formarão os compostos orgânicos, como proteínas, carboidratos e lipídios, que constituirão o corpo vegetal e, posteriormente, entrarão na cadeia alimentar.

Todos os organismos eucariontes fotossintetizantes reduzem o CO_2 para carboidratos via ciclo de Calvin (C3) sendo este constituído por três estágios: **carboxilação**, **redução** e **regeneração** (figura 12). As três etapas ocorrem no estroma dos cloroplastos.

Na *carboxilação*, a ribulose-1,5-bisfosfato reage com o CO_2 pela ação da RUBISCO e há produção de duas moléculas de 3-fosfoglicerato (3PGA).

Na *redução*, o 3PGA é transformado em gliceraldeído trifosfato (3PGald) com o consumo de **ATP** e **NADPH** (originados da etapa fotoquímica). O 3PGA é o primeiro carboidrato produzido no ciclo C3. Parte do gliceraldeído-3-fosfato é utilizada na regeneração da RUBISCO e outra parte é utilizada para síntese de amido, sacarose e todos os demais constituintes do vegetal (parede celular, membrana, proteína, organelas, etc.).

A etapa *regenerativa* se inicia logo após a formação do 3PGA, que é convertido em diidroxiacetona-fosfato (DHAP). São formadas duas moléculas de três carbonos (triose- fosfato ou triose- P) e logo se rege a molécula receptora primária de CO_2 , a RUBISCO.

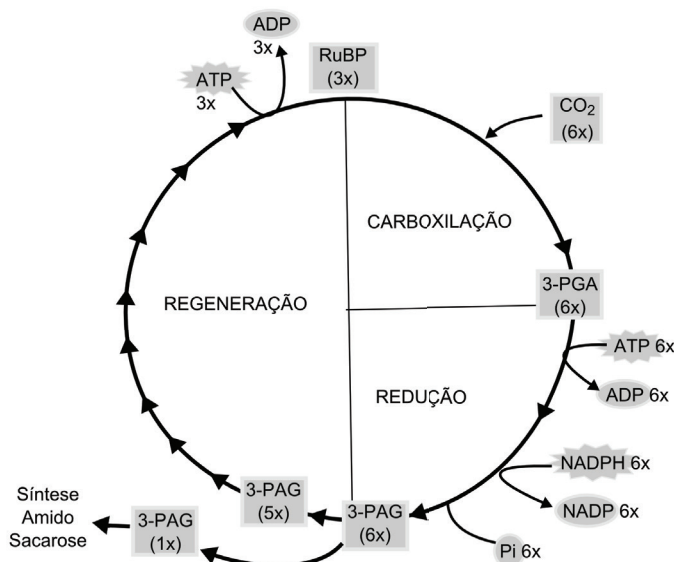


Figura 12 – Ciclo de Calvin ou ciclo C3 da fotossíntese no qual CO_2 é reduzida, e os hidratos de carbono são sintetizados.

1.9. Balanço energético do ciclo C3

Para cada molécula de CO_2 fixada, são utilizadas três moléculas de ATP e duas de NADPH. Para a fase redutora, são utilizadas duas moléculas de ATP e duas de NADPH. Na última etapa, é utilizada apenas uma molécula de ATP. Desse modo, para formar uma triose-P, são necessárias nove moléculas de ATP e seis moléculas de NADPH.

A **RUBISCO** pode catalisar tanto reações de carboxilação como reações de oxigenação do composto que utiliza como substrato, a ribulose-1,5 bisfosfato (RuBP). Tanto o CO_2 quanto o O_2 competem pelo mesmo sítio ativo da **RUBISCO**. Na presença de grandes quantidades de CO_2 , a enzima RUBISCO catalisa a carboxilação de ribulose 1,5 – bifosfato com alta eficiência. Entretanto, na reação oxigenase da RUBISCO (conhecida como fotorrespiração) nenhum carbono é fixado, e as perdas podem ultrapassar os 40%, assim, a fotorrespiração reduz a assimilação líquida de CO_2 .

1.10. O ciclo C2 (Fotorrespiração)

As plantas que apresentam o ciclo C_3 têm suas taxas fotossintéticas diminuídas quando há um aumento das taxas de O_2 no ambiente e o ciclo C2 entra em ação. O ciclo C2 envolve a participação de enzimas presentes

em três organelas: cloroplastos, mitocôndrias e *peroxissomos*. No cloroplasto, o *2P-fosfoglicolato* é convertido em *glicolato* e conduzido para fora do cloroplasto seguindo para o *peroxissomos*. Nesta organela, o *glicolato* é oxidado e transformado em *glioxilato*, sofrendo uma transaminação e sendo convertido no aminoácido glicina. Este aminoácido segue para a mitocôndria. Duas moléculas de glicina (quatro carbonos) são convertidas em uma molécula de serina (três carbonos) e uma molécula de CO_2 . A fonte de CO_2 na fotorrespiração é a glicina. A produção de CO_2 na fotorrespiração é cinco vezes maior que no ciclo de *krebs* (figura 13).

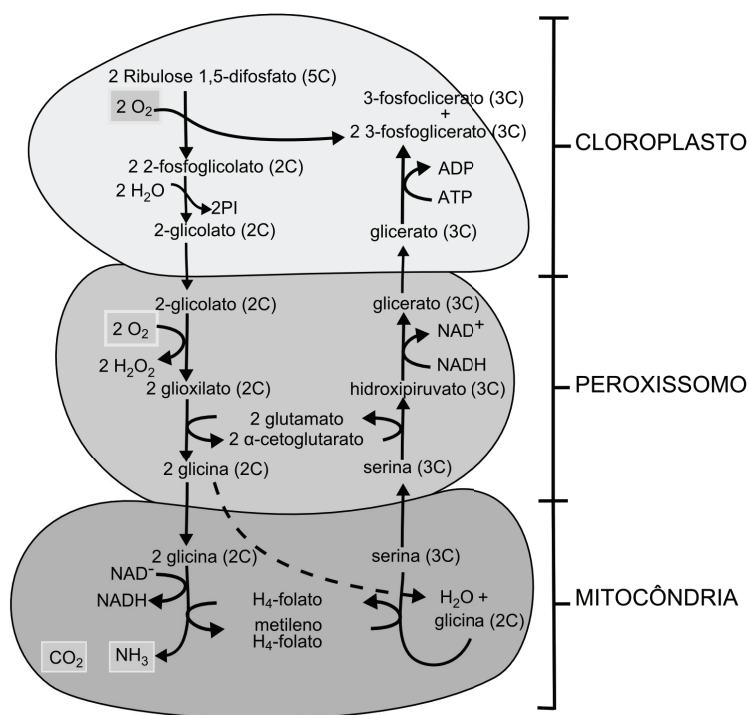


Figura 13 – O ciclo C2 envolve três organelas: cloroplasto, peroxissomos e mitocôndria e suas enzimas específicas.

A reação de oxigenação produz uma molécula de 3-fosfoglicolato e uma molécula de 2-fosfoglicolato. Esta última não entra no ciclo de Calvin-Benson, e sim num ciclo alternativo, chamado de C2 ou *via fotorrespiratória*. Nesse ciclo, há a utilização de O_2 e perda do CO_2 fixado, uma perda de 20-50% do carbono fixado, dependendo do ambiente. As atividades dos ciclos C3 e C2 estão diretamente dependentes das concentrações de CO_2 ou de O_2 nos cloroplastos do mesófilo foliar. Como as atividades destes dois ciclos são opostas, em que o ciclo C3 gera ganho de carbono, produzindo carboidratos a partir do CO_2 fixado, a fotorrespiração gera perdas de carbono devido à fixação de O_2 . Para diminuir ou anular a ação da fotorrespiração, foram desenvolvidas estratégias evolutivas, como o aumento da concentração de CO_2 no sítio da ação da **RUBISCO**.

A fotorrespiração apresenta algumas funções fisiológicas:

- Proteção do sistema fotossintético contra a foto-destruição oxidativa causada pela quantidade excessiva de oxigênio produzido pela própria fotossíntese e pela acumulação de ATP e NADPH, resultantes da atividade fotoquímica dos cloroplastos;
- Reciclagem contínua dos gases O_2 , NH_3 e CO_2 durante a fotorrespiração;
- Manutenção do “efeito estufa” e, conseqüentemente, da temperatura ambiente.

1.11. Mecanismos de concentração de CO_2

As plantas desenvolveram mecanismos de concentração de CO_2 , para minimizar os efeitos da fotorrespiração (plantas C4) ou permitir a sobrevivência das plantas em regiões áridas e semi-áridas (plantas CAM). Estes mecanismos envolvem uma série de modificações morfológicas e fisiológicas.

1.12. Mecanismo C4

- Ocorre uma separação espacial nas folhas das plantas C4, que possuem células do mesófilo e da bainha do feixe. Nas células do mesófilo, ocorre o mecanismo C4 e, na bainha do feixe, o mecanismo C3;
- A enzima fosfoenolpiruvato (PEP) carboxilase utiliza o HCO_3^- , que não compete com O_2 , e participa da primeira etapa de fixação do CO_2 . Dessa forma, não ocorre a fotorrespiração no mesófilo;
- Na primeira etapa (no mesófilo), como resultado da fixação do CO_2 pela PEP carboxilase, é formado o oxaloacetato, convertido para malato ou aspartato, dependendo da espécie. Estes ácidos de quatro carbonos são os primeiros produtos estáveis formados nessa via fotossintética, por isso o nome C4. Nas plantas que possuem apenas a via C3, o primeiro produto estável formado é o 3-fosfoglicerato, por isso a denominação C3;

- Na segunda etapa, os ácidos de quatro carbonos (malato ou aspartato) são descarboxilados, liberando CO_2 e produzindo piruvato ou alanina. Esse CO_2 é então fixado pela RUBISCO - encontrada apenas nas células da bainha. As demais reações do ciclo de Calvin (C_3) ocorrem concluindo o processo de fixação do CO_2 ;
- A enzima PEP carboxilase tem elevada afinidade pelo substrato (HCO_3^-) e atua mesmo em baixas concentrações. A maior afinidade da enzima pelo substrato permite que as plantas C_4 fotossintetizem com baixa abertura estomática e menores perdas de água;
- As plantas C_4 habitam ambientes com maiores temperaturas e climas semi-áridos e são, predominantemente, tropicais, p. ex., milho, sorgo, cana de açúcar;
- O mecanismo PEP consome dois ATPs. As plantas C_4 gastam cinco ATPs para fixar CO_2 , as plantas C_3 gastam apenas três ATPs por CO_2 fixado;
- Mecanismo CAM (Metabolismo Ácido das Crassuláceas);
- As plantas CAM, assim como as C_4 , utilizam as vias C_4 e C_3 ;
- Nessas plantas, o CO_2 , na forma de HCO_3^- , é capturado pela PEP carboxilase, produzindo também oxaloacetato. O diferencial dessas plantas é que o processo de fixação do CO_2 ocorre durante a noite. Há uma separação temporal nas plantas CAM, que podem fixar o CO_2 no escuro, aumentando a eficiência de uso da água;
- O oxaloacetato formado é convertido para malato, fica acumulado nos vacúolos e, durante o dia, é transportado para os cloroplastos e é descarboxilado, liberando CO_2 que é reduzido no ciclo de Calvin (C_3);
- Este mecanismo é encontrado em plantas adaptadas a ambientes áridos, que abrem os estômatos durante a noite e fecham durante o dia, capturando o carbono na forma de HCO_3^- e evitando as perdas de água;
- Algumas plantas podem passar de CAM para C_3 e vice-versa (abacaxi); outras, são CAM obrigatórias (Cactaceae e Crassulaceae);
- As plantas CAM, ao contrário das C_3 , não são muito produtivas em termos de biomassa, com exceção do abacaxi;
- Dentre as famílias de angiospermas com metabolismo CAM, citam-se agaváceas, bromeliáceas, cactáceas, crassuláceas, e orquidáceas.

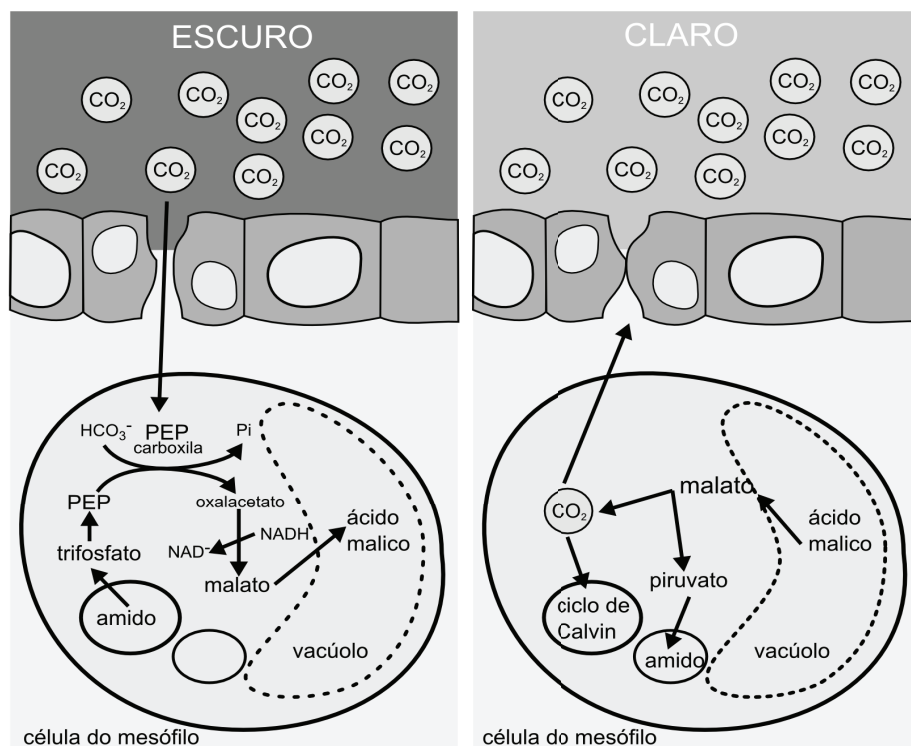


Figura 14 – Esquema do processo de fotossíntese nas plantas de ciclo CAM.

Todos os três mecanismos fotossintéticos possuem vantagens e desvantagens.

1.13. Vantagens e desvantagens dos mecanismos C3, C4 e CAM:

- CAM: Perde de 50 a 100g H_2O / g de CO_2 obtido;
- C4: Perde de 250 a 300g H_2O / g de CO_2 obtido;
- C3: Perde de 400 a 500g H_2O / g de CO_2 obtido;
- Plantas C4 toleram temperaturas e condições de seca mais acentuadas do que as C3;
- Plantas C4 podem não competir com sucesso em regiões com temperatura abaixo de 25°C;
- Plantas CAM economizam água pelo seu fechamento estomático diurno, reduzindo sua capacidade de captar e fixar CO_2 ;
- Plantas CAM crescem vagarosamente e competem pobremente com espécies C3 e C4 sobre condições outras que a aridez extrema.

Sob determinadas condições, cada tipo de fotossíntese possui limitações impostas por seu próprio mecanismo fotossintético.

1.14. Fatores que afetam a fotossíntese

A fotossíntese é um processo muito complexo apresentando várias etapas e envolvendo diferentes locais. Tal processo está sujeito a influências ambientais e, até mesmo, interferências da própria planta que podem ser estruturais (quantidade de estômatos, idade da folha e área foliar) ou bioquímicas. Entre os fatores ambientais, temos luz, temperatura, concentração de CO_2 e água. Os fatores interagem entre si e, desse modo, uma simples mudança na radiação provocará modificações na temperatura e umidade do ar, na abertura dos estômatos e diretamente sobre a difusão do CO_2 .

As condições ideais de luminosidade e concentração de gás carbônico na atmosfera elevam a taxa de fotossíntese, à medida que aumenta a temperatura ambiental, por volta de 350°C . Acima dessa temperatura, as taxas fotossintéticas começam a decair.

A concentração de CO_2 atmosférico é muito baixa nos valores entre 0,03-0,04%, sendo bem inferior a que a planta precisa para utilizar na fotossíntese. Aumentando a concentração de CO_2 , observa-se um aumento nas taxas de fotossíntese. A maior taxa de fotossíntese é atingida quando a concentração de CO_2 atinge 0,3%. Acima disso, não haverá aumento de fotossíntese. Mesmo em condições ideais de temperatura e luminosidade, as taxas fotossintéticas não são máximas devido à escassez de gás carbônico na atmosfera. Diante dessa situação, diz-se que o gás carbônico é um fator limitante da fotossíntese.

O aumento da luminosidade leva a um aumento proporcional na taxa fotossintética até atingir um valor limite, **o ponto de saturação luminosa**. Esse valor representa o máximo valor de luminosidade que leva à máxima taxa fotossintética.

1.15. A importância da fotossíntese

- Todas as nossas necessidades energéticas vêm dos fotossintetizantes;
- A partir da celulose, são sintetizados roupas, filtros, fibras naturais e artificiais, borracha natural e sintética, preservativos, pneus, plásticos, etc;
- O petróleo, carvão e gás natural, que tiveram a sua origem na fotossíntese, são combustíveis utilizados no mundo moderno. A queima de combustíveis libera energia, que é convertida em forma de energia útil, como p. ex., lenha, álcool nos automóveis, bagaço de cana, etc;
- A compreensão de como as plantas convertem a luz em energia elétrica e química auxilia a construção de computadores em escala molecular;
- As plantas absorvem luz com o mínimo de dano. A compreensão dos mecanismos naturais de proteção pode beneficiar-nos na medicina;
- Toneladas de combustíveis fósseis são queimadas todos os dias. Todo o CO_2 que fora fixado durante milhões de anos está sendo recolocado na atmosfera.

Síntese do Capítulo



A fotossíntese é um processo que produz compostos altamente energéticos a partir de compostos pouco energéticos. Para isso, utiliza CO_2 e água, tendo a luz como fonte de energia.

A transformação de energia solar em energia química obedece à primeira lei da termodinâmica. Essa transformação é realizada pelos vegetais, desde as algas até as plantas, e por alguns tipos de bactérias. Para isso, eles desenvolveram pigmentos, como clorofilas, carotenoides e ficobilinas; e estruturas (plastos) para otimizar o processo.

As radiações na faixa da luz visível são responsáveis pela maior parte dos fenômenos fotobiológicos dos seres vivos. Os comprimentos de onda de interesse para os processos biológicos compõem três faixas distintas: a ultravioleta, a visível e a infravermelho.

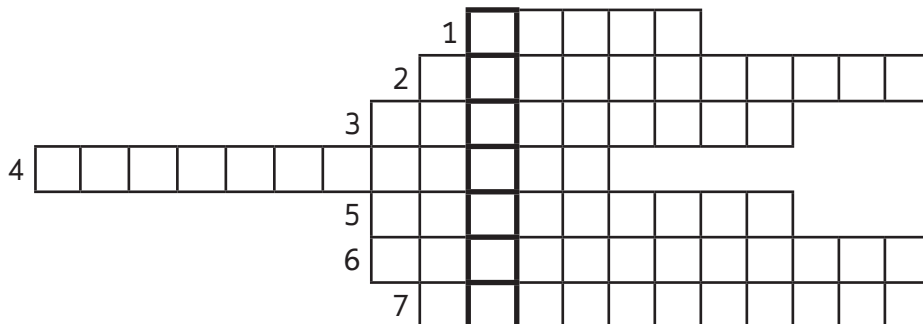
A fotossíntese é o resultado de uma série de reações Fotoquímicas (reações dependentes da luz) e Bioquímicas (reação de fixação do carbono). As reações fotoquímicas são de três tipos: fotólise da água, fotossistema I e fotossistema II. A Etapa Bioquímica é realizada pelo ciclo de Calvin (C_3), constituído por três estágios: carboxilação, redução e regeneração. A redução do CO_2 é realizada com o consumo de ATP e NADPH, produzidos na fase fotoquímica. A principal enzima do ciclo C_3 é a RUBISCO. As rotas alternativas da fotossíntese são os ciclos C_2 , CAM e C_4 . As taxas fotosintéticas são diretamente afetadas pela concentração de CO_2 e água, além da luminosidade e da temperatura.

Atividades de avaliação



1. Com relação à fotossíntese, responda:
 - a) Quais os pigmentos responsáveis pela absorção de luz?
 - b) Qual a relação entre o espectro de absorção de um pigmento e o espectro de ação da fotossíntese?

2. Resolva a cruzada abaixo e encontre a palavra da coluna central:



- 1) Luz que é refletida pela clorofila e não participa da fotossíntese.
- 2) Conjunto de processos físicos e químicos realizados pela célula.
- 3) Substâncias responsáveis pela absorção da luz.
- 4) Transformação de energia solar em energia química, com a produção de alimento para a planta.
- 5) Diz-se do organismo que consegue fabricar seu próprio alimento.
- 6) Principal processo de perda de água em forma de vapor pelas plantas e demais organismos.
- 7) Organela onde ocorre o processo de fotossíntese nos vegetais.

3. Sabemos que a fotossíntese consta de duas fases. Quais são elas, onde ocorrem e o que produzem?

4. Considerando o ciclo de Calvin, responda:

- a) Qual o composto aceptor de CO_2 ?
- b) Qual o primeiro produto estável?
- c) Quais as três etapas básicas do ciclo de Calvin e o que ocorre em cada uma delas?

5. O que é fotorrespiração? Quais os efeitos da fotorrespiração sobre a fotossíntese líquida?

6. Complete corretamente:

- a) A maior parte do carbono fixado é convertido em _____, que é a principal forma de estocagem de carboidratos nas plantas.
- b) As reações de transdução de energia ocorrem nos _____ enquanto as reações de fixação e redução do carbono ocorrem no _____.
- c) Os principais pigmentos fotossintéticos são: _____, _____ e _____.
- d) Durante a fase de transdução, os fotossistemas I e II, funcionam simultaneamente. Entretanto, o _____ pode ocorrer.

rer sozinho. Isto ocorre porque o ciclo de Calvin vai utilizar um maior número de moléculas de _____ do que de _____.

e) Nas reações dependentes de luz (fotoquímicas) ocorre formação de _____ e _____.

f) A enzima regenerada a cada volta do ciclo de Calvin é _____.

7. Por que a glicólise era provavelmente a via utilizada pelos organismos unicelulares primitivos para obtenção de energia? E o que acontece com o produto da glicólise (piruvato) na ausência de oxigênio?

Leituras, filmes e sites



Sites

Experimentoteca da USP: <http://www.cdcc.sc.usp.br/exper.htm>

Respiração

Para que os seres vivos realizem suas atividades diárias, eles necessitam de energia. Essa energia é obtida pelos organismos eucariontes, através de carboidratos, lipídios, proteínas, sais minerais e água. Todos esses alimentos passam por uma série de quebras enzimáticas, sendo digeridos e absorvidos pelo corpo. A maior parte da energia contida nos alimentos é extraída por uma sucessão de reações de oxidação que liberam hidrogênio e carbono. O oxigênio atmosférico se une a eles e, juntos, formam gás carbônico e água. Deve-se considerar que parte da energia armazenada nos alimentos também é perdida na forma de calor. As células armazenam substâncias orgânicas ricas em energia, como o glicogênio e triacilglicerídios, substâncias estáveis com grande acúmulo de energia, e moléculas de ATP (composto instável com pouca energia). O processo de energia mediante o consumo de oxigênio e liberação de gás carbônico é chamado de **respiração celular**.

Para retirar energia dos alimentos, as células realizam a quebra da glicose sem utilizar oxigênio (**glicólise anaeróbia**). Depois, segue uma série de reações oxidativas (**ciclo de Krebs ou ciclo do ácido cítrico**) e a produção de ATP, por meio de reações de oxidação (**fosforilação oxidativa**). A primeira etapa ocorre no citoplasma, e as duas últimas ocorrem na mitocôndria. A equação simplificada da respiração é:



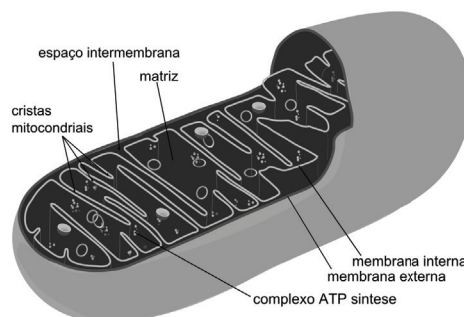
A organela responsável pela síntese de ATP é a mitocôndria, uma vez que ela capta a energia contida nos alimentos e transfere para o ATP (figura 1). O ATP sai da mitocôndria e será utilizado pela célula para inúmeras atividades. Ao reconstituir o ADP, este retorna à mitocôndria para receber um novo fosfato. As células produzem muitas moléculas de ATP.

Enquanto a fotossíntese capta e converte energia luminosa em energia química, armazenada na forma de carboidratos, lipídios e proteínas, a respiração libera essa energia através da quebra de ligações químicas.

A organela onde se processa a fotossíntese é o cloroplasto.

Nos animais, a glicose é armazenada em forma de glicogênio e os ácidos graxos são armazenados na forma de gorduras. As reservas de glicogênio fornecem energia para um único dia. As gorduras armazenam mais energia e são menos acessíveis que o glicogênio. A energia contida nas gorduras pode durar até trinta dias para ser consumida. Desse modo, o corpo utiliza a glicose, em repouso, e as gorduras são mobilizadas durante as atividades físicas.

A molécula de ATP apresenta duas ligações ricas em energia que, ao se romperem, liberam energia. Muitas vezes apenas uma delas se rompe. Observe a equação a seguir:



Fonte: Wikimedia Commons

Figura 1 – Esquema de uma mitocôndria e seus principais componentes.

A glicólise é a etapa anaeróbia do processo de respiração. As demais etapas do processo só ocorrem na presença de oxigênio suficiente. Sem oxigênio, o ácido pirúvico produzido durante a glicólise será transformado em ácido láctico ou em etanol, por meio da fermentação.

Os aceptores de elétrons NAD (nicotinamida adenina dinucleotídeo) e FAD (flavina adenina dinucleotídeo) também participam do processo de respiração celular e são reduzidos a NADH e FADH₂.

2.1. Obtenção de energia

A quebra dos alimentos começa no aparelho digestório, onde os carboidratos são convertidos em glicose; os lipídios, em ácidos graxos e glicerol, e as proteínas, em aminoácidos. Após essa primeira etapa, tais substâncias são absorvidas pelas células do intestino, penetram no sangue e chegam até a célula. Passam pelo citossol e, em seguida, penetram na mitocôndria.

2.1.1. Os carboidratos

O produto final do metabolismo dos carboidratos é a *glicose*, uma molécula que fornece energia com grande rapidez. A quebra da molécula de glicose ocorre no citoplasma, por meio da ação de enzimas, e, na ausência do oxigênio, é chamada de **glicólise** (Figura 2.A).

A molécula de glicose possui seis carbonos e, ao ser desmembrada, produz duas moléculas de piruvato (três carbonos). Essa reação consome dois ATP, mas, rapidamente, são produzidas quatro ATP, ficando um saldo de dois ATP para cada piruvato formado. Nessa etapa, há a participação de dois NAD⁺ (um para cada piruvato), formando NADH.

O piruvato segue para a matriz mitocondrial onde perde um carbono pela ação da enzima piruvato desidrogenase e dois oxigênios que vão formar o CO₂, processo conhecido como **descarboxilação oxidativa (2)**. O piruvato é convertido a uma acetila (dois carbonos) que se liga a **coenzima A (CoA)** – formando o grupo acetil-CoA. O piruvato também cede um H⁺, que vai ser captado pelo NAD, formando um NADH e dois e⁻ para cada acetila gerado. Essa energia armazenada no NADH é transferida ao ATP.

No **ciclo de Krebs (3)**, ocorrem vários processos de oxidação do carbono e do hidrogênio da acetila, produzindo CO₂ e H₂O. Os processos oxidativos do ciclo são realizados de forma gradativa e, nesse trajeto, a energia é liberada durante a quebra das ligações covalentes entre esses átomos e transferida ao ATP. Os processos oxidativos são responsáveis pela produção de CO₂ enquanto a formação de ATP (4) produz H₂O. A maior parte da energia produzida é utilizada para reduzir três NAD a NADH e um FAD a FADH₂, e uma pequena porção é usada na produção de ATP. (Figura 2.B)

A formação de ATP se dá de forma simultânea à oxidação dos aceptores de elétrons. Os FADH₂ e o NADH são oxidados na última etapa do processo, a **fosforilação oxidativa**, que acontece em um complexo molecular,

conhecido como **cadeia transportadora de elétrons** (ou cadeia respiratória) e tornando-se novamente FAD e NAD⁺. Após essa oxidação, a energia depositada nas moléculas é liberada e transferida ao ADP que está na mitocôndria, e será fosforilado, transformando-se em ATP.

2.1.2 Os ácidos graxos

Diferente dos carboidratos, os ácidos graxos são degradados inicialmente dentro da mitocôndria. Cada molécula de ácido graxo origina de oito a nove moléculas de acetila.

O processo degradativo dos ácidos graxos é conhecido como **β -oxidação**. O ácido graxo cede uma acetila por ciclo, além de um NAD e um FAD. Dependendo do tamanho da cadeia do ácido graxo, ocorrem de sete a oito ciclos. De modo semelhante aos carboidratos, os produtos da **β -oxidação** se unem a CoA e entram no **ciclo de Krebs**. O ciclo de Krebs produz três NADH e um FADH₂, além de uma molécula de ATP. A energia armazenada nos transportadores de elétrons é transferida para o ATP no final da cadeia transportadora de elétrons. Os ácidos graxos são mais energéticos que os carboidratos porque geram mais NAD e FAD durante os ciclos de **β -oxidação**.

2.1.3 Os aminoácidos

A prioridade dos aminoácidos é formar proteínas. Caso seja necessário, os aminoácidos são convertidos em piruvato, acetila e em outras substâncias que entrarão no ciclo de Krebs.

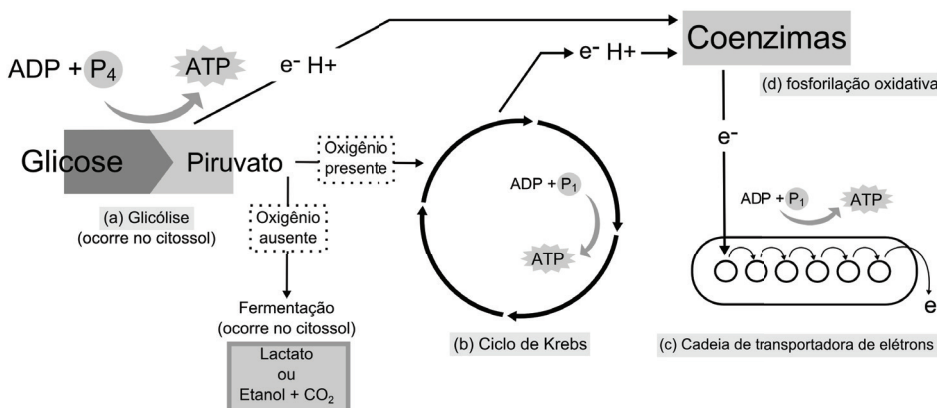


Figura 2 – Processo geral da respiração: A. Glicólise; B. Ciclo de Krebs; C. Cadeia transportadora de elétrons. D. Fermentação.

A glicose só dá origem a duas acetilas.

2.2. O ciclo de Krebs



Figura 3 – Ciclo de Krebs. O ciclo se inicia com acetil-CoA e libera gás carbônico.

O ciclo de Krebs se inicia com a entrada do acetil-CoA que se une ao ácido oxalacético e, juntos, geram ácido cítrico, o primeiro produto do ciclo. O ciclo compreende nove reações químicas mediadas por enzimas específicas. Elas são dispostas em sequência de modo que o ácido oxalacético será sempre o último produto que, ao se recombinar com o acetil-CoA, recupera o ácido cítrico e novo ciclo se inicia. O ciclo só ocorre, se houver disponibilidade de oxigênio (agente oxidante) e acetilas (Figura 3).

2.3. Cadeia transportadora de elétrons

Os elétrons capturados pelo NAD e pelo FAD são conduzidos através de complexos proteicos dispostos em sequência na membrana interna da mitocôndria até o oxigênio. Cada conjunto sequencial de transferidores de elétrons recebe o nome de **cadeia transportadora de elétrons** ou **cadeia respiratória**. Figura 2 D)

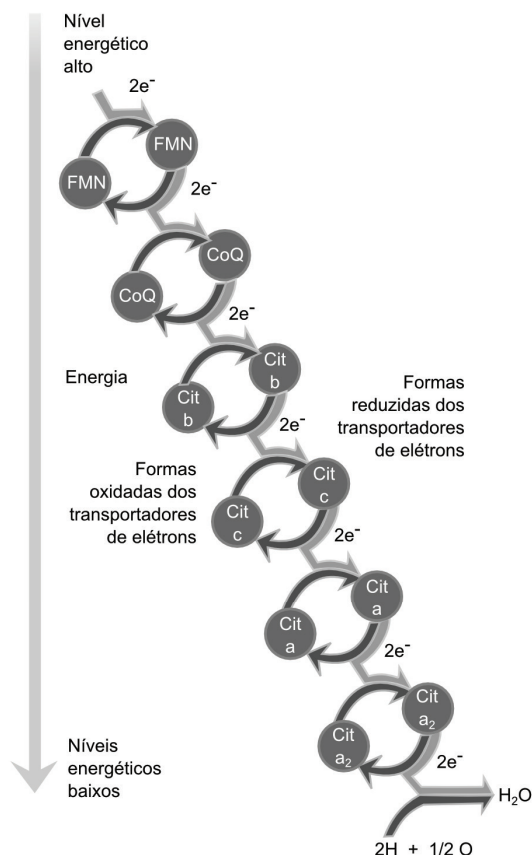
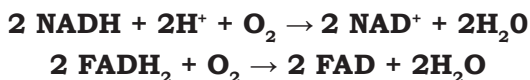


Figura 4 – Representação esquemática da cadeia respiratória.

Os elétrons liberam o excesso de energia ao passar pelos complexos proteicos da cadeia respiratória. A energia liberada é utilizada para transferir os íons H^+ do interior da mitocôndria para o espaço entre as duas membranas mitocondriais. O H^+ tende, por estar mais concentrado nesse espaço, a se difundir para a matriz mitocondrial (interior da organela). No entanto, essa passagem só acontece devido à presença de um complexo proteico chamado de **sintase do ATP**. Ao passar pela **sintase do ATP**, os H^+ liberam energia para a síntese de ATP a partir do fosfato inorgânico e ADP. No interior da mitocôndria, os íons H^+ combinam-se com os elétrons transportados na cadeia respiratória e com os átomos do gás oxigênio formando moléculas de água.

Esse mecanismo de produção de ATP é conhecido como **teoria quimiosmótica**. E também ocorre nos cloroplastos. figura 4

O ATP é sintetizado em maior quantidade durante as atividades na cadeia transportadora de elétrons porque o NADH E $FADH_2$ liberam elétrons com alto nível energético que vão cedendo a energia para a formação de ATP. O oxigênio é reduzido a moléculas de água, como está apresentado na equação abaixo:



2.4. Saldo do processo respiratório

Cada **glicólise** gera duas moléculas de ATP e promove a redução de dois NAD a NADH.

Ao fim do ciclo de Krebs é gerada energia para formar dois ATP, seis NADH e dois $FADH_2$. As moléculas de CO_2 formadas durante o ciclo de Krebs

Em uma das fases do ciclo de Krebs, a energia liberada possibilita a formação direta de uma molécula de GTP (trifosfatoguanosina). A diferença entre GTP e ATP é apenas a base nitrogenada guanina em vez de adenina. O GTP fornece energia para a síntese de proteína ou de outros processos celulares.

são transferidas para a matriz celular e vão para o meio extracelular onde se difundem pelo sangue que as transporta aos pulmões para posterior eliminação. Quadro 1

Resumo do rendimento máximo obtido com a oxidação completa da glicose

		Produção de moléculas em:		
Processo		citossol	matriz mitocondrial	transporte de elétrons
glicólise		2 ATP 2 NADH		2 ATP 6 ATP
respiração	ácido pirúvico a acetil CoA		2 x (1 NADH)	2 x (3 ADP)
	ciclo de krebs		2 x (1 ATP) 2 x (3 NADH) 2 x (1 FADH ₂)	2 ATP 18 ATP 4 ATP
Total:				38ATP

Em algumas células, o gasto energético no transporte de elétrons da formação de NADH na glicólise através da membrana interna da mitocôndria baixa a produção desses 2 NADH para 4 ATP. Com isso a produção máxima é de 36 ATP.

Quadro 1 – Rendimento energético obtido pela oxidação completa da glicose.

2.5. Fermentação

A fermentação ocorre quando as substâncias orgânicas são degradadas parcialmente dando origem a moléculas menores e liberando energia. Esse processo é desenvolvido por fungos e bactérias que vivem em ambientes com escassez de oxigênio. Algumas de nossas células podem realizar fermentação na falta de oxigênio. O processo fermentativo é bastante parecido com a glicólise, a molécula de glicose é convertida em duas moléculas de ácido pirúvico e há liberação de dois ATP. No entanto, o ácido pirúvico não é transformado em acetila, e sim em lactato, pois recebe os elétrons e H⁺ do NADH, transformando-se em ácido lático ou etanol e gás carbônico. Existem dois tipos de fermentação: a láctica (produção de ácido lático) e a alcoólica (produção de etanol).

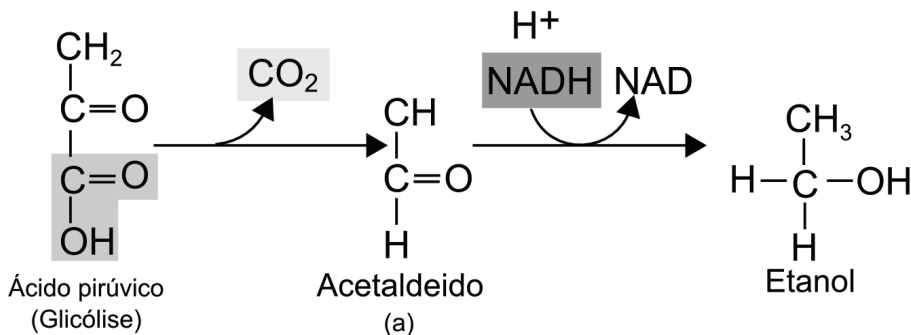


Figura 5 – Equação da fermentação alcoólica.

O ácido lático é produzido por bactérias encontradas no leite. A presença desse ácido no leite é responsável pela coagulação das proteínas e consequente formação do coalho, originando os produtos do leite, como iogurte, queijo e coalhada. A fermentação alcoólica é realizada especialmente por fungos que são utilizados pela indústria de bebida, como a cerveja, o vinho e a aguardente. Esses fungos, chamados de leveduras, são utilizados na fabricação de pães.

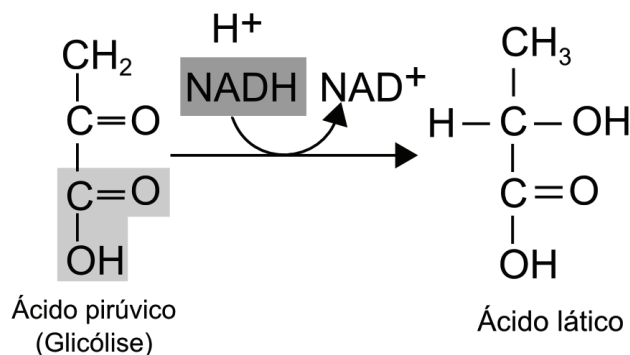


Figura 6 – Equação da fermentação láctica.

Síntese do Capítulo



Os seres heterótrofos obtêm sua energia por meio da alimentação de carboidratos, lipídios, proteínas, sais minerais e água. Todos esses alimentos passam por uma série de quebras enzimáticas, são digeridos e absorvidos pelo corpo. A energia contida nos alimentos é extraída por uma sucessão de reações de oxidação que liberam hidrogênio e carbono. O oxigênio atmosférico se une a eles e, juntos, formam gás carbônico e água. O processo de captação de energia mediante o consumo de oxigênio e liberação de gás carbônico é chamado de respiração celular. Para retirar energia dos alimentos, as células realizam a quebra da glicose sem utilizar oxigênio (glicólise anaeróbia). Depois segue uma série de reações oxidativas (ciclo de Krebs ou ciclo do ácido cítrico) e a produção de ATP por meio de reações de oxidação (fosforilação oxidativa). A primeira etapa ocorre no citoplasma e as duas últimas ocorrem na mitocôndria. A molécula de ATP também apresenta ligações ricas em energia. Outro processo para a obtenção de energia é a fermentação que ocorre quando as substâncias orgânicas são degradadas parcialmente dando origem a moléculas menores e liberando energia. Esse processo é desenvolvido por fungos e bactérias que vivem em ambientes com escassez de oxigênio.

Leituras, filmes e sites



Sites

<http://www.videos.roxportal.com/biologia/respiracao-celular-mitocondria.phpt>

Atividades de avaliação



1. Marque a alternativa que apresenta corretamente os compartimentos de uma célula eucariótica onde ocorrem as etapas da respiração celular.
 - a) glicólise, ciclo de Krebs e fosforilação oxidativa.
 - b) citossol, citossol, citossol.
 - c) citossol, mitocôndria, citossol.
 - d) citossol, mitocôndria, mitocôndria.
 - e) mitocôndria, mitocôndria, mitocôndria.
2. Com relação à respiração, responda:
 - a) Quais as fases da respiração aeróbica?
 - b) Quais os principais substratos utilizados na respiração?
 - c) Quais as funções da respiração?
 - d) Qual a relação entre respiração e fotossíntese?
3. A glicólise não é a única rota disponível para a oxidação da glicose no citossol. Qual a outra via oxidativa que realiza esta tarefa e quais as suas funções?
4. Faça um balanço energético da oxidação completa de um mol de glicose através da glicólise, ciclo de Krebs e cadeia transportadora de elétrons.
5. Sobre o processo de respiração celular, assinale (V) ou (F), justificando as respostas falsas.
 - () A respiração é um processo intracelular que consiste na quebra exclusivamente de moléculas de glicose, para produção de energia (ATP), e de compostos intermediários para a produção de aminoácidos, esteróides e DNA, dentre outros.
 - () São substratos da respiração a glicose, o amido, a sacarose, a frutose, os lipídios, os ácidos orgânicos e as proteínas.
 - () Podemos dividir as etapas da respiração em glicólise, ciclo de Krebs, C.T.E e fosforilação oxidativa. Todas essas etapas ocorrem exclusivamente nas mitocôndrias.
 - () A energia, por ser vital para a célula, é obtida antes mesmo de a glicose entrar nas mitocôndrias usando o oxigênio no citoplasma, com liberação de duas (02) moléculas de ATP (glicólise).
 - () Na ausência do oxigênio, o piruvato é convertido a lactato ou etanol (fermentação). Por não haver a formação de nenhuma molécula de ATP a mais, além das duas oriundas da glicólise, a fermentação não é considerada um mecanismo eficiente.

Parte

4

Núcleo e divisão celular

Núcleo e genes

1.1. O núcleo

A principal característica das células eucarióticas é a presença de uma estrutura onde está concentrado o DNA. Esta estrutura é conhecida como núcleo. O núcleo é delimitado por uma membrana que se continua com o RE e que possui as mesmas características da membrana plasmática. Esta membrana é conhecida como **carioteca** ou **envoltório nuclear**. A membrana do núcleo apresenta perfurações, os poros, que permitem a comunicação entre o núcleo e o citoplasma. A membrana é revestida por filamentos intermediários. No núcleo, encontramos:

- Os cromossomos que são formados por uma molécula de DNA combinada com várias moléculas. A quantidade de cromossomos varia entre espécies, a espécie humana, p. ex., possui 46 cromossomos;
- Os diversos tipos de RNA que migram para o citoplasma assim que são formados. Estes RNA atravessam os poros do envoltório nuclear;
- Uma região onde estão concentrados os RNA e os RNAr recém-formados – o nucléolo;
- Diversas proteínas, como DNA polimerase, RNA polimerase. Tais enzimas regulam a ação dos genes;
- A matriz nuclear ou nucleoplasma, cuja composição é desconhecida.

1.1.1. A carioteca

É composta por duas membranas que se conectam ao nível dos poros. Entre a membrana externa e a interna, forma-se o **espaço perinuclear** que se comunica com a cavidade do RE enquanto a membrana externa se comunica com o RE. A membrana interna é sustentada pela **lâmina nuclear** que oferece resistência e define a forma da carioteca. A lâmina nuclear não é observada nos poros.

As proteínas entram no núcleo por meio de um mecanismo seletivo. Esse mecanismo é caracterizado pelo reconhecimento de um **peptídeo sinal** que serve como senha para a proteína entrar no núcleo. Esse peptídeo sinal é reconhecido por uma proteína, a **importina**.

1.1.2. Os cromossomos

Os cromossomos são moléculas de DNA, associadas a diversas proteínas. Os complexos formados por DNA, associados a proteínas constituem a **cromatina**. As proteínas associadas ao DNA são de dois tipos: as histonas e as não-histônicas.

Os cromossomos apresentam uma área de **constricção primária**, conhecida como **centrômero**. A presença do centrômero divide os cromossomos em duas partes ou **braços** (Figura 1). Os cromossomos são classificados em quatro grupos, de acordo com a posição do centrômero:

- **Metacêntricos** – o centrômero está posicionado próximo ao centro do cromossomo. Assim, os braços não apresentam quase ou nenhuma diferença de tamanho;
- **Submetacêntricos** – o centrômero não está no centro do cromossomo. As cromátides possuem um braço menor que o outro;
- **Acrocêntricos** – o centrômero está localizado próximo à extremidade de um dos braços. O braço curto das cromátides, chamado de satélite, é muito pequeno. Esse braço é composto por heterocromatina;
- **Telocêntrico** - o centrômero está localizado na região terminal do cromossomo.

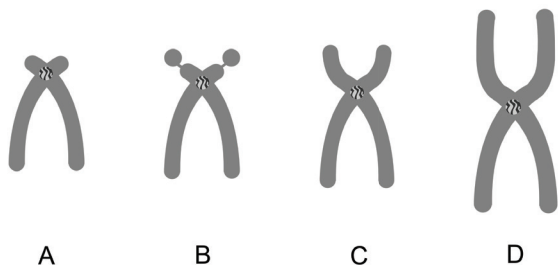


Figura 1 – Cromossomos A: telocêntricos, B: acrocêntricos, C: submetacêntricos e D:

Nas extremidades destes braços, encontramos uma região conhecida como **telômero** que possui sequências peculiares de nucleotídeos. Algumas regiões do DNA apresentam os genes, sequências de nucleotídeos que são transcritos, e regiões sem informações.

1.1.2.1. O número de cromossomos

O número de cromossomos define dois tipos celulares: as células somáticas e as células germinativas. Na espécie humana, as células somáticas possuem 46 cromossomos ou 23 pares. Destes, 22 pares são autossomos, comuns aos homens e às mulheres, e um par corresponde ao cromossomo sexual. No homem, são dois cromossomos diferentes XY, enquanto nas mulheres são dois cromossomos iguais XX. De cada par, um cromossomo foi doado pelo pai através do espermatozóide; outro, pela mãe, através do ovócito. As células somáticas são conhecidas como células diploides. As células **germinativas** (gametas) são constituídas por 23 cromossomos (**22A + 1S**), sendo conhecidas como **células haploides**.

1.1.2.2. Informações genéticas

As informações genéticas estão guardadas nas moléculas de DNA. O conjunto de todas as informações conservadas nas moléculas de DNA constitui o genoma.

As informações genéticas estão armazenadas na forma de sequência de nucleotídeos. Aproximadamente 75% do DNA são formados por sequências que não se repetem (cópias únicas) ou que apresentam pouca repetição. Nestas áreas do DNA, encontramos os setores funcionais, os genes, que só correspondem a 10% do DNA.

As sequências de nucleotídeos, que se repetem várias vezes, correspondem a 25% do DNA e constituem o **DNA repetitivo**. A essa categoria pertencem os **DNA satélites**.

1.1.2.3. A condensação da cromatina

A cromatina tem a capacidade de se condensar. Durante a interfase, os trechos condensados são denominados de **heterocromatina**, e os trechos não condensados são conhecidos como **eucromatina**.

Podemos classificar a heterocromatina em dois tipos:

- 1) **heterocromatina constitutiva**, que se mantém sempre condensada e não se converte em eucromatina.
- 2) **heterocromatina facultativa**, que, ora se apresenta como heterocromatina, ora como eucromatina, dependendo do tipo e da fase do ciclo celular.

1.1.2.4. As histonas

As histonas são proteínas que colaboram com a condensação da cromatina. Elas possuem cinco classes, H1, H2A, H2B, H3 e H4. A H1, e seis subclasses. Quatro delas são histonas nucleossômicas, porque as moléculas de DNA se enrolam sobre elas e formam o nucleossomo, que constitui a unidade básica do enrolamento cromatínico.

1.1.2.5. O cariótipo

Uma das etapas de divisão celular é caracterizada pela máxima condensação dos cromossomos. O nível de compactação do cromossomo permite a sua visualização individualizada. As imagens obtidas no microscópio são fotografadas, isoladas e organizadas com o objetivo de agrupar os cromossomos de acordo com sua semelhança morfológica. A organização dos cromossomos recebe o nome de **cariótipo**.

O cariótipo humano é formado por 23 pares de cromossomos homólogos.

1.2. Os genes

1.2.1. Os segmentos funcionais do DNA

O gene é uma sequência de DNA que contém informações para sintetizar uma molécula de RNA e este corresponde a um RNAm, construindo a partir dele uma proteína. Cada gene se localiza em um local específico do cromossomo, chamado locus.

A espécie humana possui 23 pares de cromossomos. Os membros de cada par são denominados de cromossomos homólogos. Os cromossomos de um mesmo par são morfologicamente semelhantes, com mesmo tamanho e forma. Os genes presentes nos cromossomos, embora bastante semelhantes, não são exatamente iguais.

Acredita-se que existam 100 mil genes distribuídos nos 46 cromossomos. Os genes correspondem a 10% de todo o DNA.

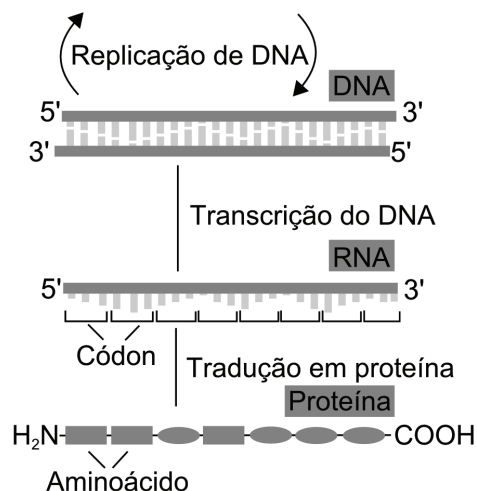


Figura 2 – Fluxo da informação genética.

Por meio dos genes, as características parentais são transmitidas aos filhos. Algumas mutações podem ficar acumuladas nos genes e, posteriormente, contribuir para a evolução da espécie.

As informações genéticas estão contidas no DNA e limitadas ao **núcleo** enquanto a síntese de proteína, baseada em tal informação, ocorre no citoplasma. A síntese de RNA, que usa o DNA como molde, é denominada **transcrição do DNA**, enquanto a síntese de proteína, que utiliza o RNAm como molde, é denominada **tradução do RNAm** (Figura 2).

Os genes geram uma única classe de proteína, mas a maioria dos genes que produzem RNAm origina **poliproteínas**.

1.2.2. Tipos de RNA

O genoma é composto por quatro tipos de genes de acordo com a função:

- 1) Genes responsáveis pela síntese de RNAm, os que codificam as proteínas;
- 2) Genes responsáveis pela síntese de RNAr;
- 3) Genes que conduzem a síntese de RNAt;
- 4) Genes que conduzem o RNapequenos.

Além do RNAm, RNAt e RNAr, existem outros três RNA - dois localizados no núcleo, e um no citoplasma.

Os RNA, originados da transcrição, são chamados de **transcritos primários**. São rapidamente convertidos em um RNA funcional após sofrer várias modificações. Os transcritos primários possuem trechos (sequências de nucleotídeos) não-funcionais intercalados por trechos que codificam proteínas. Estes trechos são conhecidos como introns e exons, respectivamente. Os introns são retirados, e os exons são conectados formando RNA funcional (Figura 3).

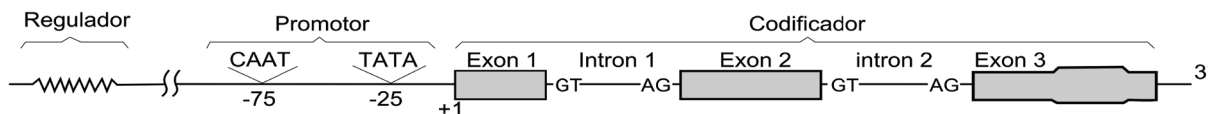


Figura 3 – Os componentes dos genes que codificam um RNAm.

1.2.3. Trinca de nucleotídeos

As informações são transferidas do DNA para o RNAm e, deste, para as proteínas por meio de três nucleotídeos em diferentes combinações, gerando um código. Estes códigos são organizados com base nos nucleotídeos do DNA, que define a sequência dos nucleotídeos no RNA e, se for um RNAm, o código determinará a posição de cada aminoácido que

constitui uma proteína. Cada três nucleotídeos codifica um aminoácido. Esse trio de nucleotídeo é conhecido como códon.

Os vinte aminoácidos podem se codificados por 61cótons, assim a maior parte pode ser codificado por mais de um códon. Dos 64 cótons, três deles não codificam aminoácidos. São conhecidos como cótons de terminação (UAA,UGA,UAG), cuja função é marcar o fim da síntese da molécula proteica no momento em que o último aminoácido é inserido na cadeia polipeptídica.

Os genes possuem diferentes segmentos (Figura 3):

a) **Promotor**: inicia a transcrição com as sequências TATA e CAAT e informa a partir de qual nucleotídeo o gene que deve ser transcrito.

b) **Sequência reguladora**: informa quantas vezes o gene deve ser transcrito. Pode ser de dois tipos: os amplificadores ou os inibidores.

c) **Segmento codificador**: possui sequências úteis e sequências não-funcionais (exons e introns, respectivamente) Nesse segmento, encontramos a *sequência de terminação* que finaliza a transcrição.

1.2.4. A transcrição do DNA

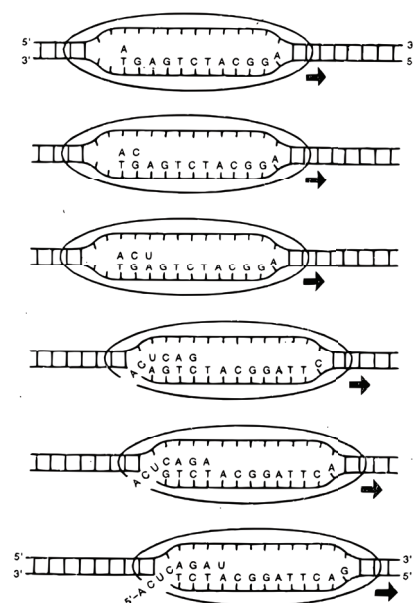


Figura 4 – Formação da “bolha” no DNA que se desloca à medida que as duas cadeias se separam e se fundem. Note que a abertura é no sentido 5' - 3', e a síntese da nova cadeia é no sentido 3' - 5'.

A transcrição é a síntese de RNA que utiliza a molécula de DNA como molde. A síntese ocorre com a introdução de nucleotídeos complementares que se organizam e se prendem uns aos outros. A adenina se liga à uracila e a citosina com a guanina. As ligações entre os nucleotídeos são catalisadas especificamente pela enzima RNAPolimerase.

O DNA se abre e apenas uma cadeia é copiada - a cadeia 3' - 5', mas o início da abertura se dá na extremidade 5' - 3'.

A molécula de DNA não se abre por inteiro. Uma sequência de 10 nucleotídeos é separada formando uma “bolha” no DNA. Esta se desloca à medida que seus nucleotídeos são lidos. Os ribonucleotídeos rapidamente se agregam um por vez (Figura 4).

A RNAPolimerase liga-se ao promotor e este demonstra em qual região do DNA será iniciada a transcrição, ou seja, iniciará na região 5' do segmento codificador do gene. Essa mesma enzima determi-

Como há apenas quatro nucleotídeos, existe a possibilidade de se formar 64 (4³ = 64) trincas, ou cótons. O conjunto de cótons é denominado código genético.

na o local da separação das duas cadeias de DNA, expondo o primeiro nucleotídeo que será lido. Ela catalisa a ligação fosfodiéster, desliza sobre o DNA na direção 5'-3' e faz a bolha avançar.

A transcrição é finalizada quando a RNAPolimerase chega na sequência de terminação, localizada na extremidade 3' do gene. Nesse local, a enzima é liberada e também é liberado o RNA, ou transcrito primário.

Na extremidade 5', o primeiro nucleotídeo do RNA detém três fosfatos enquanto na extremidade 3', o último nucleotídeo possui o grupamento OH livre.

Síntese do Capítulo



A presença do núcleo é a principal característica das células eucarióticas, pois é nele que estão inseridas as moléculas de DNA. O núcleo é uma estrutura delimitada pelo envoltório nuclear que possui as mesmas características da membrana plasmática. Além dos cromossomos, vamos encontrar vários tipos de RNA, diversas proteínas e uma matriz nuclear de natureza ainda desconhecida. Os cromossomos são moléculas de DNA, associados a proteínas e apresentam uma área de constrição, conhecida como centrômero. Os cromossomos são classificados de acordo com a posição dos centrômeros. As células são classificadas em haploides ou diploides, de acordo com o número de cromossomos. As primeiras são denominadas de células germinativas; as outras, de células somáticas. Todas as informações genéticas estão guardadas no DNA na forma de sequência de nucleotídeos em áreas denominadas de genes. As sequências de nucleotídeos do DNA são copiadas ou transcritas para formar RNA e, posteriormente, são traduzidas para produzir as proteínas. Existem sequências de nucleotídeos funcionais (exôns) e sequências não-funcionais, conhecidas como introns. Os aminoácidos são codificados por três nucleotídeos. Esse trio é denominado de códon. A transcrição do DNA corresponde à produção de RNA com a cadeia de DNA como molde. O processo de transcrição é catalisado pela RNAPolimerase. A molécula de RNA recém-formada, denominada transcrito primário, passará por processos até ser uma molécula funcional.

4. Descreva o núcleo de uma célula eucariótica, seus componentes e sua função.
5. Classifique os tipos de cromossomos de acordo com a posição do centrômero.
6. Considerando que uma espécie de gambá (*Didelphis albiventris*) possui $2n = 22$ cromossomos, é correto afirmar que:

- a) um gameta tem dez cromossomos autossomos e dois cromossomos sexuais;
- b) um gameta tem nove cromossomos autossomos e dois cromossomos sexuais;
- c) um gameta tem dez cromossomos autossomos e um cromossoma sexual;
- d) um gameta tem vinte cromossomos autossomos e dois cromossomos sexuais;
- e) um gameta tem vinte cromossomos autossomos e um cromossomo sexual.

7. Complete as lacunas do texto com as palavras da caixa.

cromatina - DNA - carioteca - poros - núcleo cromossomos - nucléolo - genes

O _____ é uma estrutura exclusiva das células eucarióticas e é delimitado pela _____. É através dos _____ que ocorrem as trocas de substâncias entre o núcleo e o citoplasma. No núcleo, além de proteínas e _____, encontramos moléculas de RNA que estão concentrados numa região denominada de _____. Os cromossomos são caracterizados por filamentos constituídos de _____ que, durante a metáfase, se condensam e tornam-se visíveis no microscópio óptico. A molécula de DNA possui segmentos funcionais conhecidos como _____. A _____ é o conjunto de cromossomos presentes no núcleo da célula em interfase.

Leituras, filmes e sites



Sites

http://pt.wikipedia.org/wiki/N%C3%BAcleo_celular

<http://www.ufmt.br/bionet/conteudos/01.02.05/nucleo.htm>

<http://netobio.wordpress.com/2007/05/16/56/>

http://www.estudeonline.net/video_aulas.

Referências



De ROBERTIS, E.M.F. & H.I.B, José. **Bases da Biologia celular e molecular**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001.

JUNQUEIRA, Luiz Carlos & CARNEIRO, José. **Citologia Básica**. 7ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2000.

As moléculas de RNA e DNA

2.1. A molécula de RNA

2.1.1. Os transcritos primários

As primeiras moléculas de RNA formadas são chamadas de transcritos primários. Estas moléculas de RNA passam por várias modificações até serem transformadas em uma molécula funcional. Os transcritos primários possuem segmentos sem significado funcional, como os introns e os espaçadores. Os RNA recém-formados passam pelo processo de remoção destes segmentos não-funcionais.

Os transcritos primários passam por uma série de modificações para poder sair do núcleo em direção ao citoplasma. A primeira modificação é a adição de dois segmentos: o *cap* (capuz) na extremidade 5' e o segmento poli A, na extremidade 3'. Depois ocorre a retirada dos introns.

O *cap* é um nucleotídeo que tem como função evitar a degradação da extremidade 5' do RNAm pela ação de algumas enzimas. Esse segmento também é necessário para conectar o RNAm ao ribossomo no início da tradução. O segmento *poli A* é um conjunto de 250 adeninas e está localizado na extremidade 3'. O *poli A* protege a extremidade 3' do RNAm da degradação enzimática e auxilia o RNAm a sair do núcleo (Figura 1).

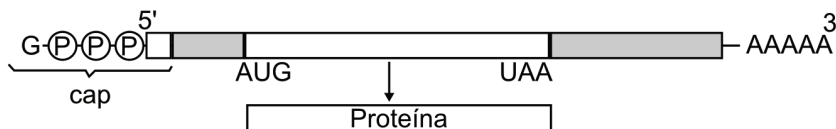


Figura 1 – O RNA e seus componentes.

A retirada de introns do transcrito primário ocorre em dois processos: 1) remoção dos introns; 2) união dos éxons.

Os transcritos primários contêm uma série de sinais que marcam onde deve ser cortada sua molécula no limite 3' dos éxons e a 'extremidade 5' dos introns (Figura2). O dinucleotídeo GU marca o início do intron, e a AG, o seu final. Os locais de corte e junções são precisos, pois pequenas alterações na sequência dos códons podem resultar na perda de informações.

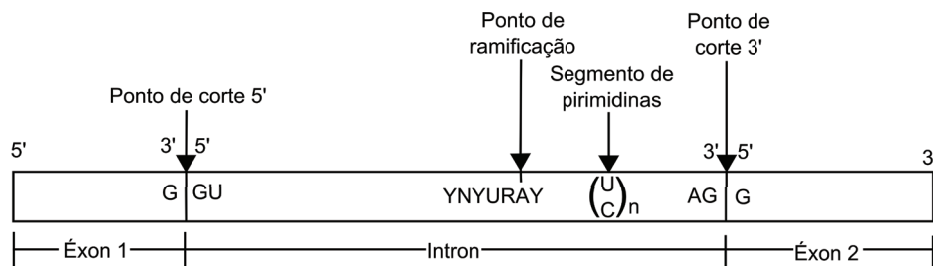


Figura 2 – Locais de corte e união dos segmentos exons e introns, presentes nos transcritos primários.

2.1.2. Tradução do RNAm

Para que ocorra a síntese de proteínas, é necessário a participação do RNAm, do RNAr (ribossomo) e do RNAt. O ribossomo é formado por duas subunidades de ribonucleoproteínas, oriundas do nucléolo. O ribossomo é montado no citoplasma. O RNAm se acopla ao ribossomo e é traduzido em uma proteína. O processo de tradução é mediado pelo RNAt. A função dos RNAt é recolher os aminoácidos do citoplasma e conduzi-los até os ribossomos na ordem especificada pelos nucleotídeos do RNAm.

A síntese começa com a união de dois aminoácidos entre si e continua com a inserção de mais aminoácidos, um de cada vez em uma extremidade da cadeia. As informações para a tradução estão conservadas no código genético, constituído por combinação de três nucleotídeos consecutivos no RNAm. São chamados de tripletes ou trincas. As diferentes trincas relacionam-se especificamente com os vinte tipos de aminoácidos que são usados na síntese das proteínas.

Cada três nucleotídeos constituem um códon. Existem 64 códons; destes, 61 servem para codificar aminoácidos, e três para marcar o término da tradução.

Quase todos os aminoácidos podem ser reconhecidos por mais de um códon. Isto porque existem mais códons (61) que tipos de aminoácidos (20). O triptofano e a metionina são os únicos aminoácidos codificados, cada um por um único códon (Figura 3).

2.1.2.1. O RNA transportador

Os RNAt são as moléculas mediadoras entre o RNAm e os aminoácidos. Os RNAt apresentam uma configuração particular, semelhante a um trevo de quatro folhas, ou melhor, quatro braços. Um dos braços contém uma área que se liga a um dos vinte aminoácidos e, no outro

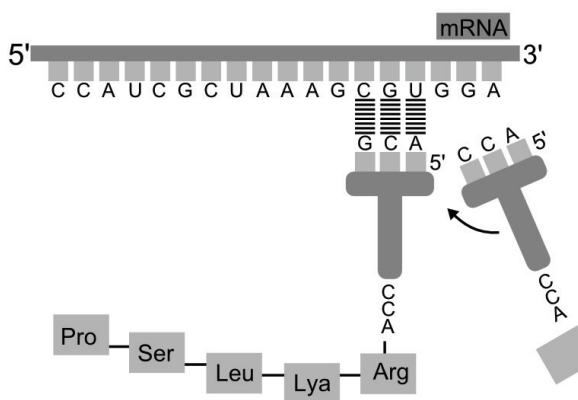


Figura 3 – Esquema demonstrando a ligação do códon do RNAm com seu anticódon no RNAt.

braço, encontramos uma combinação de três nucleotídeos, denominados de **anticódon**, complementar ao códon presente no RNAm. Existem apenas 31 RNAt, porque esses RNA são capazes de reconhecer mais de um códon.

O primeiro códon que é traduzido nos RNAm é sempre o **AUG**, cuja informação codifica o aminoácido metionina. Ele marca o local onde se inicia a tradução - **códon de iniciação** – que, além de especificar o primeiro aminoácido da proteína, determina o encaixe dos sucessivos trios de nucleotídeos e garante a síntese correta da molécula.

2.1.2.2. Os ribossomos

Ainda no núcleo, os transcritos primários do RNAm estão associados a ribonucleoproteínas heterogêneas nucleares (RNPhn). Estas proteínas se desprendem do RNAm à medida que este migra para o citoplasma.

Quando chega ao citoplasma, combinam-se com novas proteínas e com ribossomos, o que o capacita a exercer a sua função codificadora.

Os ribossomos ligam-se aos RNAm e sua primeira função é a de identificar os códons de iniciação – AUG. A partir daí, se processa a correta tradução das trincas em aminoácidos. O transporte destes é feito pelo RNAt. As ligações peptídicas ocorrem dentro dos ribossomos. Dessa forma, um aminoácido se liga a outro até formar a proteína. O processo de tradução é finalizado quando o ribossomo alcança o códon de terminação.

O ribossomo é composto por duas subunidades: uma maior (60S), e outra menor (40S), cada uma apresentando moléculas de RNA e proteínas. Na subunidade maior, as proteínas presentes formam um túnel por onde a cadeia polipeptídica passa à medida que é gerada.

A subunidade menor possui dois sítios onde os anticódons dos RNAt se acoplam. A aproximação de dois RNAt possibilita a ligação entre os dois aminoácidos conduzidos por eles.

Vários ribossomos podem estar associados a um RNAm e realizam traduções simultaneamente. Todos eles se deslocam na direção 5' - 3'. Essa associação é chamada de **polirribossomos** ou **polissomos**.

2.1.3. Etapas da síntese proteica

A síntese proteica passa por três etapas: iniciação, alongamento e terminação.

2.1.3.1. A iniciação

O início da tradução é mediado por proteínas conhecidas como **fatores de iniciação (IF)**. A proteína (IF-4) liga-se ao RNAm na extremidade 5' enquanto na subunidade menor do ribossomo, o RNAt ocupa o sítio P. Imediatamente, o ribossomo se desloca pelo RNAm buscando o códon de iniciação (AUG), que

Os números correspondem à velocidade com que as subunidades se sedimentam quando submetidas à centrifugação. A subunidade 60S migra mais rápido até o fundo do tubo por ação da força centrífuga.

O códon de iniciação corresponde ao aminoácido metionina. Esse aminoácido é removido de modo que o segundo aminoácido assume a primeira posição.

se coloca no sítio P desta subunidade. Assim o RNAt, que está no sítio P, liga o seu anticódon CAU (UAC) ao códon de iniciação (AUG) do RNAm.

Esse primeiro encaixe é importante para assegurar o correto encaixe dos códons seguintes. O segundo códon já está acomodado no sítio A, da subunidade menor.

A etapa de iniciação finaliza-se com a formação do ribossomo que se caracteriza pela combinação das duas subunidades. Destaca-se a ocupação do Sítio P com o código de iniciação AUG, e no sítio A, com o códon seguinte (Figura 4).

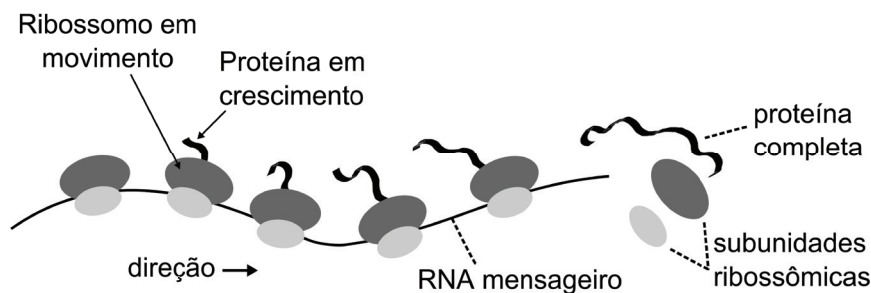


Figura 4 – Síntese proteica começando com um código de iniciação, seguindo com a formação do polirribossomo e encerrando com um código de terminação.

2.1.3.2. O alongamento

A etapa do alongamento é mediada pelo fator de alongamento (EF1) e se dá quando um RNAt, compatível com o códon do RNAm, está ocupando o sítio A do ribossomo.

O aminoácido do RNAt, que ocupa o sítio P, desacopla-se, ligando-se ao aminoácido do RNAt que ocupa o sítio A (formam um dipeptidilRNAt). O terceiro códon está fora do ribossomo, mas aguardando para ocupar um sítio. O RNAm se desloca na direção 5' (processo chamado de **translocação**).

Devido ao deslizamento do ribossomo, o códon de iniciação se retira do sítio P, que é logo ocupado pelo segundo códon que estava no sítio A. O terceiro códon, então, ocupa o sítio A que se encontra vazio. Em seguida, o terceiro RNAt entra no ribossomo e o seu anticódon se liga ao terceiro códon do RNAm. Assim, mais um aminoácido é incorporado. O processo segue códon após códon formando uma longa cadeia.

O ribossomo vai se afastando da extremidade 5' e se aproximando da extremidade 3'. Quando o ribossomo se afasta da extremidade 5' em cerca de 90 nucleotídeos, surge um novo ribossomo, que se acopla a um códon de iniciação e inicia uma nova cadeia proteica. Este processo se repete várias vezes, formando um complexo conhecido como polirribossomos (Figura 4).

2.1.3.3. Término

Esta etapa caracteriza-se pela presença do código de terminação (UAA, UGA ou UAG) do RNAm no sítio A do ribossomo. O sítio A do ribossomo é ocupado pelo fator de terminação (eRF-1), que reconhece os códons de terminação.

Com a presença do código de terminação, o sítio A não possui um RNAt com aminoácido e, por esse motivo, o polipeptídio formado se desprende do RNAt localizado no sítio P e, imediatamente, as duas subunidades do ribossomo se desconectam do RNAm (Figura 4).

2.1.4. A Condução das proteínas

Após a sua produção, as proteínas têm vários destinos. Algumas podem migrar para o núcleo, mitocôndrias, peroxissomos, retículo endoplasmático, ou podem permanecer no citoplasma. Devido à grande diversidade de tipos de proteínas e diversos destinos, tornou-se necessária a presença de sinais nas proteínas que as conduzem às organelas e estas possuem receptores específicos que reconhecem tais sinais. Nas proteínas, os sinais, curtas sequências de aminoácidos, são denominados de peptídeo sinal.

Logo após sua produção, os peptídeos podem estabelecer ligações químicas que resultarão na conformação de estrutura terciária e quaternária. As proteínas que regulam esse processo são as chaparonas.

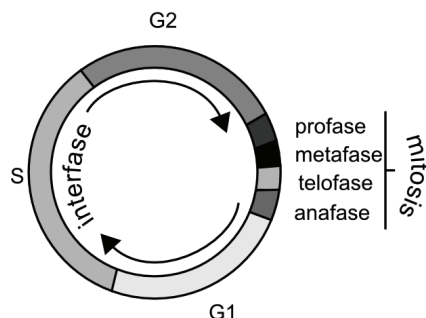
As chaparonas são proteínas que se unem às proteínas recém-formadas, impedindo-as de sofrerem dobramento prematuro e cuidando para que seja feito de modo correto e no momento oportuno. As proteínas destinadas às organelas e ao núcleo estão ligadas às chaparonas.

2.2. A molécula de DNA

2.2.1. A replicação do DNA

Ao final da divisão celular, as células-filhas herdam a mesma informação genética contida na célula-mãe. Uma molécula de DNA deve originar outra molécula de DNA idêntica para que ambas as células-filhas recebam a mesma quantidade de DNA. Esse processo de duplicação é denominado de replicação.

A célula passa por duas etapas que se alternam e são conhecidas como interfase e divisão celular. A interfase é subdividida em três períodos denominados de G1, S e G2 (Figura 5).



G1: A célula desempenha diversas atividades.

S: Ocorre a replicação do DNA.

G2: Período que se estende até o início da mitose.

Figura 5 – Ciclo celular com as fases da Interfase (G1, S e G2) e Divisão celular.

No término da divisão celular, a molécula de DNA duplicada é dividida entre as duas células-filhas. As duas cromátides-irmãs permanecem ligadas entre si por meio do centrômero. O centrômero se destaca quando a cromatina atinge o máximo de condensação. Devido à presença do centrômero, cada célula-filha recebe uma cromátide que, após a separação, é chamada de cromossomo.

O DNA progenitor é usado como molde para a síntese de duas cadeias complementares. Para que isso ocorra, as duas cadeias da dupla hélice do DNA são separadas. As cadeias recém-formadas não se separam das cadeias-molde, assim são formadas duas novas duplas hélices semelhantes à anterior.

A replicação se desenvolve no sentido 5'-3', utilizando uma cadeia preexistente de DNA como molde. Para que o processo ocorra, é necessária a presença da enzima *DNApolimerase*, adicionando os nucleotídeos, um de cada vez, na extremidade 3' da cadeia. Nenhuma região do DNA deixa de ser duplicada.

2.2.2. Uma molécula semiconservativa

Na duplicação do DNA, as duas cadeias são usadas como moldes e, uma vez separadas, não se unem novamente porque as cadeias-filhas permanecerão unidas às cadeias-mãe. As duas moléculas de DNA (duas duplas-hélice) recém-formadas são compostas por uma cadeia antiga (do DNA-progenitor) e uma cadeia recém-sintetizada. Por esse motivo, a replicação do DNA é conhecida como semiconservativa, pois contém uma cadeia preexistente e uma cadeia nova.

2.2.3. Início da replicação

O processo de replicação do DNA não ocorre de uma extremidade à outra. Na verdade, existem várias origens de replicação. Essas origens de replicação se formam ao separarem-se as cadeias em vários locais ao mesmo tempo (Figura 6).

Quando uma origem de replicação surge, há a formação de uma bolha de replicação que aumenta de tamanho à medida que as cadeias vão se separando. O segmento formado em cada uma dessas bolhas é chamado de replicon. O final da replicação é caracterizado pela união de todos os replicons. A síntese destes segmentos, assim como a sua ligação são feitas em um tempo relativamente curto.

2.2.4. A replicação do DNA é bidirecional

Em uma das cadeias do DNA, os nucleotídeos estão dispostos na direção $5' \rightarrow 3'$ enquanto, na outra cadeia, estão na direção $3' \rightarrow 5'$. Por esse motivo, as duas cadeias do DNA são chamadas de antiparalelas. Tal situação gera problemas durante a replicação.

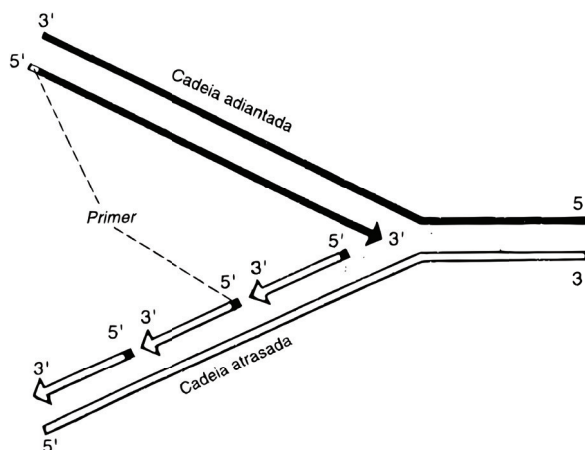


Figura 7 – Esquema de uma forquilha de replicação demonstrando a formação das duas novas cadeias de DNA: uma cadeia contínua e outra descontínua (bidirecional).

Quando a cadeia progenitora é a $3' \rightarrow 5'$, a cadeia formada cresce na direção $5' \rightarrow 3'$, e os nucleotídeos são adicionados de forma contínua na extremidade $3'$ assim que a forquilha se desloca. A outra cadeia-filha utiliza o molde que tem a direção $3' \rightarrow 5'$ e a sua formação segue em direção oposta à forquilha, sendo sintetizada de forma descontínua e gerando pequenos fragmentos (fragmentos de Okasaki) que se ligam entre si à medida que são produzidos (Figura 7).

Na replicação do DNA, as duas forquilhas avançam em direções opostas, assim como a síntese das novas cadeias ocorre em direções diferentes. Isto caracteriza o processo bidirecional da síntese de DNA. Outra característica da replicação é a sua assimetria, uma vez que uma cadeia é replicada de forma **contínua**, e a outra é replicada de forma **descontínua** (Figura 8).

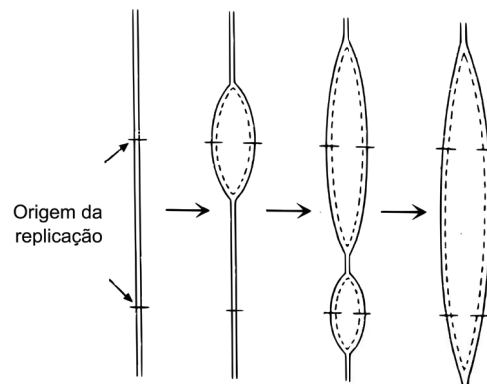


Figura 6 – Esquema mostrando duas origens de replicação no DNA.

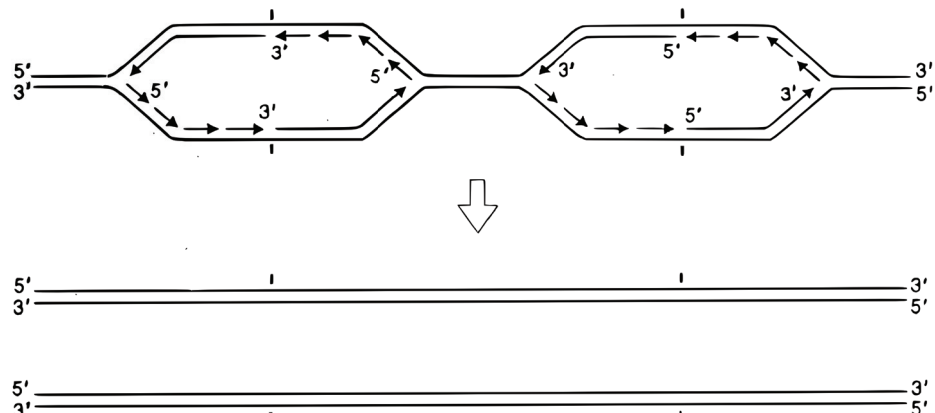


Figura 8 – Dois réplicons contíguos. Formação da cadeia contínua e da cadeia descontínua.

2.2.5. Origem da replicação

A enzima responsável pelo início da replicação é a *DNApolimerase* e, para funcionar, ela necessita de uma cadeia de DNA na direção $3' \rightarrow 5'$ como molde, pois é na extremidade $3'$ que é inserido o primeiro nucleotídeo. A extremidade que servirá como molde apresenta uma sequência de dez nucleotídeos, chamada de primer.

A *DNApolimerase* σ é a enzima responsável pela adição de novos nucleotídeos na extremidade $3'$ do primer da cadeia contínua em crescimento. Com o desenvolvimento do processo, a cadeia contínua entra em contato com a cadeia descontínua do replicon vizinho que se deslocava na direção contrária. A *DNAligase* é a responsável pela ligação entre extremidade $3'$ da primeira com a extremidade $5'$ da segunda. O primer da cadeia contínua é retirado pela ação da *nuclease*. O trecho do prime é trocado por uma sequência equivalente de DNA. Esse processo é catalisado pela *DNApolimerase* β . Novamente a *DNAligase* conecta a sequência de DNA à cadeia contínua.

A cadeia descontínua apresenta vários primers, uma vez que são formados vários fragmentos. A síntese de um fragmento é finalizada quando a extremidade encontra o primer do fragmento anterior. Os primers são retirados por meio da *nuclease reparadora*, e os fragmentos são unidos por meio da *DNAligase*.

2.2.6. A correção dos erros na replicação

Para que os nucleotídeos sejam inseridos corretamente na cadeia-filha em crescimento, é indispensável que o nucleotídeo inserido anteriormente seja o correto. Caso contrário, o crescimento da cadeia será interrompido temporariamente. Quem faz o reconhecimento desse erro é a própria *DNApolimerase*. A correção é feita pela própria enzima que retrocede até o erro e o elimina. Esse processo é conhecido como “leitura de provas”. Após a correção, a síntese de DNA prossegue.

Síntese do Capítulo



As moléculas de RNA recém-formadas são consideradas transcritos primários. Elas passam por ajustes e tornam-se moléculas funcionais. O RNAm produzido no núcleo migra para o citossol onde se associa a outras proteínas. A síntese de proteína é chamada de tradução e, para que ela ocorra, é necessária a participação do RNA transportador, RNA ribossomal e do próprio RNA mensageiro. A síntese de proteína começa com a união de dois aminoácidos entre si e continua com a inserção de mais aminoácidos. Cada aminoácido está associado a uma trinca de nucleotídeos, conhecida como códon. Quem conduz os aminoácidos para formar a proteína é o RNA transportador que possui um anticódon complementar ao códon presente no RNAmensageiro. No RNAm, existem os códons de inicialização que marcam o local onde se inicia a tradução. O primeiro códon de inicialização é o AUG que corresponde ao aminoácido metionina. Há também os códons de terminação que correspondem aos seguintes códons do RNAm (UAA, UGA ou UAG). A síntese proteica é realizada em três etapas: a iniciação, o alongamento e o término. As proteínas produzidas são conduzidas para os seus locais de destino, que podem ser as mitocôndrias, o RE, o núcleo ou, até mesmo, o citoplasma. A molécula de DNA é capaz de originar outra molécula idêntica. Esse processo é catalisado pela enzima *DNApolimerase* que abre o DNA em diversos pontos, chamados de origem de replicação. Durante a replicação do DNA, uma das cadeias é utilizada como molde e a ela são adicionados nucleotídeos complementares. A dupla fita de DNA corresponde a uma cadeia original e uma cadeia recém-formada, destacando o caráter semi-conservativo do DNA. A replicação do DNA é bidirecional, mas uma das cadeias é sintetizada de forma contínua, e a outra, de forma descontínua, gerando pequenos fragmentos (fragmentos de Okasaki). No final do processo, os fragmentos de Okasaki são unidos entre si, formando uma cadeia contínua por meio da enzima *DNAligase*. A *DNApolimerase* tem uma função que permite o reconhecimento de erros e a possibilidade de correção.

Atividades de avaliação



1. Defina os termos: replicação, transcrição e tradução do DNA e RNA.
2. Responda: Para que um transcrito primário se transforma em uma molécula funcional, o que se faz necessário?
3. O que é um polirribossomo?
4. Qual a função do código de iniciação e do código de terminação?
5. Como as proteínas recém-produzidas são conduzidas até o seu local de destino?
6. Descreva, de forma sucinta, o processo de tradução do RNA.
7. Responda:
 - a) Qual a diferença entre os introns e éxons?
 - b) Porque a molécula de DNA é semiconservativa?
 - c) O que é um replicon?
 - d) O que é um fragmento de Okasaki?
 - e) Quais são as enzimas que participam de replicação do DNA?

Leituras, filmes e sites



Sites

http://pt.wikipedia.org/wiki/N%C3%BAcleo_celular

<http://www.ufmt.br/bionet/conteudos/01.02.05/nucleo.htm>

<http://netobio.wordpress.com/2007/05/16/56/>

http://www.estudeonline.net/video_aulas.

Referências



De ROBERTIS, E.M.F. & H.I.B, José. **Bases da Biologia celular e molecular**. 3ª ed., Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001.

JUNQUEIRA, Luiz Carlos & CARNEIRO, José. **Citologia Básica**. 7ª ed., Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2000.

O ciclo celular

3.1. O ciclo celular

Uma das características dos seres vivos é a capacidade de reproduzir-se, inclusive as células. Toda a reprodução celular dá-se com a divisão celular formando duas células-filhas. Para isso, a célula-mãe duplica seu conteúdo e o divide igualmente entre as células-filhas. Esse processo assegura a produção contínua de células idênticas à célula-mãe. A dimensão da reprodução celular só é notada quando reconhecemos que um indivíduo adulto é constituído por um trilhão de células todas originadas da uma única célula, o zigoto. A divisão celular é responsável pelo crescimento do indivíduo e, mesmo após atingir a fase adulta, algumas células continuam a divisão celular para repor células envelhecidas ou perdidas. Assim, é mantido o equilíbrio.

Nos organismos unicelulares, a divisão celular é responsável em aumentar o número de indivíduos. Nos organismos multicelulares, a produção de novas células permite a divisão de trabalho. Os vários tipos de células encontrados num organismo vão apresentar diferentes níveis de divisão. Portanto, algumas células, como os neurônios, nunca se dividem enquanto as epiteliais dividem-se constantemente.

O ciclo celular é formado por duas etapas: uma etapa em que a célula se divide produzindo duas células-filhas por meio da divisão do núcleo e do citoplasma. A **divisão celular** pode ser mitose ou meiose. Na outra etapa, conhecida por **interfase**, não há alterações morfológicas na célula, ocorrendo entre duas divisões celulares sucessivas. Por muito tempo, acreditou-se que a interfase fosse uma etapa de repouso, mas observou-se que é uma fase onde ocorre uma série de processos que culmina com a duplicação do seu DNA e o aumento de tamanho. Essa etapa corresponde a 90% do ciclo celular (Figura 1).

A interfase é dividida em três estágios sucessivos: G₁, S e G₂ (Figura 1).

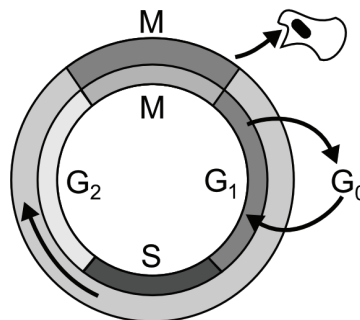


Figura 1 – Esquema do ciclo celular. I=Interfase, M=Mitose. A duração da mitose em relação às outras fases encontra-se exagerada.

Durante a fase S do ciclo celular, o DNA é replicado apenas uma vez, pois se houvesse mais de uma replicação, as células-filhas teriam um número maior de cromossomos. O controle da replicação é feito por um complexo proteico (ORC= *origin recognition complex*). As alterações nesse controle são responsáveis pelo surgimento de núcleos poliploides.

A etapa G1(G de *gap* ou intervalo) corresponde ao tempo decorrido entre o final da mitose e o início da síntese. Nesse estágio, há uma intensa síntese de RNA e proteínas, e o citoplasma é refeito, resultando no aumento do citoplasma da célula-filha recém- formada. A cromatina ainda está esticada e não é possível visualizá-la no microscópio óptico. Essa fase é a que tem maior variação de tempo, podendo ocorrer em dias, meses ou anos.

Nas células que se reproduzem rapidamente (epiteliais), o G1 é curto, e nas que raramente se dividem (musculares) ou que nunca fazem isso (nervosas), o G1 é interrompido, estacionando num ponto específico conhecido como G0.

No estágio S, acontece a duplicação do DNA. É um período de síntese de DNA, em que uma molécula-filha é uma cópia idêntica à original. Nessa etapa, a célula dobra a quantidade de DNA.

A fase G2 corresponde ao período entre o final da síntese e o início da mitose. É o segundo período de crescimento, pois há uma pequena síntese de RNA e proteínas importantes para mitose. Após esses estágios, a célula encontra-se apta a realizar mitose, que é fase final do ciclo celular. Durante a fase G2, a célula contém o dobro (4C) da quantidade de DNA encontrada na célula diploide inicial (2C). Após a fase G2, há uma pausa que permite à célula verificar se o DNA completou a sua replicação e se já realizou o reparo. Nessa fase, também ocorre a duplicação dos componentes citoplasmáticos.

3.2. O controle do ciclo celular

O controle do ciclo celular nos organismos multicelulares é realizado por proteínas específicas conhecidas como **fatores de crescimento**. Esses fatores de crescimento regulam a proliferação celular por meio da inibição da transcrição gênica. Cerca de 50 proteínas atuam como fatores de crescimento e, para cada fator, há um receptor específico. A propagação de células depende de uma combinação específica de fatores de crescimento. Além dessa função, eles estão envolvidos com a sobrevivência, a diferenciação e a migração celular. Todas as fases do ciclo celular são coordenadas de um modo muito preciso para determinar o início e o término de cada fase. Os fatores de crescimento controlam a passagem da fase G1 para a fase S. Sem os fatores de crescimento, a interfase seria interrompida no ponto de restrição encontrado no final da fase G1 e a célula tornar-se-ia quiescente, uma vez que entra na fase G0. Uma célula na etapa G0 retoma rapidamente a atividade proliferativa quando induzida pelos fatores de crescimento.

Os fatores de crescimento ligam-se a receptores específicos nas células-alvo. Essa ligação induz à produção de moléculas de sinalização que leva à produção de *ciclins* e *quinases dependentes de ciclina*. As *ciclins*

alternam os períodos de síntese e períodos de degradação, enquanto as *quinases* dependentes de *ciclina* ativam moléculas responsáveis pela divisão celular. A fase M ocorre quando a *ciclina* ativa a *quinase* CdC2. As *ciclinas* e *quinase* CdC2 começam a ser produzidas durante a G2. Quando a *ciclina* atinge sua concentração ideal, ela liga-se à CdC2 e, juntas, formam um complexo MPF (*Mphase promoting factor*) e inicia-se a divisão celular. O início da anáfase deve estar relacionado à dissociação da MPF, mas isso só acontece se todas as fibras do fuso mitótico estiverem ligadas aos centrômeros, para assegurar a segregação correta dos cromossomos. Se algumas fibras não tiverem ligadas aos cinetócoros, não haverá dissociação da MPF e, como consequência, não haverá anáfase.

3.3. A divisão celular

3.3.1. Mitose

A divisão mitótica é caracterizada pela duplicação dos componentes celulares, acompanhada da divisão destes componentes de forma igual entre as duas células-filhas. Há um aumento no número de algumas organelas e aumento em volume de outras. A mitose ocorre em todas as células do corpo (somáticas) e, através dela, uma célula se divide em duas, geneticamente idêntica à célula inicial (Figura 2). Esse tipo de divisão celular é importante para a recuperação de tecidos e crescimento dos organismos multicelulares. Nos unicelulares, é responsável pela reprodução assexuada.

A mitose se inicia no final da interfase e termina ao começar nova interfase. A mitose é dividida de forma didática em cinco etapas: prófase, metáfase, anáfase e telófase. Nessas etapas ocorrem grandes modificações no núcleo e no citoplasma. O citoplasma começa a se dividir, a partir da anáfase e termina juntamente com a telófase.

O processo de divisão celular depende de alguns componentes que constituem o aparelho mitótico: fibras de fusos, centríolos, fibras de áster e os cromossomos. As fibras de áster é um grupo de microtúbulos que converge em direção ao centríolo. Já as fibras do fuso são constituídas pelos microtúbulos polares, que se originam nos polos; pelos microtúbulos cinetocóricos, que se originam do cinetócoro, e pelos microtúbulos livres.

Os cromossomos, após a sua duplicação, são formados por duas estruturas simétricas, as cromátides, que estão ligadas entre si através do centrômero. O centrômero é uma região que se liga ao fuso mitótico.

As fibras cinetocóricas do fuso mitótico se conectam com os cinetócoros presentes no centrômero do cromossomo (Figura 3).

Muitos fatores agem como inibidores do ciclo celular. Esse controle inibitório pode ser feito pela danificação do DNA, por meio de fatores ambientais desfavoráveis ou induzidos pelos contatos celulares.

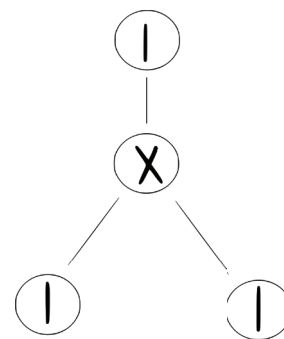


Figura 2 – Divisão mitótica caracterizada pela formação de duas células-filhas iguais à célula parental.

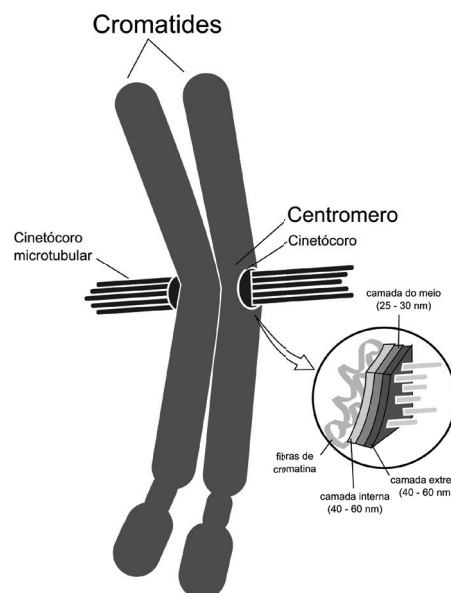


Figura 3 – As fibras cinetocóricas conectadas aos cromossomos pelo centrômero.

3.3.1.2. As etapas da mitose

Prófase

Na prófase, os cromossomos são filamentos finos. A cromatina começa a se enovelar e, conseqüentemente, os cromossomos vão se condensando. Cada cromossomo é formado por duas moléculas de DNA, as cromátides. Elas vão ficando grossas e curtas. Duas placas proteicas, os cinetócoros, se ligam ao centrômero, tornando-o visível.

Os cromossomos se organizam próximos ao envoltório nuclear que, no decorrer da etapa, se desintegra juntamente com o citoesqueleto e, por isso, a célula tende a tornar-se esférica, além de perder os contatos com as células vizinhas ou com a matriz extracelular. O nucléolo vai diminuindo até desaparecer. O retículo endoplasmático e o complexo golgiense se quebram em vesículas pequenas. Há a formação do fuso mitótico, que são microtúbulos que partem dos centrossomos e, nesse ponto, eles se irradiam em todas as direções. O fuso mitótico se distancia mutuamente ao migrar para os polos opostos.

Prometáfase

A prometáfase é uma etapa muito curta que se caracteriza pelo desaparecimento do envoltório nuclear, deixando os cromossomos desorganizados na região do núcleo. Os centrossomos se posicionam nos polos das células e algumas fibras de fuso, que se conectam aos cinetócoros dos cromossomos, são as fibras cinetocóricas. As fibras polares se prolongam além do plano equatorial da célula e suas extremidades se entrecruzam com as fibras provenientes do polo oposto. As fibras âster são mais curtas que as demais fibras e irradiam em todas as direções e suas extremidades ficam aparentemente livres.

Metáfase

Na metáfase, os cromossomos atingem o máximo de condensação e se dispõem na região equatorial da célula. Cada placa cinetocórica de cada centrômero fica orientada para os polos opostos da célula.

Anáfase

Na anáfase, os cromossomos são divididos de forma simultânea por meio dos centrômeros. As cromátides são separadas e migram para os polos da célula, conduzidas pelas fibras cinetocóricas. Devido ao arraste, os cromossomos adotam a forma de um V e o centrômero fica localizado no ângulo. À medida

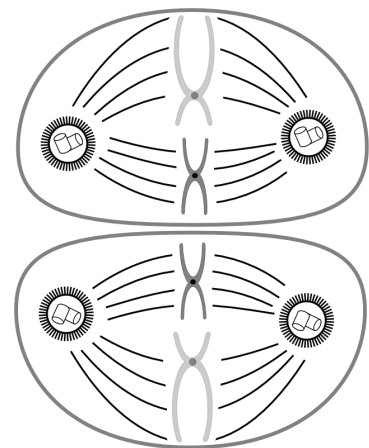


Figura 5 – Metáfase – Máxima condensação dos cromossomos.

que as fibras cinetocóricas vão se encurtando, as cromátides são conduzidas aos polos da célula. As fibras polares vão se alongando devido ao distanciamento dos polos e, por esse motivo, a célula adquire uma forma ovoide (Figura 7).

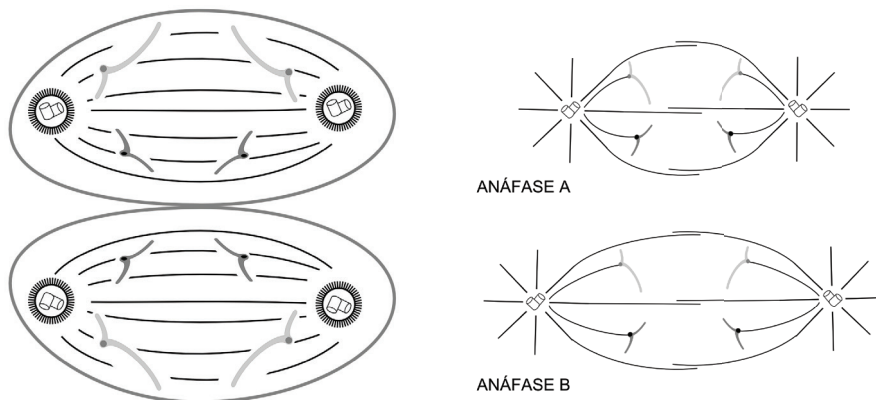


Figura 6 – Anáfase – Cromossomos divididos ao meio.

Figura 7 – Destaque das fibras do fuso nas fases de Anáfase A e anáfase B.

Telófase

O início da telófase caracteriza-se pela chegada das cromátides nos polos e pelo desaparecimento das fibras cinetocóricas. Depois os cromossomos começam a se descondensar. Quando ele se desespiralizam e voltam a ser filamentos, são cercados por partes do RE que vão se unindo até restaurar o envoltório nuclear, delimitando o núcleo. O nucléolo reaparece.

Os microtúbulos do fuso tendem a se despolimerizar e desaparecer, mas as fibras polares persistem na zona equatorial. Estas fibras do fuso mitótico, juntamente com outras estruturas, formam uma estrutura chamada de corpo intermediário (Figura 9).

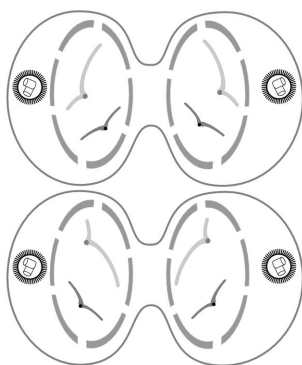


Figura 8 – Telófase – Os cromossomos em cada polo das células começam a se descondensar.

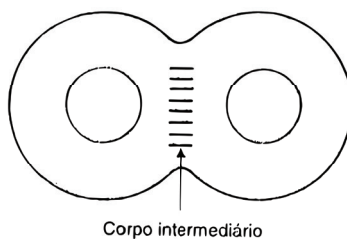


Figura 9 – Aparecimento de um corpo intermediário durante a citocinese.

3.3.1.3. A citocinese

A divisão do citoplasma se inicia na anáfase. Surge um sulco na região equatorial do citoplasma, que se aprofunda até alcançar o corpo intermediário. As fibras de áster, assim como as fibras polares, desaparecem. O citoesqueleto reaparece, garantindo às células-filhas a forma original da célula-mãe. Além disso, o citoesqueleto é responsável pela conexão entre célula-célula e célula-matriz extracelular. O citoesqueleto é responsável também pela distribuição dos componentes citoplasmáticos (RE, complexo golgiense, mitocôndrias, entre outros) nas células-filhas, de modo semelhante ao encontrado na célula-mãe.

3.3.1.4. O Fuso mitótico

Dentre os processos que ocorrem no citoplasma, destacamos a formação do fuso mitótico que surge no início da divisão celular e desaparece no final do processo. O fuso é constituído por microtúbulos que controlam a posição dos cromossomos e sua distribuição entre as células-filhas. Os microtúbulos se formam a partir de um par de centrosomos. Estes se duplicam durante a interfase, principalmente durante a fase G1 ou S. Os dois centríolos que compõem o centrosoma se separam e, adjacente a

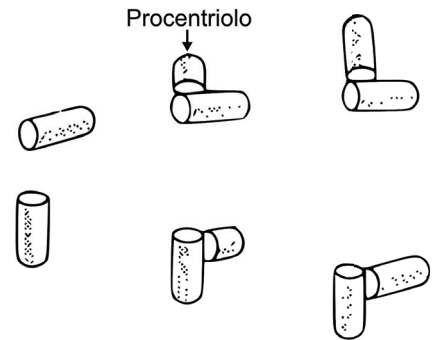


Figura 1 – Duplicação dos centríolos.

cada um centríolo, surge um pro-centríolo que se dispõe em ângulo reto, em relação ao centríolo preexistente. Os pro-centríolos crescem nas fases S e G2 (Figura 10).

Durante a interfase, encontramos microtúbulos livres no citoplasma. Quando se inicia a prófase, os microtúbulos interfásicos se despolimerizam e surgem os fusos mitóticos. Durante a mitose, os únicos microtúbulos estão constituindo o fuso. Na anáfase, os microtúbulos do fuso começam a despolimerizar-se. As fibras de áster e as polares só se despolimerizam durante a telófase. Os primeiros microtúbulos interfásicos reaparecem antes de finalizar a citocinese.

Os microtúbulos geram forças mecânicas de compressão e tração sobre os cinetócoros e, em consequência, sobre os cromossomos. Essas forças resultam do alongamento e encurtamento dos microtúbulos. Durante a prófase, os centrosomos migram para os polos das células devido ao alongamento dos microtúbulos. Na prometáfase, após a desintegração do envoltório nuclear, os microtúbulos invadem o núcleo e as fibras cinetocóricas se unem aos cinetócoros, conduzindo os cromossomos ao equador da célula.

Durante a mitose não há síntese de RNA, uma vez que o DNA está muito compactado e não pode ser transcrito. A síntese proteica é reduzida drasticamente. A síntese de RNA e proteína reinicia-se na telófase.

Todo o movimento das fibras conduzindo os cromossomos deve-se ao encurtamento ou alongamento simultâneo dos microtúbulos dos polos opostos. A posição dos cromossomos no equador da célula, na metáfase, deve-se ao equilíbrio de forças exercidas pelos microtúbulos de ambos os polos. Durante a anáfase, o equilíbrio é quebrado e os centrômeros são rompidos, separando as cromátides-filhas e a condução dos cromossomos para os polos.

A divisão do citoplasma é conhecida como citocinese. Cada célula-filha recebe partes iguais de citoplasma.

3.3.1.5. Importância da mitose

- Responsável em disseminar com fidelidade o código genético;
- Ceder às células-filhas o número de cromossomos idênticos ao da célula-mãe;
- Repassar a mesma informação genética da célula-mãe para as células-filhas, garantindo a estabilidade genética de geração em geração;
- Proporcionar o crescimento e o reparo de tecidos lesionados nos seres pluricelulares.

3.4. Meiose

A meiose é um processo de divisão celular caracterizado pela redução do número de cromossomos à metade. É por meio deste processo que são formados os gametas (nos animais) e os esporos (nas plantas).

Os gametas possuem um único conjunto de cromossomos (células haploides). Quando dois desses gametas se unem por meio da fecundação, a condição diploide é restaurada. A nova célula, o zigoto, passará por várias divisões mitóticas até formar um novo indivíduo. A meiose é um tipo de divisão celular particular dos organismos que se reproduzem sexuadamente. A variabilidade das espécies de reprodução sexuada deve-se à recombinação gênica, efetuada durante a meiose. Cada célula diploide é capaz de formar quatro células haploides geneticamente diferentes entre si.

A mitose produz células com o mesmo número de cromossomos da célula parental ($2N$). Se houvesse a união dessas células, como ocorre com os gametas (N), teríamos como resultado células com o dobro de cromossomos e haveria sempre uma progressão. A meiose surgiu para impedir essa progressão, um macaco, p. ex., tem 48 cromossomos. Caso houvesse a união de duas células, seria gerada uma célula (zigoto) com 96 cromossomos.

Para reduzir o número de cromossomos à metade, a célula sofre duas divisões. A meiose I é a mais complexa, sendo conhecida como divisão de redução, pois as células-filhas formadas têm metade do número original de

Nos vegetais, a meiose relaciona-se com a porção assexuada de seu ciclo reprodutivo. E tem como objetivo produzir esporos.

cromossomos. Os cromossomos se posicionam aos pares e trocam material genético (entrecruzamento ou *crossing-over*). As duas células-filhas resultantes passam por outra divisão meiótica (meiose II), resultando em quatro células-filhas. As etapas da meiose são as mesmas da mitose: prófase, metáfase, anáfase e telófase. A meiose é precedida por um período de interfase (G1, S, G2), com eventos semelhantes aos observados na mitose.

3.4.1. Etapas da meiose

A meiose apresenta duas divisões celulares. A meiose I e a meiose II.



LEPTÓTEN0

Figura 11 – Organização celular durante o leptóteno.

3.4.1.1. Meiose I

Prófase I

A prófase I é a etapa mais longa e complexa. Ela está dividida em: leptóteno, zigóteno, paquíteno, diplóteno e diacinese.

Leptóteno

No leptóteno, o núcleo aumenta de tamanho, e os cromossomos ficam mais visíveis (Figura 11). Mesmo duplicados, os cromossomos aparentam ter apenas um único filamento. As extremidades dos cromossomos fixam-se ao envoltório nuclear.

Paquíteno

No paquíteno, os cromossomos se tornam mais espiralados e termina o pareamento dos homólogos. Ocorre troca de segmentos entre os homólogos, resultando na recombinação

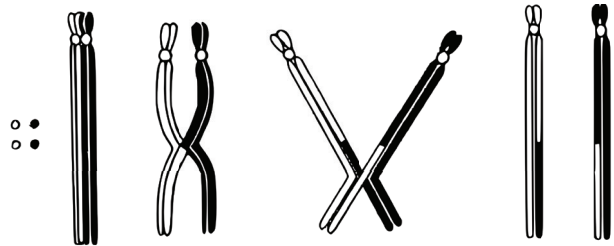


Figura 13 – Formação do bivalente com intercâmbio de segmentos durante o paquíteno.

genética (*crossing-over*). Para que a recombinação ocorra, é necessária a quebra de uma parte das cromátides. Segue-se a troca de segmentos e posterior fusão dos segmentos intercambiados (Figura 13). Nessa fase, cada par de cromossomos é conhecido como bivalente ou como tétrade, uma vez que cada par possui 4 cromátides. Em cada cromossomo homólogo, as duas cromátides-irmãs estão conectadas entre si por meio do centrômero, de modo que cada tétrade possui dois centrômeros. A troca de segmentos ocorre entre as cromátides não irmãs de um par de cromossomos homólogos.

Diplóteno

Os cromossomos homólogos começam a se afastar no diplóteno, mas as cromátides homólogas permanecem conectadas nos pontos onde houve a recombinação, ou quiasmas. O complexo sinapetonêmico se desintegra (Figura 14).

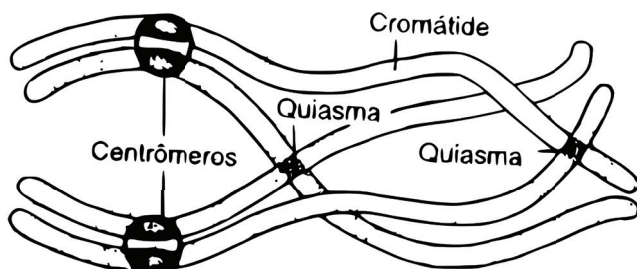


Figura 14 – Representação de dois quiasmas formados no bivalente

Diacinese

Na diacinese, a condensação dos cromossomos é mais acentuada. Os cromossomos se dispersam homoganeamente por todo o núcleo. O nucléolo desaparece.

Prometáfase I

Na prometáfase I, os cromossomos estão condensados ao máximo. O envoltório nuclear se desfaz e os microtúbulos do fuso conectam-se aos cinetócoros.

Metáfase I

Na metáfase I, os cromossomos pareados se alinham na região equatorial da célula com seus centrômeros orientados para polos diferentes. Os bivalentes apresentam seus quiasmas. Os quiasmas podem ser terminais (localizam-se nas extremidades dos homólogos) observados em cromossomos curtos, e os quiasmas intersticiais (aparecem em vários pontos ao longo dos eixos cromossômicos) estão presentes nos cromossomos longos.

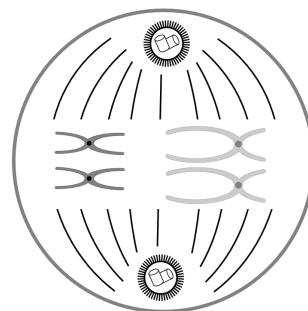


Figura 15 – Metáfase I - cromossomos homólogos pareados no equador da célula.

Anáfase I

Na anáfase I, os homólogos de cada bivalente (cada um constituído por duas cromátides-irmãs) se separam e se movem em direções opostas devido à tração sofrida pelos cinetócoros. Os cromossomos homólogos são distribuídos de forma independente uns dos outros. Isso implica que os cromossomos paternos e maternos são separados ao acaso.

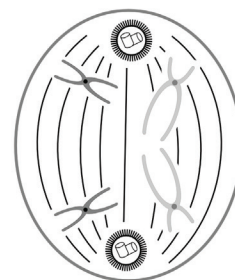


Figura 16 – Anáfase I - Separação dos cromossomos homólogos.

No homem, a primeira divisão meiótica produz duas células-filhas de tamanhos semelhantes – espermátócitos. Na mulher, a divisão do citoplasma é muito irregular, resultando em duas células de tamanhos diferentes: o ovócito II e um corpúsculo polar.

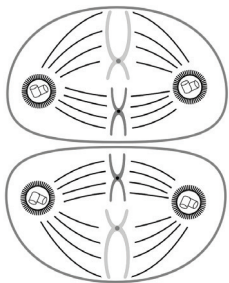


Figura 19: Metáfase II - cromossomos no plano equatorial da célula

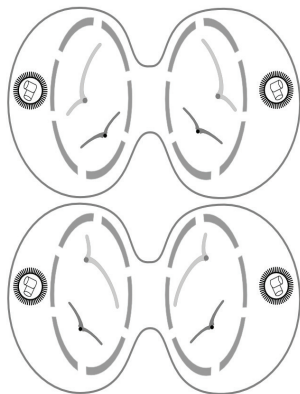


Figura 21: Telófase II – Cada polo recebe uma cromátide-irmã e, logo após, a membrana nuclear é refeita.

Telófase I

A telófase I caracteriza-se pela divisão do citoplasma. Por não haver fase S, as duas células-filhas passam o período de interfase quando ocorre a replicação do DNA. As células filhas, derivadas da primeira divisão meiótica, possuem metade do número de cromossomos, porém, cada um deles é composto por duas cromátides-irmãs. E, nesse caso, em relação ao conteúdo de DNA, as células são diploides. Os dois grupos haploides de cromossomos se agrupam nos polos opostos das células.

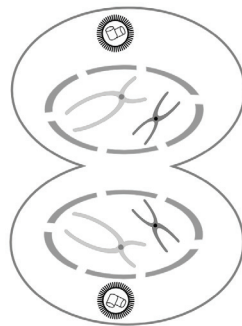


Figura 17 – Telófase I - Divisão do citoplasma

3.4.1.2 Meiose II

As células que passaram pela telófase I realizam a meiose II diretamente, sem passar pela etapa de interfase. A segunda divisão meiótica se parece com a divisão mitótica, exceto pela distribuição de uma só cópia de cada cromossomo para cada célula-filha, e não da distribuição de dois homólogos.

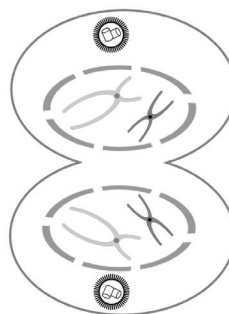


Figura 18 – Prófase II - formação das fibras do fuso e eliminação da membrana nuclear.

Prófase II

A prófase II é muito curta, porque aos cromossomos ainda estão bem condensados. Há a formação das fibras do fuso e a membrana nuclear é eliminada. As células entram logo na metáfase II

Metáfase II

Na metáfase II, os cromossomos se posicionam no plano equatorial da célula, e as fibras do fuso conectam-se aos cinetócoros. Os 23 cromossomos possuem as duas cromátides-irmãs unidas pelo centrômero.

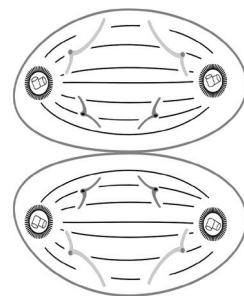


Figura 20 – Anáfase II - Divisão dos centrômeros separando as cromátides-irmãs

Anáfase II

Na anáfase, os centrômeros são divididos ao meio devido à força exercida pelas fibras do fuso. As cromátides-irmãs de cada cromossomo são separadas e conduzidas para os polos opostos da célula.

Telófase II

Na telófase, cada polo da célula recebe as cromátides isoladas que passam a chamar-se de cromossomos. Cada polo receberá um conjunto haploide de cromossomos. Além disso, a membrana nuclear reaparece, delimitando o núcleo. Há também a divisão do citoplasma.

3.5. Diferença entre mitose e meiose

Os processos de divisão celular possuem algumas semelhanças, como a formação de fusos, as etapas da divisão, as alterações no núcleo e no citoplasma. Existem, também, entre esses processos diferenças significativas, que são:

- A mitose ocorre nas células somáticas, e a meiose, nas células sexuais;
- Na mitose, acontece apenas uma divisão celular após a replicação do DNA. Como resultado, as células-filhas possuem a mesma quantidade de DNA que a célula-mãe (diploides). Na meiose, após cada replicação, ocorrem duas divisões e quatro células haplóides são produzidas;
- Na mitose, a síntese de DNA acontece na fase S, que é seguida pela fase G2; na meiose, a fase S é longa, e a G2 é curta ou inexistente.

Na mitose, cada cromossomo migra para o equador da célula de forma independente. Na meiose – na primeira divisão –, os cromossomos homólogos se organizam aos pares e migram juntos para o equador da célula. Nesse momento, as moléculas de DNA se recombina, trocando partes de suas moléculas (se recombina).

A divisão mitótica é considerada rápida (até 1h) enquanto a divisão meiótica é muito longa (24 dias no homem e anos na mulher).

Na mitose, o material genético não sofre variações genéticas. Na meiose, o material genético é embaralhado entre cromossomos homólogos, resultando numa grande variabilidade genética.

3.6. A importância da meiose

A meiose é responsável pela variabilidade genética encontrada entre os indivíduos de uma espécie, porque promove a segregação dos cromossomos homólogos e admite a recombinação genética por meio de troca de segmentos entre cromossomos homólogos, através de quiasmas. Estes eventos asseguram a distribuição ao acaso dos genes procedentes dos progenitores através dos gametas.

O processo de segregação pode apresentar erros, como a não separação dos cromossomos homólogos, o que caracteriza a não disjunção – e, nesse caso, ambos migram para uma das células-filhas. Como consequência, um dos gametas receberá um cromossomo a mais (24), e o outro ficará com apenas 22 cromossomos. Se ambos os gametas forem fecundados, o zigoto apresentará um número anormal de cromossomos (47 e 45 cromossomos, respectivamente). Tal situação caracteriza uma aberração cromossômica numérica. Um dos exemplos é a síndrome de Down, cujos portadores possuem nas células três cromossomos 21 (47 cromossomos).

Síntese do Capítulo



O ciclo celular é assinalado por uma fase em que a célula se divide formando duas células-filhas, e uma fase em que o material genético se duplica, ocorrendo intensa síntese de proteínas. Essa fase é conhecida como interfase. A interfase é subdividida em três fases: G1, em que há produção de RNA e proteínas; S, em que há duplicação do DNA, e a fase G2, que corresponde ao final da síntese e o início da mitose. Todo o ciclo celular é controlado por proteínas específicas conhecidas como fatores de crescimento. A mitose é caracterizada pela duplicação dos componentes celulares, seguida da distribuição igualitária deles entre as duas células-filhas. A mitose é dividida de forma didática em cinco etapas: prófase, metáfase, anáfase e telófase. Nessas fases ocorrem grandes modificações no núcleo e no citoplasma. O processo de divisão celular depende de alguns componentes que constituem o aparelho mitótico, as fibras de fusos, os centríolos, as fibras de áster e os cromossomos. Após a divisão do material genético, ocorre a divisão do citoplasma, que se inicia durante a anáfase. Surge um sulco na região equatorial do citoplasma, que se aprofunda até alcançar o corpo intermediário. Nessa fase reaparece o citoesqueleto. A meiose é um processo de divisão celular que reduz o número de cromossomos à metade. É por meio deste processo que são formados os gametas (nos animais) e os esporos (nas plantas). Os gametas possuem um único conjunto de cromossomos (células haploides). Após a união de dois gametas (fecundação), a condição diploide é restaurada. A divisão meiótica é caracterizada por duas divisões: A meiose I, conhecida como divisão de redução, pois as células-filhas formadas têm metade do número original de cromossomos. Na meiose I, os cromossomos homólogos trocam material genético (entrecruzamento ou crossing-over), e os cromossomos homólogos são separados. Logo após a meiose I, segue-se a meiose II, que se assemelha à divisão mitótica.

Atividades de avaliação



1. Relacione as colunas:

- a) interfase () Etapa em que ocorre a duplicação do DNA.
- b) período S () Etapa compreendida entre a final da duplicação do DNA e o início da divisão celular.
- c) ciclo celular () Fase em que a célula não está se dividindo.
- d) período G2 () Período que se inicia com uma célula que surge por divisão e se encerra com a divisão dessa célula, formando duas novas células.

2. Leia as assertivas a seguir:

- I. Telófase é a etapa da divisão celular na qual os núcleos se reorganizam.
- II. Metáfase é a etapa em que os cromossomos estão sendo puxados para os polos da célula.
- III. Na prófase, os cromossomos atingem o máximo de sua condensação.
- IV. Citocinese é o processo que ocorre após a divisão do núcleo, dividindo a célula em duas.

Assinale o que for correto:

- a) I e II estão corretas.
 - b) III e IV estão corretas
 - c) II e III estão corretas
 - d) I e IV estão corretas
- ### 3. Um geneticista, analisando células somáticas de uma cobra (*Bothropus jararaca*) com $2n = 36$, observa núcleos que se encontram na fase G2 da interfase. Quantas moléculas de DNA estão presentes nesses núcleos?
- a) 36
 - b) 13
 - c) 72
 - d) 2
 - e) 7
- ### 4. Considerando a divisão celular por meiose, qual é a FRASE INCORRETA?
- a) Os cromossomos homólogos migram aos pares para o equador da célula e, nesse momento, ocorre a troca de material genético por meio da formação de quiasmas.

- b) A meiose é responsável por reduzir à metade o número de cromossomos da célula, para isso são realizadas duas divisões: a meiose I e a meiose II.
- c) A meiose é um processo importante para a formação de gametas.
- d) Na anáfase I, ocorre a separação das cromátides-irmãs dos cromossomos homólogos.
- e) A divisão meiótica é muito longa podendo demorar anos para ser finalizada

5. Com relação a meiose responda:

- a) Qual é a diferença entre a metáfase I e a metáfase II?
- b) Qual é a relevância do crossing-over para a divisão meiótica?
- c) Quais as diferenças entre a meiose II e a mitose?

6. Caracterize, de forma sucinta, as etapas da prófase I.

7. Considerando o ciclo celular, responda V ou F, justificando as respostas falsas:

- () A interfase é uma etapa de repouso, já que a célula não apresenta alterações morfológicas.
- () A fase G0 é uma fase específica do ciclo de células que não se divide ou o faz raramente, como acontece com as células nervosas e as células musculares, respectivamente.
- () A divisão celular depende de algumas estruturas, como as fibras de fusos, os centríolos e as fibras de áster, que auxiliam no posicionamento correto dos cromossomos no equador da célula e na distribuição entre as células-filhas.
- () Uma das funções da meiose é ceder às células-filhas o número de cromossomos idêntico ao da célula-mãe e reparar os tecidos lesionados.
- () A meiose está diretamente relacionada à reprodução sexuada dos animais e dos vegetais, produzindo células reprodutivas: gametas e esporos, respectivamente.

Leituras, filmes e sites



<http://netobio.wordpress.com/2007/05/16/56/>

<http://www.estacaoescola.com.br/materias/biologia/animacoes/mitose>

Referências



De ROBERTIS, E.M.F. & H.I.B, José. **Bases da Biologia celular e molecular**. 3ª ed., Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001.

JUNQUEIRA, Luiz Carlos & CARNEIRO, José. **Citologia Básica**. 7ª ed., Rio de Janeiro: Guanabara

Sobre os autoras

Vaneicia dos Santos Gomes: Bióloga, professora e pesquisadora. Mestre em Biologia Vegetal pela Universidade Federal de Pernambuco. Tem experiência na área de Botânica, com ênfase em Sistemática Vegetal e Biogeografia, atuando principalmente nos seguintes temas: Distribuição Geográfica de fanerógamas, Composição e estrutura de florestas (ombrófila e decídua). Desenvolve projetos com Florística no Semi-árido com interesse em afloramentos rochosos (Inselbergs) do município de Quixadá, no Ceará. Atualmente participa de projetos com calibração palinológica em áreas em processo de desertificação no semiárido cearense.

Andrea Pereira Silveira: Licenciada Plena em Pedagogia (2006), Especialista em Tradução e Interpretação em LIBRAS/ Língua Portuguesa (2008) e Mestre em Educação (2011) pela Universidade do Estado do Pará (UEPA). Atualmente é Professora Assistente Nível I da Universidade Federal do Pará (UFPA) e doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Educação da UFPA. Líder do Grupo de Estudos e Pesquisas em Educação de Surdos (GE-PESUR), no qual coordena a pesquisa intitulada Representações Sociais sobre o ensino-aprendizagem de Libras: interface com a Formação Inicial de Professores. Pesquisadora do Grupo de Estudos e Pesquisa em Juventude, Representações Sociais e Educação - GEPEJURSE (UFPA), do Observatório Nacional de Educação Especial - ONEESP (UFSCAR) e integrante da Rede de Educação Inclusiva na Amazônia Paraense (NEP/UEPA), vinculada à linha de pesquisa Educação Inclusiva e Diversidade. Tem experiência na área de Educação no Ensino Fundamental e Superior, atuando com ênfase nos seguintes temas: Libras, Educação Bilíngue, Educação de Surdos, Educação Inclusiva e Representações Sociais em abordagem processual.



A não ser que indicado ao contrário a obra **Biologia Geral**, disponível em: <http://educapes.capes.gov.br>, está licenciada com uma licença **Creative Commons Atribuição-Compartilha Igual 4.0 Internacional (CC BY-SA 4.0)**. Mais informações em: http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.pt_BR. Qualquer parte ou a totalidade do conteúdo desta publicação pode ser reproduzida ou compartilhada. Obra sem fins lucrativos e com distribuição gratuita. O conteúdo do livro publicado é de inteira responsabilidade de seus autores, não representando a posição oficial da EdUECE.



Química

Fiel a sua missão de interiorizar o ensino superior no estado Ceará, a UECE, como uma instituição que participa do Sistema Universidade Aberta do Brasil, vem ampliando a oferta de cursos de graduação e pós-graduação na modalidade de educação a distância, e gerando experiências e possibilidades inovadoras com uso das novas plataformas tecnológicas decorrentes da popularização da internet, funcionamento do cinturão digital e massificação dos computadores pessoais.

Comprometida com a formação de professores em todos os níveis e a qualificação dos servidores públicos para bem servir ao Estado, os cursos da UAB/UECE atendem aos padrões de qualidade estabelecidos pelos normativos legais do Governo Federal e se articulam com as demandas de desenvolvimento das regiões do Ceará.



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ

