

ORGANELAS ENERGENÉTICAS: MITOCÔNDRIAS E CLOROPLASTOS

VERA LÚCIA CORRÊA FEITOSA

META

Fazer uma descrição da organização ultraestrutural e composição química das mitocôndrias e cloroplastos, bem como das suas funções e apresentar os processos energéticos com os quais se relacionam.

OBJETIVOS

Ao final desta aula, o aluno deverá:

descrever a ultra-estrutura dessas organelas e em quais tipos celulares pode-se encontrá-las;

reconhecer a importância das mitocôndrias no processo de obtenção de energia e citar as etapas desse processo pelas quais elas são responsáveis;

exemplificar uma consequência dos erros genéticos no DNA mitocondrial;

citar outras funções das mitocôndrias, além da obtenção de energia;

descrever a ultraestrutura dos cloroplastos e composição química;

apontar semelhanças e diferenças entre as mitocôndrias e cloroplastos;

reconhecer a importância dos cloroplastos no processo de produção de energia e citar as etapas desse processo.

PRÉ-REQUISITOS

Para compreensão deste assunto o aluno deverá rever a bioquímica de proteínas, lipídios e carboidratos, com suas respectivas funções.



Esquema mostrando as mitocôndrias, um dos componentes de uma célula animal comum. (Fonte: <http://pt.wikipedia.org>)

INTRODUÇÃO

Queridos alunos, vocês já ouviram falar que “na natureza nada se perde, nada se cria, tudo se transforma.”?

Pois bem, através dessa aula vocês irão entender como essa verdade se aplica à atividade dos cloroplastos, na fotossíntese e à atuação das mitocôndrias na respiração celular, fechando um ciclo na natureza em que a energia obtida do Sol se transforma na energia a qual os seres vivos obtêm dos alimentos.

Você têm ideia do quanto é interessante esse processo? Hoje, vocês irão estudar sobre essas organelas citoplasmáticas responsáveis pela captação e utilização dessa energia para as mais diversas atividades celulares.



A fotossíntese é uma reação química em que ocorre absorção de energia. Quando a luz solar incide em uma molécula de clorofila das plantas, parte da energia luminosa é absorvida, permitindo a reação do gás carbônico com água, que produz carboidratos e libera oxigênio. A absorção da energia em forma de luz e sua transformação em energia química permitem o crescimento das plantas, seu florescimento e a produção de frutos. As mitocôndrias desempenham papel fundamental no processo de fotossíntese. (Fonte: <http://7balgas.files.wordpress.com>)

MITOCÔNDRIAS

Aspectos gerais:

As mitocôndrias são organelas citoplasmáticas presentes no citoplasma em quase todas as células eucarióticas, animais e vegetais e na maioria dos microorganismos eucarióticos, (figura 03-01) observadas inicialmente por Altman, em 1840, pelo método de Régaud, em células de fígado e rins. Exibem forma alongada (figura 03-02), encontradas nos túbulos de Malpighi, glândulas salivares de insetos e pâncreas de mamíferos, e forma esférica, presentes em intestino e fígado. Diante dessa variada morfologia essas organelas foram denominadas de mitocôndrias, que é uma junção do termo grego mitos, que quer dizer alongado, e chondrion, que significa pequeno grânulo.

O número de mitocôndrias varia de célula a célula, porém a quantidade de mitocôndrias em uma célula será tanto maior quanto for a demanda energética. Os ovócitos, por exemplo, apresentam uma quantidade de 300.000 mitocôndrias por célula, ameba gigante 10.000, hepatócitos de 500 a 1.6000, células renais em torno de 300, espermatozóides cerca de 25 e algumas algas verdes chegam a ter apenas uma mitocôndria por célula. De um modo geral, as células vegetais apresentam um número bem menor de mitocôndrias quando comparado com as células animais.

Quanto à distribuição das mitocôndrias no interior das células ocorre por acaso, mas existem casos em que elas são concentradas para determinadas regiões, onde a demanda energética é maior. Dessa forma, você pode perceber porque células como as musculares estriadas ou as células ao redor do flagelo dos espermatozóides possuem um elevado número dessas organelas. Em algumas células, elas se deslocam em direção às zonas necessitadas de energia, como por exemplo, na peça intermediária dos espermatozóides. Contudo, em alguns tipos celulares, a exemplo dos adipócitos e células musculares estriadas, as mitocôndrias possuem lugar fixo no citoplasma.

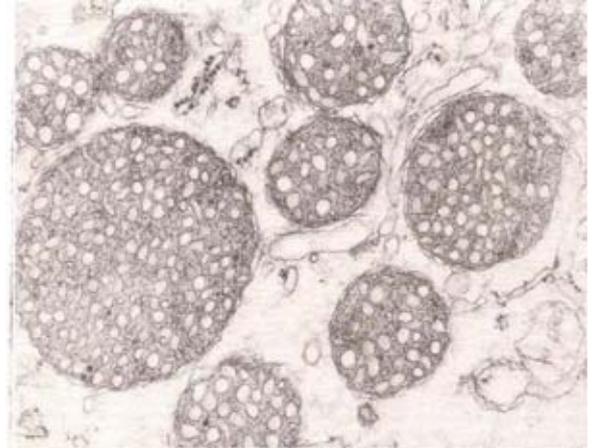


Figura 03-01 - Eletromicrografia mostrando parte do citoplasma de uma célula da camada cortical da glândula adrenal. Observe as mitocôndrias contendo invaginações tubulosas de sua membrana interna, em vez de prateleiras. Essa disposição é freqüente em células que sintetizam esteróides. 60.000X.

(Fonte: Junqueira et al. (2005). *Biologia Celular e Molecular*. 8ª edição, cap. 4, p. 70).



Figura 03-02 - Mitocôndria alongada observada ao microscópio eletrônico. As mitocôndrias são organelas de forma arredondada ou alongada, presentes no citoplasma de todas as células eucariotes.

(Fonte: Disponível em: <http://morpheus.fmrp.usp.br>)

Às vezes, as mitocôndrias estão associadas a gotículas de gordura, expondo dessa maneira a maior área possível de sua superfície, em contato com os lipídios e, aproveitado dessa forma dos ácidos graxos resultantes da ação das lipases.

O Tamanho das mitocôndrias também é variável, podendo medir de 0,2 a 10 μm de diâmetro e de 2 a 8 μm de comprimento.

As mitocôndrias são responsáveis pela respiração celular, mas, estão aptas para realizarem outras funções, as quais serão explicadas a você no decorrer dessa aula.

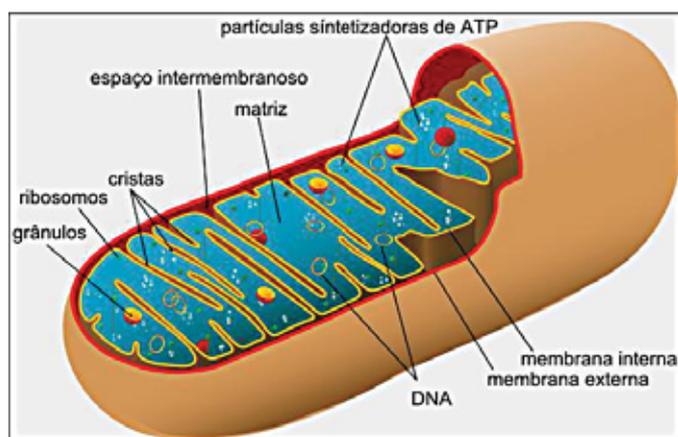


Figura 03-03 - Desenho esquemático de uma mitocôndria mostrando seus componentes. (Fonte: Disponível em: <http://morpheus.fmrp.usp.br>)

Ultraestrutura

É importante que você, querido aluno, perceba que, apesar de as mitocôndrias terem sido observadas ao microscópio óptico, em 1840, por Altman, no entanto, detalhes de sua estrutura só puderam ser observadas com o surgimento da microscopia eletrônica. Assim, foi percebido que as mitocôndrias são delimitadas por duas membranas lipoproteicas, semelhantes às demais membranas celulares, delimitando um espaço interno onde se localiza a matriz mitocondrial. Entre essas

duas membranas é possível observar o espaço intermembranoso. Essas membranas contêm fosfolipídios, porém são funcional e estruturalmente distintas (figura 03-03). Fique atento às diferenças entre elas!

A membrana mitocondrial externa possui em sua composição 50% de lipídios e 50% de proteínas. A membrana externa é lisa e, além de apresentar grande fluidez (dada a sua elevada quantidade de lipídios em relação à membrana interna), ela é muito permeável a íons e a moléculas com peso molecular abaixo de 5 kDa (quilodáltons), devido à presença das porinas, proteínas transmembranares que formam canais com diâmetro de 1 nm (nanômetro). Além disso, a membrana externa é rica em colesterol.

A membrana mitocondrial interna, por sua vez, apresenta 20% de lipídios e 80% de proteínas. Possui inúmeras pregas em forma de prateleiras, denominadas de cristas mitocondriais, que se projetam para o interior da mitocôndria, aumentando muito a superfície dessa membrana. O número e a forma das cristas são variáveis nos diversos tipos celulares. Em algumas células produtores de esteróides ou em certos protozoários, as cristas podem ter forma de tubos em lugar de prateleiras. Desse modo, ao ter a oportunidade de observar cortes dessas células em microscópio eletrônico, você observará estruturas circulares no interior das mitocôndrias. Uma mesma mitocôndria pode apresentar cristas em prateleiras e cristas tubulares.

Outra diferença entre as membranas externa e interna é que, apesar de pobre em colesterol, a membrana interna é rica em cardiolipina, um fosfolípido duplo que não existe na membrana externa.

A cardiolipina exerce uma importante função ao dificultar a passagem de partículas com carga elétrica através da membrana interna. Com isso, ela evita a concentração desses íons na matriz mitocondrial. Caso essa passagem não fosse controlada, o excesso de íons na matriz desordenaria o gradiente quimiosmótico fundamental à captação de energia.

Na superfície da membrana interna voltada para o interior da mitocôndria, existem pequenas partículas em forma de raquete, os corpúsculos elementares, denominado de complexo F_0F_1 . Este complexo é constituído de um pendúnculo, F_0 , um complexo proteico sensível ao antibiótico oligomicina e embutido na bicamada lipídica e de uma estrutura F_1 que contém o sítio catalítico, constituído de cinco unidades, formadas por cadeias dos tipos α , β , γ , δ , e ϵ , onde são gerados ATP e calor.

A membrana mitocondrial interna é a membrana celular mais rica em proteínas. Nela, além dos corpúsculos elementares com função de sintetizar ATP e das proteínas constituintes do sistema de transporte ativo, encontram-se as enzimas e proteínas formadoras da cadeia transportadora de elétrons (NADH desidrogenase; succinato desidrogenase; complexo b-c1 e citocromo oxidase, ATPsintetase).

Na matriz mitocondrial, podem ser observados DNA circular RNAr, RNAt, RNAm, ribossomos e alguns grânulos de fosfato de cálcio. Com todos estes componentes moleculares, as mitocôndrias são consideradas organelas semi-autônomas, pois elas apresentam capacidade de realizarem a replicação da molécula do DNA, a transcrição dos RNAr, RNAt e RNAr e a tradução de 13 tipos de proteínas.

FISIOLOGIA

Respiração Celular

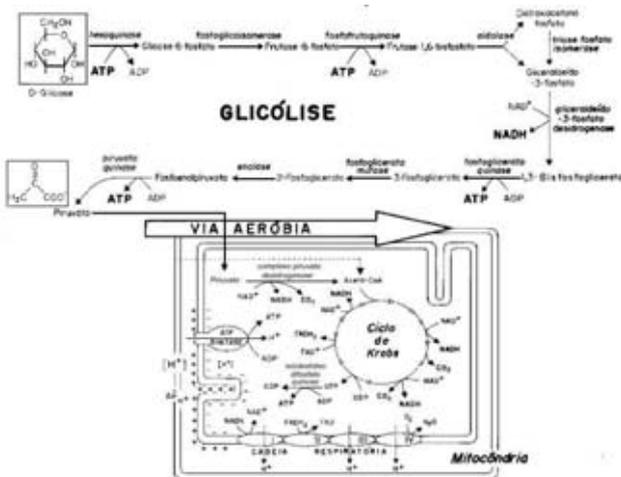
É no interior das mitocôndrias que acontece o processo de extração de energia dos nutrientes (respiração celular) que será armazenada em moléculas de ATP (trifosfato de adenosina). É importante que você lembre que o ATP é a molécula responsável para fornecer energia necessária às reações químicas celulares.

A mitocôndria é abastecida pela célula que a abriga, por substâncias orgânicas como oxigênio e glicose. Você deve ter em mente que essas serão as substâncias a serem processadas e convertidas em energia na forma de ATP. Portanto, podemos dizer que a função principal da mitocôndria é liberar energia na forma de ATP, ou seja, é atuar no processo de respiração celular.

Você consegue imaginar qualquer um desses carros que vemos nas ruas, andando sem combustível?

Pois, da mesma forma que esses carros, o organismo dos seres vivos necessita de combustível para funcionar. Nesse caso, a glicose e o oxigênio agem como combustíveis e a “queima” desses compostos acontecem justamente no processo de respiração celular. E, como foi dito anteriormente, a energia liberada é armazenada na forma de moléculas de Trifosfato de Adenosina (ATP), que funcionam como pequenos pacotes de energia. Assim, quando a célula precisar de energia, a molécula de ATP pode ser facilmente decomposta em ADP (adenosina difosfato) e Pi, liberando energia para o aproveitamento imediato da célula.

A energia armazenada nas ligações químicas da glicose é liberada por meio de sucessivas oxidações. Simplificadamente, uma substância se oxida quando perde elétrons. Entre os compostos que, após a oxidação, resultam em alto rendimento de ATP, listamos os carboidratos e os lipídios, mas não esqueça que compostos aminados, a exemplo dos aminoácidos, podem ser oxidados e liberarem energia para produzirem ATP.



Etapas da respiração celular

A respiração celular ocorre em três etapas: glicólise, ciclo de Krebs e fosforilação oxidativa. Sabendo que duas dessas três etapas ocorrem no interior das mitocôndrias (ciclo de Krebs e fosforilação oxidativa), é possível compreender a fundamental atuação dessa organela nesse processo. A glicólise é a única das etapas a acontecer no citoplasma (figura 03-04).

1ª etapa: GLICÓLISE

Ocorre no citoplasma e consiste na quebra parcial da glicose em duas moléculas de piruvato, sem consumo de oxigênio. Acontece

que, para poder ser utilizada na produção de energia, a glucose-6-fosfato é primeiramente isomerizada a frutose-6-fosfato. A frutose-6-fosfato é depois fosforilada a frutose-1,6-bisfosfato numa reação catalisada pela fosfofrutoquinase. Seguidamente, a frutose-1,6-bisfosfato é clivada em duas moléculas de três carbonos cada. Estas duas moléculas (dihidroxiacetona fosfatada e gliceraldeído-3-fosfato) são facilmente interconvertíveis por isomerização. Portanto, basta uma via metabólica para degradar as duas. O gliceraldeído-3-fosfato é oxidado e fosforilado, formando 1,3- bifosfoglicerato. Uma molécula Pi é então transferida ao ADP, formando ATP, e o 1,3- bifosfoglicerato transforma-se em 3- fosfoglicerato. O 3-fosfoglicerato é isomerizado a 2-fosfoglicerato, que depois de desidratado (i.e. perder H₂O) dá origem a um fosfoenol: fosfoenolpiruvato. Essa molécula possui

Figura 03-04 - Esquema geral da degradação oxidativa de carboidratos, lipídios e aminoácidos. A energia liberada é utilizada para a síntese de ATP. Alguns aminoácidos podem formar diretamente compostos intermediários do ciclo de Krebs. (Fonte: (Carvalho et al. (2007) A célula, 2ª. edição, cap. 15, p.213).

uma grande capacidade de transferir Pi e assim transforma ADP em ATP e forma a molécula de piruvato, a qual entrará no Ciclo de Krebs. Durante essa quebra, uma parte da energia da glicose é liberada, produzindo no total quatro moléculas de ATP (figura 03-05).

Há ainda desidrogenação dessa glicose, catalisada pela enzima desidrogenase, formando $\text{NADH} + \text{H}^+$. O que significa NADH ? É a forma reduzida do grupamento nicotinamida adenina dinucleotídeo (NAD) que, assim como o FAD (flavina adenina dinucleotídeo) funciona comoceptor de elétrons, num processo de oxirredução. Assim, $\text{NADH} + \text{H}^+$ significa que o NAD se combinou com um dos hidrogênios retirados da molécula, enquanto o outro permanece livre na forma de próton (H^+).

Como você pode observar duas moléculas foram gastas na ativação da molécula de glicose, assim sendo, o saldo energético dessa etapa são de duas moléculas de ATP.

2ª etapa: CICLO DE KREBS

Antes de se iniciar o ciclo de Krebs, ocorre uma etapa preparatória, na qual o ácido pirúvico será desidrogenado e descarboxilado, resultando em uma molécula de $\text{NADH} + \text{H}^+$ e uma de gás carbônico (CO_2), formando acetila. Logo essa acetila se combinará à coenzima A e passará a ser chamada de acetil-coenzima A ou acetil-CoA.

A partir daí o acetil-CoA entra no ciclo de Krebs (figura 03-06).

Querido aluno, espero que você esteja acompanhando a aula. Agora estudaremos a segunda etapa da respiração celular, o ciclo de Krebs, também conhecido como ciclo do ácido cítrico.

Essa segunda etapa é uma sequência cíclica de reações enzimáticas, na qual ocorre a produção gradual de elétrons e prótons, por ação das desidrogenases. Mais uma vez, o NAD entra em ação, dessa vez com ajuda do FAD, para transportar os elétrons resultantes dessas reações, transformando-se em NADH_2 e FADH_2 .

Vejamos com mais detalhes a série de modificações

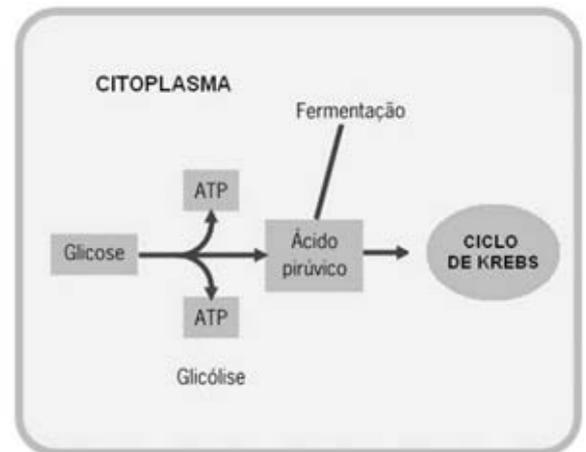


Figura 03-05 - Resumo geral da glicólise. Em um primeiro estágio (etapas 1 a 5), são consumidas 2 moléculas de ATP para fosforilação de carboidratos e produção de dihidroxiacetona e gliceraldeído 3-fosfato, que são moléculas com 3C, enquanto a glicose tem 6C. No segundo estágio (etapas 6 a 10), são geradas 4 moléculas de ATP para cada molécula de glicose. A conversão de piruvato a etanol ou lactato garante a continuidade da glicólise, uma vez que NAD é regenerado e poderá ser usado na etapa 6. Da mesma forma, se a via for aeróbica, também ocorrerá uma recuperação de NAD, que também será reaproveitada na etapa 6.

(Fonte: (Carvalho et al. (2007) A célula. 2ª. edição, cap. 15, p. 214).

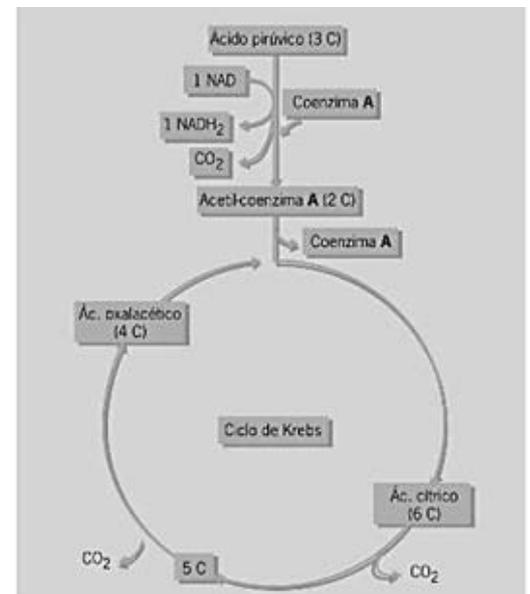


Figura 03-06 - Ciclo de Krebs. Cada reação é catalisada por uma determinada enzima. Em cada reação ocorrem desidrogenações com consequente produção de $\text{NADH} + \text{H}^+$ e FADH_2 . O CO_2 também é liberado em duas reações. A molécula de FADH_2 permanece ligada à enzima succinato desidrogenase, que faz parte da membrana interna da mitocôndria. O GTP formado pode ser convertido em ATP.

(Fonte: (Carvalho et al. (2007) A célula. 2ª. edição, cap.16, p.216).

às quais o citrato é submetido desde sua formação até a restituição do ácido oxalacético, restaurando o ciclo.

Inicialmente, a molécula de acetila (proveniente da descarboxilação do ácido pirúvico na etapa preparatória do Ciclo de Krebs) combina-se com uma substância chamada coenzima A (CoA), formando a acetil-coenzimaA (acetil-CoA), bastante reativa. Esta, por sua vez, se combinará com o oxalacetato, iniciando o Ciclo de Krebs na matriz mitocondrial.

A reação do acetil-CoA (2C) com o oxalacetato (4C) originará o citrato (6C), liberando a coenzima A. A partir da desidratação seguida de re-hidratação do citrato (catalisadas pela enzima aconitase, tendo como objetivo a mudança da posição da hidroxila), há a formação do isocitrato (6C), o qual sofrerá desidrogenação e descarboxilação, resultando em α -cetoglutarato (5C), liberando NADH e CO₂. O α -cetoglutarato, então, a partir de uma descarboxilação oxidativa e adição de coenzima A, dará origem ao succinil-CoA (4C). O succinil-CoA protagonizará uma reação na qual, ao perder a coenzima A, haverá grande liberação de energia em forma de GTP, resultando em succinato (4C). O GTP, para ser utilizado, deverá ser convertido em ATP. Assim, essa é a única etapa do Ciclo de Krebs que produzirá ATP (1 GTP = 1 ATP). Após desidrogenação, o succinato formará fumarato (4C). Esse fumarato sofrerá hidratação, formando malato (4C). É a partir da subsequente desidrogenação do malato, que o oxalacetato será restituído, reiniciando o ciclo.

Durante essas modificações, serão produzidas 3 moléculas de NADH₂, 1 molécula de FADH₂, 2 moléculas de CO₂, além de 1 molécula de GTP (trifosfato de guanosina), que logo cederá energia ao ATP.

Vamos fazer o nosso balanço energético até o momento?

Na etapa preparatória foram produzidas 1 molécula de NADH + H⁺ e 1 de CO₂. Somando com a produção do ciclo de Krebs, temos: 4 NADH₂, 1 FADH₂, 3 CO₂, além de 1 molécula de ATP (proveniente do GTP), para cada molécula de ácido pirúvico.

Você lembra do final da glicólise? Lá foram produzidas duas moléculas de ácido pirúvico para cada molécula de glicose, então temos o dobro desse resultado.

Assim sendo, o saldo energético parcial são: 8 NADH₂, 2 FADH₂, 6 CO₂ e 2 ATP. Além dessas moléculas energéticas, o ciclo de Krebs fornece metabólitos que serão usados para a produção de aminoácidos e carboidratos.

3ª etapa: FOSFORILAÇÃO OXIDATIVA

Finalizando o processo da respiração celular estudaremos agora a terceira etapa, chamada de fosforilação oxidativa, conhecida também como cadeia transportadora de elétrons, formada por enzimas e compostos não-enzimáticos dispostos em seqüência, cuja função é transferir elétrons provenientes do NADH₂ e do FADH₂, até a molécula de oxigênio. Convém

ressaltar, que os transportadores de elétrons são os citocromos, compostos orgânicos ricos em ferro. Esses citocromos são dispostos em forma de cadeia, delimitando o trajeto que os elétrons percorrerão. À medida que vão sendo transferidos de um citocromo para outro, os elétrons formam com os transportadores um composto com energia menor que a do composto anterior. Assim sendo, a energia restante é liberada e utilizada na produção de ATP. Nessa cadeia o oxigênio que é o receptor final de elétron, será sempre reduzido e formará uma molécula de água. Por isso, perceba que a célula deve sempre estar recebendo oxigênio, para que a cadeia respiratória não pare (figura 03-07).

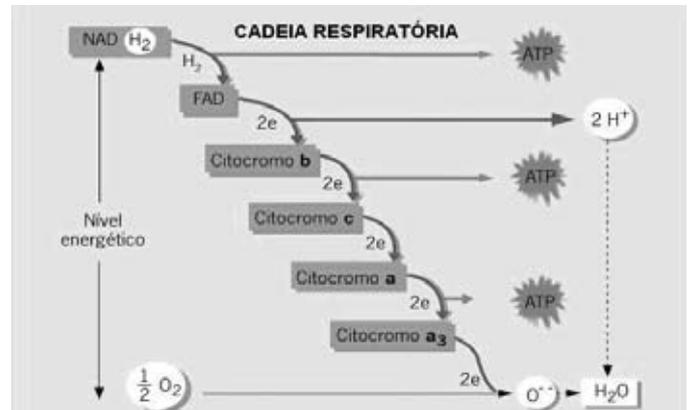
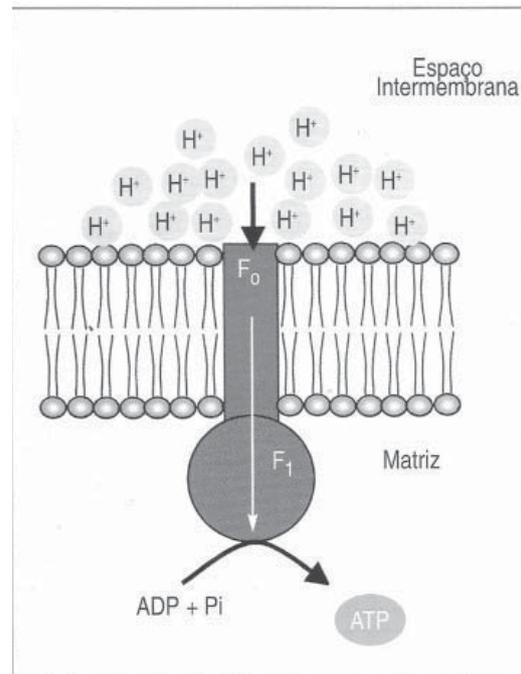


Figura 03-07 - Esquema de membrana interna da mitocôndria, mostrando o fluxo de elétrons do NADH+H+ até o O₂, passando por três grandes complexos da cadeia respiratória. O complexo F₀F₁ contém o sítio catalítico onde ocorre a síntese de ATP. (Fonte: (Carvalho et al. (2007) A célula. 2ª. edição, cap.15. p.219).

Em 1961, P. Mitchell iniciou estudos na Inglaterra para explicar a síntese de ATP acoplada à transferência de elétrons na cadeia respiratória, e propôs a teoria quimiosmótica que experimentalmente foi testada por vários pesquisadores durante as décadas de 1960 e 1970. Mitchell ganhou o prêmio Nobel de Química, pelo edificante trabalho.



A teoria quimiosmótica afirma que, com a passagem de elétrons na cadeia respiratória ocorre uma ejeção de prótons da matriz mitocondrial para o espaço intermembranoso e também para fora da mitocôndria. Isto faz com que seja gerado um gradiente de prótons (H⁺) entre o meio externo e interno da mitocôndria. O gradiente de prótons mais o potencial de membrana somados resultam em uma força próton motora, e esta força é que pressiona os prótons a retornarem para a matriz mitocondrial. A membrana mitocondrial interna é impermeável aos prótons, eles retornam ao interior das mitocôndrias via complexo ATP sintetase (já descrito anteriormente). Detalhes do mecanismo de como ocorre a produção de ATP no momento da passagem dos prótons através do complexo ATP sintetase, ainda são desconhecidos, no entanto o gradiente de prótons não serve apenas para a síntese de ATP em mitocôndrias, mas permite o transporte ativo de cálcio e metabólitos, servindo também para o

Figura 03-08 - Fluxo de prótons através do complexo F₀F₁, ou complexo ATP sintetase. (Fonte: (Carvalho et al. (2001) A célula. 1ª. edição, cap.14,p.168).

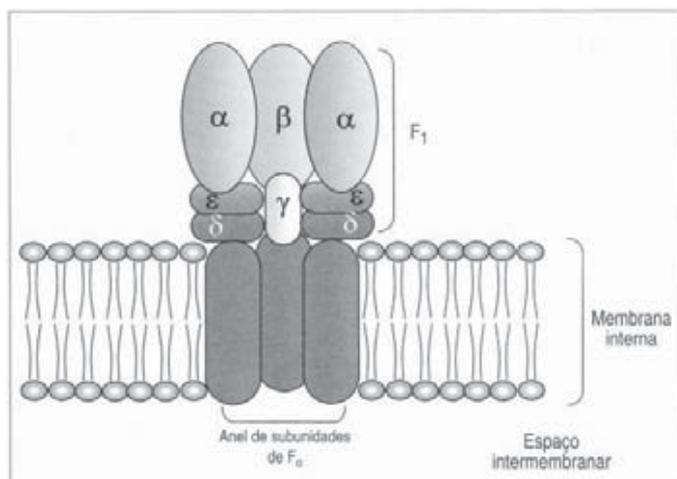


Figura 03-09 - Componentes do complexo F0F1.
(Fonte: (Carvalho et al. (2001) A célula. 1ª. edição, cap. 14, p. 169).

transporte de carboidratos e aminoácidos em bactérias (figura 03-08 e 03-09).

Atente também, para o fato de que os transportadores não são gastos no processo. Vamos, finalmente, fazer o balanço final de todo esse processo. No seu trajeto até a formação de água, cada par de hidrogênio transportado pelo NAD formará 3 ATP. Os pares recolhidos pelo FAD formarão 2 ATP cada.

Revendo as etapas anteriores, observamos que chegaram nessa cadeia: 2 NADH₂ vindos da glicólise, 2 FADH₂ vindos da etapa preparatória e 8 NADH₂

do ciclo de Krebs. Temos, portanto: 10 NADH₂ que nos dão 30 ATP; 2 FADH formam 4 ATP. Há ainda os 2 ATP da glicólise, mais 2 ATP do ciclo de Krebs, totalizando em 38 moléculas de ATPs.

Até a década de 1980, admitia-se a rentabilidade energética da respiração aeróbica como sendo de 38 moléculas de ATP por molécula de glicose degradada. Entretanto, com a descoberta de que a molécula de NADH produzida fora da mitocôndria origina apenas duas moléculas de ATP, esse valor foi revisto. Atualmente, considera-se como correto que uma molécula de glicose produz, na respiração aeróbica, 36 moléculas de ATP. Porém, em algumas células como cardiomiócitos, hepatócitos e renais de humanos, o rendimento é de 38 moléculas de ATP por molécula de glicose. Entretanto, para a maioria delas, o rendimento é de 36 moléculas de ATP.

Remoção de cálcio do citoplasma

Essa função em condições normais é executada pelo retículo endoplasmático liso. Entretanto, quando a concentração do cálcio aumenta no citoplasma a níveis considerados perigosos para a célula, entra em ação uma enzima localizada na membrana interna das mitocôndrias que retira o cálcio do citoplasma, bombeando para a matriz mitocondrial.

Síntese de aminoácidos

Utilizando determinadas moléculas do ciclo de Krebs, as mitocôndrias dos hepatócitos sintetizam vários aminoácidos, através do Ciclo da Ureia.

Síntese de esteroides

A mitocôndria possui ainda função esteroideogênica. O que isso significa? Significa que ela está envolvida na síntese de diversos esteroides

(figura 03-01). De que forma? Primeiramente, o colesterol produzido nas membranas do retículo endoplasmático liso é lançado no citoplasma. A partir daí é transportado às mitocôndrias, localizando-se na membrana interna, onde a enzima colesterol desmolase o converterá em pregnenolona. A pregnenolona deixa a mitocôndria e segue para o retículo endoplasmático liso, onde diversas enzimas sequencialmente atuarão na produção do esteroide específico a depender do tipo de célula considerado. No testículo a pregnenolona é transformada em testosterona.

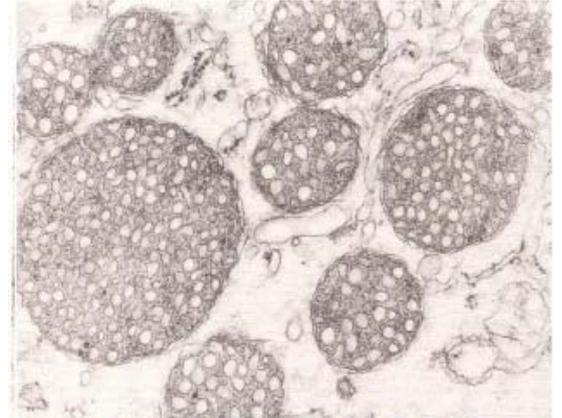


Figura 03-01 - Eletromicrografia mostrando parte do citoplasma de uma célula da camada cortical da glândula adrenal. Observe as mitocôndrias contendo invaginações tubulosas de sua membrana interna, em vez de prateleiras. Essa disposição é freqüente em células que sintetizam esteróides. 60.000X.

(Fonte: Junqueira et al. (2005). *Biologia Celular e Molecular*. 8ª edição, cap. 4, p. 70).

Morte Celular

A mitocôndria também exerce participação no mecanismo de morte celular programada, pois é ela que desencadeia todo o processo. Essa organela promove abertura de canais não específicos existentes em sua membrana interna, liberando para o citoplasma moléculas como o citocromo c, o fator indutor de apoptose e as caspases (proteases promotoras de apoptose), (ver aula de Apoptose).

Liberação de calor

Nos tecidos adiposos multilocular de recém-nascidos e de alguns animais durante a hibernação, uma proteína transmembrana, chamada termogenina, se expressa, tornando a membrana externa permeável aos prótons, desacoplando o sistema de transporte de elétrons da síntese de ATP. Uma vez desacoplado, não ocorrerá síntese de ATP e o sistema liberará a energia originada no transporte desses elétrons em forma de calor, que aquecerá tanto o recém-nascido quanto o animal em hibernação.

Ciclo da Ureia

As mitocôndrias participam também do ciclo da ureia. A formação deste composto ocorre no fígado de animais ureotélicos, ou seja, são animais como muitos moluscos, anfíbios terrestres e mamíferos que geralmente vivem em ambiente onde a água é limitada e que tem a ureia como produto final nitrogenado. A ureia é formada pela associação de dois grupos amino derivados de aminoácidos e uma molécula de CO₂. Uma vez formada, a uréia é transportada pela corrente sanguínea e excretada pelos rins. O grupo amino vai fazer parte da molécula de citrulina que sai da mitocôndria e, no citoplasma, resulta na formação da ureia, que transportará o NH₃ formado na matriz mitocondrial.

ORIGEM DAS MITOCÔNDRIAS

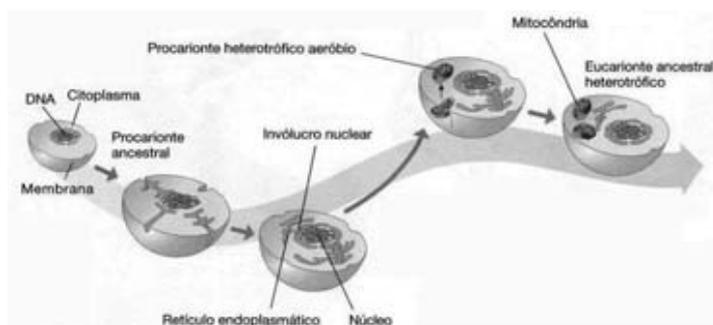


Figura 03-10 - Esquema representando a origem das mitocôndrias. (Fonte: Disponível em: <http://sites.google.com>).

São diversas as teorias que tentam explicar a origem das mitocôndrias, porém 2 são as mais aceitas. A primeira teoria sugere que as mitocôndrias se originaram a partir de bactérias aeróbicas que estabeleceram relação de simbiose com células eucarióticas anaeróbicas (figura 03-10). Essas bactérias teriam penetrado por fagocitose, escapando dos mecanismos intracelulares de destruição de organismos estranhos.

Assim, a membrana do fagossomo teria tornado a membrana externa da mitocôndria e a membrana da bactéria tornou-se a membrana interna.

Várias são as evidências que corroboram com essa hipótese:

A dupla hélice de DNA mitocondrial é circular, semelhante às das bactérias;

Os mitoribossomos mitocondriais têm coeficiente de sedimentação em torno de 55S mais próximo ao encontrado em bactérias, que corresponde a 70S, enquanto os ribossomos citoplasmáticos de eucariotos têm coeficiente de sedimentação igual a 80S;

A síntese de proteínas é inibida por cloranfenicol, o mesmo antibiótico inibidor da síntese proteica em procariotos;

O aminoácido iniciador da síntese proteica é o formil-metionina, assim como nas bactérias.

A outra teoria, não-simbiótica, defende que a mitocôndria deve ter surgido de um procarioto contendo componentes da cadeia respiratória e um complexo sintetizador de ATP, seguida do desprendimento daquele segmento de membrana e subsequente incorporação de fragmentos de molécula de DNA. Entretanto, você já deve ter percebido, ante as inúmeras evidências, que hoje a teoria mais aceita é a do surgimento simbiótico dessas organelas.

BIOGÊNESE

As mitocôndrias se formam a partir da reprodução de uma mitocôndria preexistente. Elas se reproduzem para substituir as mitocôndrias envelhecidas e para duplicar seu número antes de cada divisão celular. A divisão das mitocôndrias ocorre durante todo o ciclo celular e o fato de algumas não se dividirem faz você compreender porque umas devem se dividir repetidas vezes, a fim de compensar a falta de divisão por parte de algumas outras mitocôndrias.

Essa duplicação de material, seguida de divisão, é possível graças à existência do DNA mitocondrial e de RNAm, RNAt e ribossomos próprios de cada mitocôndria. Você pode estar se perguntado: “Se a mitocôndria possui DNA, RNA e ribossomos próprios, porque não é capaz de sobreviver independente da célula?”. Acontece que, embora a mitocôndria tenha condições de realizar processos de duplicação, tradução e transcrição e tenha seu genoma próprio, ele é incompleto. A mitocôndria só codifica por si só 13 proteínas. Vários componentes necessários à completa expressão do DNA mitocondrial são provenientes do citoplasma, como por exemplo, proteínas ribossomais e a maioria das proteínas do ciclo de Krebs.

DEFEITOS DO DNA MITOCONDRIAL

Defeitos mitocondriais têm sido detectados em diversas doenças que acometem os tecidos necessitados de uma alta demanda de energia, como o tecido muscular e o tecido nervoso. São doenças raras que serão brevemente mencionadas, visto que o estudo mais aprofundado de sua fisiopatologia situa-se fora dos limites dessa aula.

Alguns exemplos são a doença de Luft (aumento da quantidade de mitocôndrias no tecido muscular esquelético e também do metabolismo basal do doente, simulando um hipertireoidismo) e a miopatia mitocondrial infantil (doença fatal, acompanhada de acometimento dos músculos esqueléticos e disfunção renal, devido à diminuição ou mesmo à ausência de enzimas da cadeia transportadora de elétrons).

Tanto homens quanto mulheres podem apresentar doenças por defeito no DNA mitocondrial, porém somente as mulheres transmitem hereditariamente essa mutação, porque como as mitocôndrias do espermatozóide não penetram no óvulo durante a fecundação, já que se encontram circundando o flagelo, as mitocôndrias existentes na célula-ovo são de origem exclusivamente materna.

Então, caro aluno, agora que você estudou as mitocôndrias, abordaremos outra organela que possui origem semelhante e função complementar às mitocôndrias: os cloroplastos.

CLOROPLASTOS

Aspectos gerais

Os cloroplastos são originalmente, plastos ou plastídios, organelas visíveis ao microscópio óptico encontrados na grande maioria das células vegetais, não existindo, porém nas células bacterianas, fungos e animais. Os diferentes tipos de plastos são classificados, na maturidade, em termos de cor e função. Se contiverem pigmentos, são chamados de

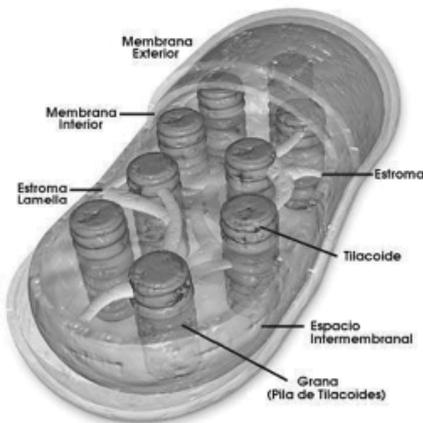


Figura 03-11 - Desenho esquemático de cloroplastos mostrando todas as suas estruturas. (Fonte: Disponível em: <http://www.bioapontos.cl>)

cromoplastos. Se forem incolores, recebem o nome de leucoplastos (figura 03-11).

Já deu para perceber a qual grupo os cloroplastos pertencem? Bem, se os cromoplastos possuírem clorofila ou quaisquer outros pigmentos fotossintéticos, são especificamente chamados de cloroplastos.

Os cloroplastos são organelas citoplasmáticas discoides que se assemelham a uma lente biconvexa. Eles ocorrem em células de algas verdes, azuis e até em vegetais superiores. É no cloroplasto onde ocorre a fotossíntese, processo pelo qual a energia luminosa se transformará em energia química utilizada na execução das atividades celulares.

Nesse texto iremos comparar constantemente cloroplastos e mitocôndrias (assunto previamente abordado), a fim de que você revise o conteúdo visto e faça também suas próprias associações.

Ultraestrutura

O envoltório dos cloroplastos apresenta duas membranas: uma externa e outra interna. E, ainda de forma semelhante às mitocôndrias, o espaço delimitado entre elas é chamado de espaço intermembranoso. A membrana externa é muito permeável a metabólitos de baixo peso molecular, devido às porinas, proteínas transmembranares formadoras de canais à semelhança da membrana externa mitocondrial e da membrana das bactérias. Enquanto isso, a membrana interna é impermeável a muitas dessas substâncias, necessitando de transportadores de membrana específicos. Entretanto, as duas membranas são altamente permeáveis ao CO₂, o substrato para a fotossíntese (figura 03-12 e 03-13).

A membrana interna delimita o estroma, substância amorfa análoga à matriz mitocondrial, que contém diversas enzimas solúveis, grânulos de provável natureza lipídica, denominados de plastoglobulos, grãos de amido, plastorribossomos (ribossomos encontrados nos cloroplastos, com coeficiente de sedimentação de 70S, sendo a subunidade maior de 50S e a subunidade menor de 30S, semelhante aos das bactérias) fitoferrina (complexo de ferro e proteína), além de moléculas de DNA circular e de RNA.

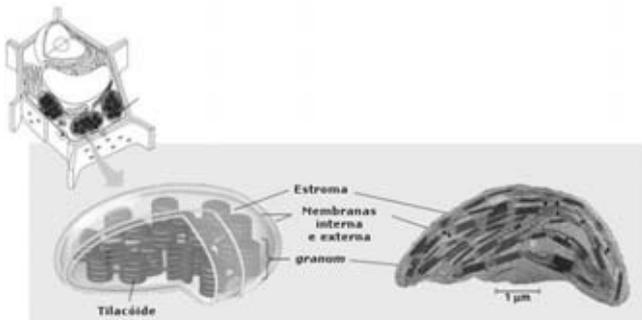


Figura 03-12 - Esquema de cloroplasto com todas as suas estruturas. (Fonte: Site do Programa de Graduação em Biotecnologia da Universidade Federal de Pelotas – RS; Fotossíntese e Cloroplastos; 2009. Disponível em: www.ufpel.tche.br/cenbiot0).

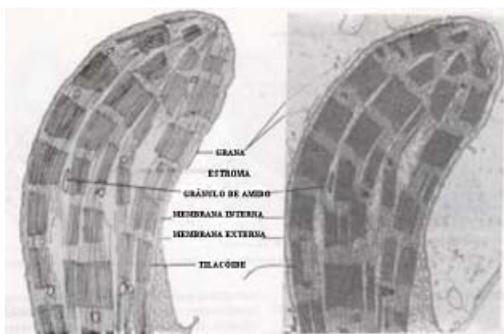


Figura 03-13 - À direita observa-se uma microfotografia eletrônica da estrutura de um cloroplasto. (Fonte: Figueira, A. (2008). Mitocôndrias e Cloroplastos: estruturas e funções, sistemas genéticos e genomas; São Paulo).

Convém lembrar a você caro aluno, que cloroplastos de várias algas frequentemente possuem no estroma um grânulo denominado pirenoide, o qual pode acumular material de reserva ou estar associado à síntese de amido.

A membrana interna dos cloroplastos está em forma de lamelas. Como assim? Elas formam vesículas achatadas que se estendem pelo estroma e várias bolsas discóides, semelhantes a sacos, chamadas tilacóides (figura 03-14). Os tilacóides por sua vez, se organizam uns sobre os outros em “pilhas de sacos”. Cada pilha de tilacóides compõe um granum e um conjunto de granum de um cloroplasto é denominado grana.

Em alguns cloroplastos a membrana interna sofre invaginação (formando o retículo periférico), permitindo dessa forma, uma maior troca de material entre os meios externo e interno.



Figura 03-14 - Micrografia eletrônica detalhando o empilhamento dos tilacóides.

(Fonte: Site do Programa de Graduação em Biotecnologia da Universidade Federal de Pelotas – RS; Fotossíntese e Cloroplastos; 2009.

Disponível em: www.ufpel.tche.br)

Fotossistemas

As moléculas de clorofila, aceptores de elétrons, pigmentos acessórios e enzimas que participam da fotossíntese encontram-se organizadas nas membranas dos cloroplastos, formando unidades funcionais chamadas fotossistemas. Há dois tipos de fotossistemas, denominados I e II, que diferem quanto à capacidade de absorver a luz e quanto à posição que ocupam nas membranas dos cloroplastos.

O fotossistema I (PS I) absorve luz de comprimento de onda correspondente a 700 nm, sendo por isso, chamado de P700. Já o fotossistema II (PS II) absorve principalmente luz de comprimento de onda 680 nm, sendo chamado de P680. O fotossistema I encontra-se localizado, preferencialmente, nas membranas intergrana, em contato direto com o estroma. Já o fotossistema II se localiza nas membranas dos tilacóides.

FISIOLOGIA

Fotossíntese

Se você considerar as mitocôndrias como o local de “queima” do combustível necessário às funções celulares, os cloroplastos abrigam a “linha de produção” desse combustível. É neles onde ocorre a transformação de energia luminosa em energia química que será armazenada pela célula em forma de matéria orgânica (figura 03-15).

Para um melhor entendimento, você pode considerar a fotossíntese como processo inverso da respiração celular. Veja as equações dos processos:

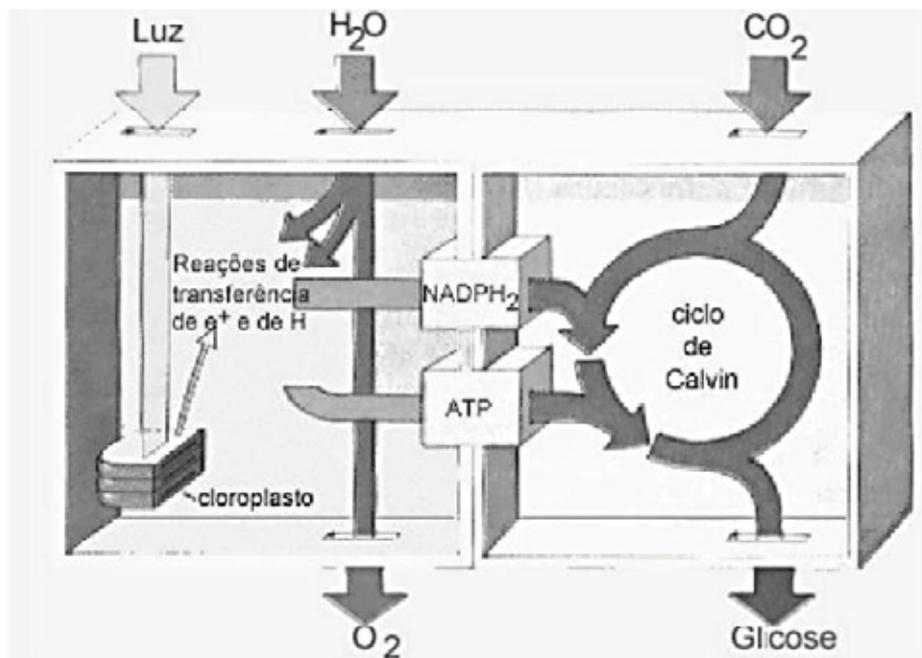
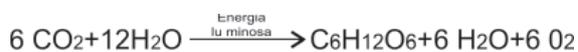


Figura 03-15 - Desenho esquemático do processo de fotossíntese. A absorção de luz, água e gás carbônico permite às algas e plantas clorofiladas produção de oxigênio e carboidratos. (Fonte: Figueira, A. (2008). Mitocôndrias e Cloroplastos: estruturas e funções, sistemas genéticos e genomas; São Paulo).

Fotossíntese



Respiração



É importante você saber que todo o oxigênio liberado na fotossíntese é proveniente exclusivamente da água.

Calma! Vamos explicar com detalhes: Em 1931, C. B. Van Niel, investigando a fotossíntese em bactérias fotossintetizantes, verificou que as bactérias sulfurosas produzem carboidratos a partir do dióxido de carbono, mas não produzem oxigênio, e sim, enxofre. Interpretando seus resultados, supôs que na fotossíntese de algas e plantas verdes seria a molécula quebrada a da água e não a do CO₂. Dessa forma, ele propôs que o oxigênio produzido era proveniente da água. Em 1937, Robin Hill realizou alguns experimentos com cloroplastos, conseguindo obter oxigênio mesmo em ausência de gás carbônico. Em 1941, a suposição de Neil foi corroborada por meio de experimento com uso de isótopos mais pesados de oxigênio (isótopo 18). Dois grupos de plantas verdes foram preparados para esse experimento. Em um dos grupos, as plantas foram supridas com água con-

tendo o isótopo pesado de oxigênio e com dióxido de carbono contendo o isótopo de oxigênio comum (isótopo 16). No outro grupo, foi feito o contrário: as plantas desse grupo foram supridas com dióxido de carbono contendo o isótopo 18 e água contendo o isótopo 16, o mais comum.

Ao final da fotossíntese, foi então verificado que o oxigênio liberado era o mais “pesado”. Nenhum oxigênio 16 foi encontrado, comprovando que a fonte exclusiva de oxigênio na fotossíntese é a água.

Durante a fotossíntese acontecem dois tipos de reações (figura 03-16). Reações da cadeia transportadora de elétrons ou etapa fotoquímica – depende de luz. Reações de fixação do carbono ou etapa química – independe de luz.

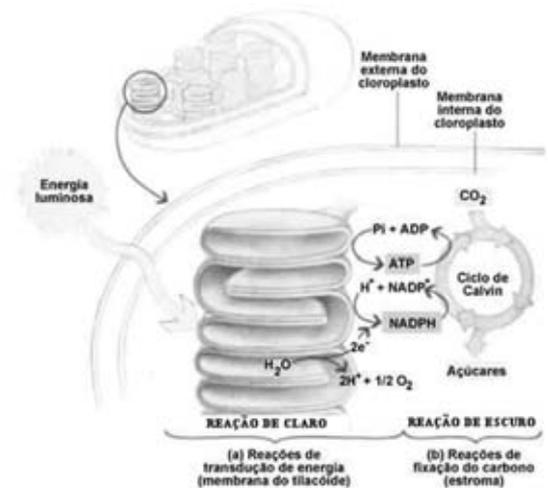


Figura 03-16 - Desenho esquemático demonstrando todas as fases das reações de claro e de escuro dos cloroplastos.

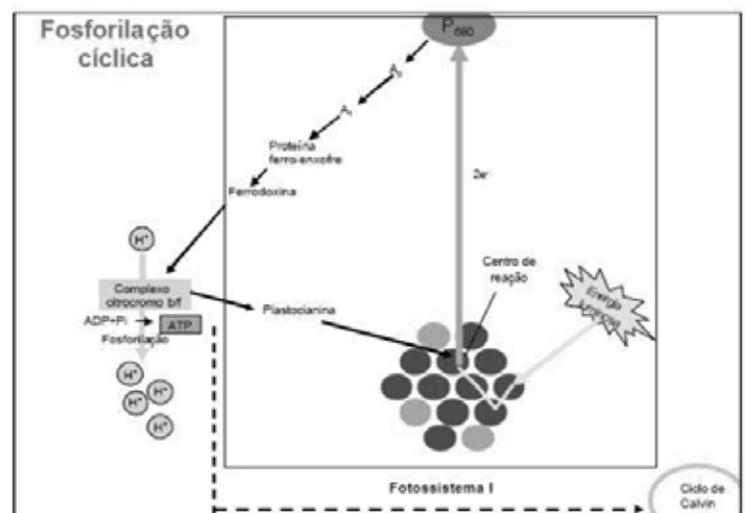
(Disponível em: <http://www.ufmt.br>).

REAÇÕES DA CADEIA TRANSPORTADORA DE ELÉTRONS OU ETAPA FOTOQUÍMICA

Nessa etapa, conhecida como fase clara da fotossíntese, por depender de luz, a energia luminosa é captada e transferida ao par de moléculas de clorofila. As moléculas de clorofila, então, liberam um par de elétrons para a cadeia transportadora de elétrons. Esses elétrons liberam gradualmente a energia captada, permitindo a síntese de ATP. Em eucariontes, a etapa fotoquímica é subdividida em três sub-etapas: fotofosforilação cíclica (figura 03-17), fotofosforilação acíclica (figura 03-18) e fotólise da água (figura 03-19). Já em procariontes, o fluxo acíclico de elétrons não ocorre.

Figura 03-17 - Fotofosforilação Cíclica. Nesta reação apenas o fotossistema I participa. Ao receber certo comprimento de onda, a clorofila a é excitada e libera seus elétrons. Esses elétrons serão captados pela ferredoxina e, em seguida, enviados a uma cadeia transportadora de elétrons contendo outras substâncias como flavinas, citocromos e vitamina K. A passagem desses elétrons pela cadeia libera a energia utilizada na fosforilação do ADP, formando ATP. Ao final da cadeia, os elétrons, já em seu estado fundamental retornam ao fotossistema I, mantendo a clorofila a reduzida. Esse ciclo se repete todas as vezes que a clorofila for excitada por um fóton.

(Fonte: Disponível em: <http://science.smith.edu>).



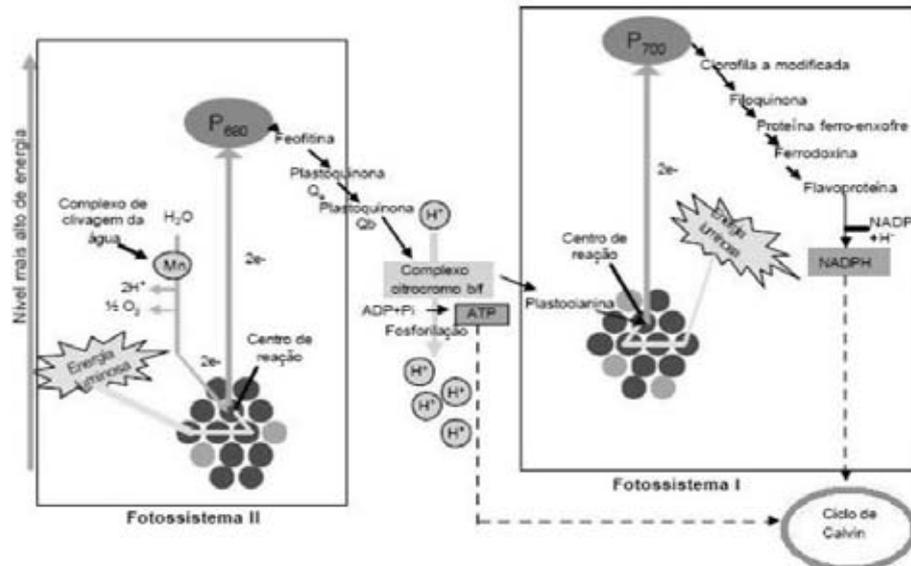


Figura 03-18 - Na fotofosforilação acíclica, os dois elétrons perdidos pela clorofila do fotossistema II não regressam a esse sistema. Esses elétrons seguem para reduzir o fotossistema I, cuja clorofila também havia sido excitada, perdendo dois elétrons que serão captados por um receptor de elétrons, a plastoquinona é então enviada a uma cadeia transportadora. Durante esse processo ocorre a produção do ATP por fosforilação do ADP, tendo todo o processo sido iniciado por ação da luz. A última molécula dessa cadeia é a clorofila P700 que, sob o estímulo de novo fóton, libera seus elétrons excitados. Esses elétrons serão captados pela ferredoxina e, enfim, serão passados ao NADP+, formando o NADPH, o qual, juntamente com o ATP produzido, servirá de substrato ao ciclo de Calvin.

(Fonte: Disponível em: <http://science.smith.edu>).

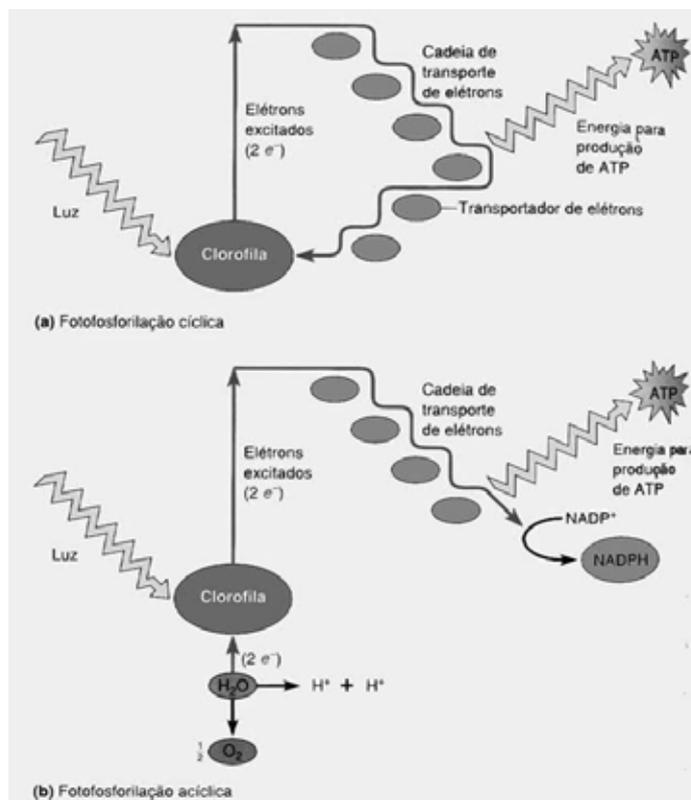


Figura 03 - 19 - Esquema ilustrativo da fosforilação cíclica e acíclica dos cloroplastos. (Fonte: Disponível em: <http://www.unb.br>).

Nos cloroplastos de eucariontes, ou seja, das plantas superiores, as moléculas de clorofila - clorofila a e clorofila b - recebem energia luminosa e se oxidam.

Caro aluno, você deve lembrar que “oxidar-se” é perder elétrons. Com a descarga de fótons da luz, um elétron da clorofila b fica com seu nível energético aumentado. Assim, excitado, o elétron sai da molécula da clorofila sendo recolhido pela plastoquinona, substância muito parecida com a vitamina K, e que atua como aceptor de elétrons.

A plastoquinona imediatamente transfere o elétron a uma cadeia transportadora de elétrons, que passa de um aceptor para outro, perdendo gradativamente sua energia, a qual é utilizada na síntese de ATP. Os elétrons “excitados” não voltam para a clorofila b, mas sim à clorofila a, tornando a fotofosforilação acíclica. O elétron recolhido pela clorofila a é entregue a uma molécula de plastoquinona (aceptor), em seguida a uma de ferridoxina (outro aceptor) passando, finalmente, a uma molécula de NADP. Cada molécula de NADP pode receber dois elétrons. Assim ele passa a NADP reduzida. A clorofila b será restaurada pelos elétrons desprendidos pela fotólise da água, proveniente do hidrogênio.

Na fotofosforilação cíclica, os elétrons excitados por fótons, depois de deixarem a clorofila b, tendem a retornar a ela, passando por aceptores chamados citocromos. É a energia liberada por esses elétrons excitados que permite a formação de ATP.

Ao mesmo tempo, nos tilacoides, a luz promove a quebra da molécula de água, liberando íons hidrogênio (H^+) e átomos de oxigênio, num processo conhecido como fotólise da água ou reação de Hill. Os prótons H^+ , associados aos elétrons ricos em energia, ligam-se a uma molécula transportadora ou aceptor – o NADP, formando NADPH. Os íons OH^- se unirão espontaneamente reconstituindo algumas moléculas de água, enquanto os átomos de oxigênio, unindo-se dois a dois, formarão moléculas de gás oxigênio (O_2).

E então caro aluno está acompanhando? Até agora temos produzidos: NADPH, ATP, oxigênio (liberado para a atmosfera) e moléculas de água.

REAÇÕES DE FIXAÇÃO DO CARBONO OU ETAPA QUÍMICA

Essa etapa é completamente dependente do ATP e do NADPH produzidos na fase clara, pois eles serão utilizados como fonte de energia e redutores para que o CO_2 seja convertido a carboidratos. Essa assimilação do carbono ocorre mediante uma série de reações químicas em uma via conhecida por Ciclo de Calvin Benson ou Ciclo C_3 (figura 03-20), uma vez que, o produto formado é um composto de 3 carbonos. Esse ciclo se inicia no estroma e continua no citoplasma.

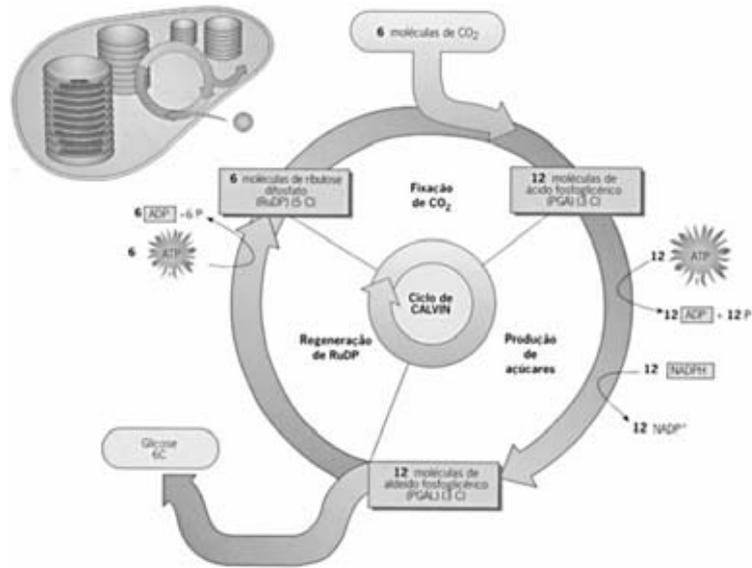


Figura 03-20 - Resumo Esquemático do Ciclo de Calvin.
(Fonte: Disponível em: <http://www.prof2000.pt>).

Na primeira fase do ciclo, a reação é catalisada pela enzima ribulose 1,5-difosfato carboxilase. Por essa reação, acontece a carboxilação da ribulose 1,5-bifosfato (RuBP) e produção de duas moléculas de 3-fosfoglicerato. Em seguida, há a redução do 3-fosfoglicerato a uma triose fosfato, com gasto de ATP e NADPH.

A última etapa desse ciclo consiste na regeneração do aceptor primário, ribulose 1,5-bifosfato (RuBP), liberação de trioses para posterior formação de açúcares como a glicose (hexoses). A cada três voltas no ciclo, uma molécula de triose fosfato é regenerada a partir de 3 moléculas de CO_2 . A triose fosfato pode ser utilizada tanto para a síntese de amido, por exemplo, quanto para formar mais aceptor primário (RuBP) entrando novamente no ciclo de Calvin.

ORIGEM DOS CLOROPLASTOS

Semelhante ao que ocorre nas mitocôndrias, das muitas teorias elaboradas, a hipótese simbiótica (figura 03-21) é a mais aceita para explicar a origem dos cloroplastos.

Essa hipótese sugere que, os cloroplastos sejam resultantes de ancestrais procariotos fotossintetizantes que sofreram endocitose, por células eucarióticas primitivas com as quais mantinham uma relação simbiótica. Esta hipótese está respaldada nas similaridades

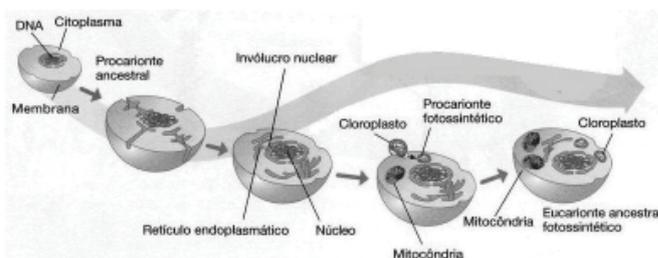


Figura 03-21 - Representação esquemática da origem dos cloroplastos.
(Fonte: Disponível em <http://sites.google.com>).

bioquímicas dos cloroplastos com as mitocôndrias, ou seja, o DNA dos cloroplastos é circular e não está associado às proteínas histônicas, seus palstorribossomos apresentam coeficiente de sedimentação de 70S, a síntese de proteínas é inibida pelo cloranfenicol e estreptomicina e o aminoácido iniciador da síntese protéica é a N-formilmethionina. Todos estes fatos reforçam a hipótese simbiótica.

BIOGÊNESE

Você está lembrado da biogênese mitocondrial? Pois bem, os cloroplastos também podem se originar de cloroplastos preexistentes, duplicando seu material genético pouco antes de ocorrer à divisão celular.

Os cloroplastos podem também se originar de proplastídios, estruturas precursoras dos plastos, muito simples, presentes nas células do embrião e dos meristemas.

No escuro, a planta tem seus proplastídios se diferenciando em etioplastos (figura 03-22). Esses etioplastos possuem a membrana dos tilacoides, desorganizada, denominada de corpos prolamelares. Estas estruturas abrigam um precursor da clorofila. Quando expostos à luz, rapidamente os tilacoides reaparecem e os etioplastos se transformam em cloroplastos, convertendo o pigmento precursor em clorofila e sintetizando enzimas fotossintéticas.

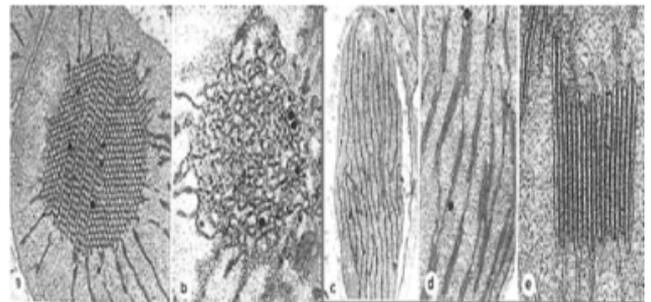


Figura 03-22 - Micrografia eletrônica demonstrando o processo de transformação de um etioplasto em cloroplasto. As figuras a, b, c, d, e acompanham uma seqüência temporal linear. (Fonte: Disponível em: <http://www.botanica.cnba.uba.ar>).

Finalmente, querido aluno, não se esqueça de que os cloroplastos são organelas semi-autônomas, porque são capazes de realizarem a replicação do seu próprio DNA, da transcrição e síntese de algumas de suas proteínas e lipídios.

Observando a figura acima, você pode visualizar as etapas de transformação de um etioplasto (a) após se expor à luz. No centro da fotografia (a), é possível observar uma estrutura (corpo prolamelar), a qual originará os tilacoides. A seguir, a exposição à luz (b), o corpo lamelar começa a se diferenciar em lamelas. Rapidamente, essas lamelas começam a se organizar, assumindo a conformação da figura (c). Logo após 24 horas de exposição à luz (d), são observados os primeiros grana (associação de membranas tilacóides). Em (e) é possível ver um grana totalmente formado.

CONCLUSÃO

Todos os organismos da Terra necessitam de energia para prover os seus processos celulares e, dessa forma, promover a manutenção da vida. Essa energia é retirada do ambiente em suas mais diversas formas e transformada em energia química, útil ao funcionamento celular.

A organela responsável por esse fornecimento de energia às células é a mitocôndria. Presente em todas as células eucarióticas, a mitocôndria converte a energia derivada dos combustíveis químicos em energia que poderá ser utilizada pelo organismo, armazenando-a em forma de ATP, molécula básica de energia do organismo. Segundo a especialista Alicia Kowaltowski, professora do Departamento de Bioquímica da Universidade de São Paulo (USP), “A mitocôndria, como se costuma dizer, é a bateria da célula, é de onde vem toda a energia para o nosso organismo funcionar”.

Esse combustível químico, por sua vez, é fornecido às células ou sob a forma de alimento ou é produzido nas próprias células. No caso das células vegetais, essa energia química é convertida a partir da energia luminosa do ambiente, principalmente a do Sol. A essas células possuidoras da propriedade de sintetizar os próprios nutrientes a partir da energia luminosa dá-se o nome de fotossintetizantes. Os cloroplastos são as organelas mais evidentes das células fotossintetizantes. Essas organelas são capazes de absorver a energia luminosa e produzir energia química, no processo de fotossíntese.

Essas organelas responsáveis pelo balanço energético celular têm sido alvo de muitos estudos, visto que, as reações em que ambas estão envolvidas são primordiais e imprescindíveis ao pleno funcionamento da célula. As mitocôndrias, em particular, por estarem mais intimamente relacionadas à fisiologia humana, despertam a curiosidade de muitos. Atualmente, existem diversos campos de pesquisa a fim de esclarecer a completa ação dessa organela em nosso organismo e, dessa forma, possibilitar diagnóstico precoce e outras opções terapêuticas a certos distúrbios orgânicos, já que alguns estudos mostram uma relação muito grande entre regulação mitocondrial e doenças metabólicas, a exemplo da obesidade e do diabetes.



RESUMO

As mitocôndrias são organelas citoplasmáticas presentes no citoplasma das células eucariontes. A forma e o tamanho são variados. A quantidade de mitocôndrias por célula está diretamente relacionada à sua demanda energética. De um modo geral, as células vegetais apresentam um número bem menor de mitocôndrias quando comparado com as células animais.

Essas organelas são delimitadas por duas membranas lipoproteicas. Essas membranas contêm fosfolípidios, porém são funcional e estruturalmente distintas. Na matriz mitocondrial, podem ser observados DNA circular, RNAr, RNAt, RNAm, ribossomos e alguns grânulos de fosfato de cálcio, fazendo com que as mitocôndrias possam ser consideradas organelas semi-autônomas, pois elas apresentam capacidade de realizarem a replicação da molécula do DNA, a transcrição dos RNAr, RNAt e RNAm e síntese proteica.

As mitocôndrias apresentam as seguintes funções: respiração celular, remoção de cálcio do citoplasma, síntese de aminoácidos e de esteroides, liberação de calor durante a hibernação de alguns animais e nos tecidos adiposos multilocular de recém-nascidos, além de exercer participação no mecanismo de morte celular programada.

É no processo de respiração que ocorre a extração de energia dos nutrientes que será armazenada em moléculas de ATP para serem posteriormente utilizadas pela célula através da oxidação de ATP em ADP (adenosina difosfato) e Pi, liberando energia para o aproveitamento imediato da célula.

Os cloroplastos são organelas citoplasmáticas discoides encontradas em células de algas verdes, azuis e de vegetais superiores. Essas organelas derivadas dos plastos contêm um pigmento chamado clorofila. A estrutura do cloroplasto é composta por duas membranas: membrana externa e membrana interna, delimitando entre elas um espaço intermembranoso. A membrana externa possui proteínas transmembranares formadoras de canais, as porinas, sendo, portanto, permeável a metabólitos de baixo peso molecular. A membrana interna, ao contrário é impermeável a essas substâncias, sendo, entretanto, permeável ao CO₂, substrato para a fotossíntese. A membrana interna dispõe-se em forma de lamelas, as quais formarão os tilacoides, local de armazenamento da clorofila. Esses tilacoides reunidos formam um granum e um conjunto de granum denomina-se grana. Delimitado pela membrana interna, tem-se o estroma, substância amorfa análoga à matriz mitocondrial.

A principal função dos cloroplastos é a fotossíntese, processo de transformação de energia luminosa em energia química. Sua reação tem como substrato luz solar, CO₂ e água, sendo oxigênio, água e carboidratos (glicose) seus produtos formados.



ATIVIDADES

1. Faça um desenho esquemático relacionado à ultraestrutura das mitocôndrias e cloroplastos, localizando cada etapa da respiração celular e fotossíntese em relação às suas respectivas membranas.
2. Faça um esquema geral da respiração celular e fotossíntese destacando os produtos desses processos catabólico e anabólico respectivamente, identificando cada uma das fases nas quais eles são formados.

COMENTÁRIO SOBRE AS ATIVIDADES

1. As atividades acima serão baseadas na sua percepção espacial sobre o assunto. Para melhor desenvolvê-las, procure analisar as figuras dispostas apresentadas na supracitada aula, correlacionando-as com o texto e as legendas disponíveis.
2. Caro aluno, essas questões deverão ser respondidas de acordo com aquilo que você assimilou durante a aula, a respeito das mais importantes funções das organelas energéticas. No texto acima, cada um desses processos encontra-se descrito com detalhes, cabendo a você pôr em prática a sua capacidade de responder com objetividade, porém satisfatoriamente.



PRÓXIMA AULA

Na próxima aula será abordado o tema Citoesqueleto, e você, caro aluno, terá a oportunidade de estudar sobre as estruturas fundamentais e importantes para a realização dos movimentos celulares.

BIBLIOGRAFIA

- ALBERTS, B.; et al. *Molecular biology of the cell*. 5 ed. New York: Garland Science, 2008.
- CARVALHO, H. F.; RECCO-PIMENTEL, S. M. **A célula**. 2 ed. Barueri: SP, Editora Manole Ltda., 2007.
- CARVALHO, H. F.; RECCO-PIMENTEL, S. M. **A célula**. 1 ed. Barueri: SP, Editora Manole Ltda., 2001.
- DE ROBERTIS, Eduardo M. F. **Bases da Biologia Celular e Molecular**. 4 ed. Editora Guanabara Koogan; Rio de Janeiro, 2007.
- FIGUEIRA, A. **Mitocôndrias e Cloroplastos**: estruturas e funções, sistemas genéticos e genomas. São Paulo, 2008.
- JUNQUEIRA, B. C. V.; CARNEIRO, J. **Biologia Celular e Molecular**. 4 ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan; 2005.
- LEHNINGER, A. L.; NELSON, D. L.; COX, M. M.; KAY, Y. **Princípios de Bioquímica**. 4 ed. São Paulo: Sarvier (Almed), 2006.