

meSalva!



# METABOLISMO ENERGÉTICO



MESOPOTÂMIA  
ASPECTOS CULTURAIS

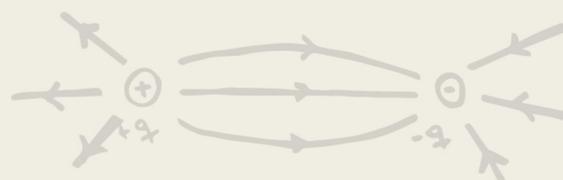
AFIXOS

CONTROLADO

SINAL DE  
REGULAÇÃO



MENTE  
SUFIXO  
CAFETERIA



MÓDULOS CONTEMPLADOS

- ✓ IMTE – Introdução ao Metabolismo Energético
- ✓ FOTS – Fotossíntese
- ✓ QUFR – Quimiossíntese e Fermentação
- ✓ RESP – Respiração
- ✓ RCME – Resumo e Comparações
- ✓ EXME - Exercícios sobre Metabolismo Energético



meSalva!



CURSO

EXTENSIVO 2017

DISCIPLINA

BIOLOGIA

CAPÍTULO

METABOLISMO ENERGÉTICO

PROFESSORES

GLÁUCIA MARQUES E  
DAIANE DE CARVALHO FIGUEIREDO





## METABOLISMO ENERGÉTICO

Você já se perguntou de onde vem a energia para que a gente possa realizar as atividades do dia a dia? Levantar de manhã, tomar café, correr até o ônibus, fazer um esporte. Para todas essas atividades precisamos ter energia. Mas você sabia que até mesmo dormindo precisamos de energia? Nós, animais, tiramos essa energia dos alimentos, já as plantas retiram do sol. Como tudo isso acontece é o que nós vamos estudar na apostila de metabolismo energético.

Chamamos de metabolismo o conjunto de reações que transformam as substâncias químicas existentes dentro de um organismo. Essas reações são reguladas por enzimas, proteínas que aceleram as reações. Em algumas reações, chamadas de anabólicas, as enzimas precisam de energia para realizar a sua função; em outras, conhecidas como reações catabólicas, energia é liberada. No metabolismo também ocorrem reações químicas em que há a troca de calor, existindo dois processos. Chamamos de endotérmicos aqueles que absorvem o calor e de exotérmicos aqueles que liberam calor.

### FOTOSSÍNTESE I

A fotossíntese é um exemplo de **reação anabólica**. Nessas reações, substâncias simples se unem formando uma outra substância mais complexa. Por formarem outra molécula, também são classificadas como **reações de síntese**. A fotossíntese é um processo realizado por seres clorofilados, bactérias fotossintetizantes e cianobactérias e **consiste na formação da molécula orgânica glicose, unindo gás carbônico, água e luz**.

A luz é composta por “pacotes” de energia chamados fótons. Em organismos fotossintetizantes, a energia presente nos fótons das radiações visíveis é captada por pigmentos especializados para a apreensão da luz de comprimentos de onda azul e vermelha. Estes pigmentos têm seus elétrons energizados, o chamado estado de “excitação”. Uma vez excitados, os elétrons tendem a voltar para o seu nível de energia original, liberando a energia captada. Esta energia pode ser dissipada, na forma de calor; emitida, na forma de fluorescência, ou convertida em energia química (fotossíntese).

Os principais pigmentos são:

- ✓ **clorofila a:** presente em cianobactérias e eucariontes fotossintéticos;
- ✓ **clorofila b:** presente em plantas e algas verdes;
- ✓ **clorofila c:** algas pardas e diatomáceas;
- ✓ **bacterioclorofila:** absorve comprimentos de onda invisíveis aos olhos (infravermelha). Ocorre em sulfobactérias púrpuras que realizam fotossíntese em que há liberação de enxofre. Vivem em local livre de oxigênio, pois o oxigênio é letal para elas e para o ecossistema que sustentam.

- ✓ **ficobilinas:** cianobactérias e algas vermelhas;
- ✓ **carotenóides:** eucariontes fotossintetizantes (representados pelos carotenos e pelas xantofilas).

Nos **cloroplastos** dos vegetais, os pigmentos se localizam nas membranas dos tilacoides; em procariotos eles ficam nas membranas fotossintéticas. É importante lembrar que as clorofilas conseguem absorver energia luminosa azul e vermelha (os melhores para a fotossíntese) com mais eficiência do que os demais pigmentos.

Os pigmentos presentes nas membranas dos tilacoides estão organizados em conjuntos chamados complexo antena. Quando a energia luminosa é captada pelo complexo antena, é transferida para um par especial de clorofilas a, que compõe o centro de reação do complexo antena. Ao receberem energia, estas clorofilas liberam elétrons para estruturasceptoras (ou receptoras) de elétrons. Cada complexo antena e seu centro de reação são chamados fotossistemas. Os fotossistemas I apresentam clorofila a em sua composição, e os fotossistemas II apresentam clorofila b em sua composição.

A etapa da fotossíntese que depende dos fotossistemas é a **etapa fotoquímica**, que ocorre em duas fases: a fotofosforilação (adição de fosfato com a presença de luz); e a fotólise da água (quebra da molécula de água em presença da luz). A fotofosforilação pode ser cíclica, quando o fotossistema I atua sozinho, ou acíclica, quando o fotossistema I atua em conjunto com o fotossistema II.

A energia obtida pela fosforilação cíclica pode ser utilizada na síntese de substâncias compostas por carbono (glicose). Esse processo recebe o nome de **fixação de carbono**, que ocorre através do ciclo de Calvin. Esta segunda etapa da fotossíntese acontece no estroma do cloroplasto e não depende de luz, mas também pode ocorrer em sua presença. No entanto, para que a fixação do carbono aconteça, é necessário que exista NADPH<sub>2</sub> e ATP, produtos da etapa fotoquímica. O ciclo de Calvin corresponde à fase escura.



FIGURA 1: SIMPLIFICAÇÃO DA FOTOSSÍNTESE

Lembre-se! A origem do gás oxigênio liberado durante a fotossíntese é a fotólise da água, e não o CO<sub>2</sub>.

## FOSFORILAÇÃO ACÍCLICA

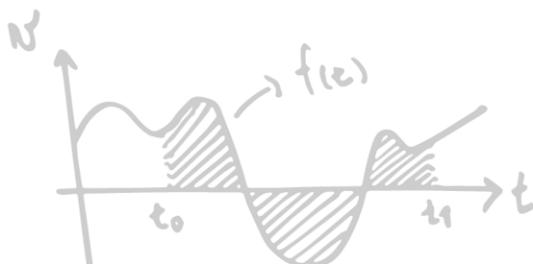
O fotossistema I atua em conjunto com o fotossistema II. No **fotossistema I**, quando as clorofilas a recebem energia luminosa, liberam elétrons energizados para substânciasceptoras de elétrons (ferredoxinas). Ao mesmo tempo, a luz atinge moléculas de água com energia suficiente para provocar fotólise (quebra de moléculas através da absorção de fótons) da água, originando  $O_2$  (liberado para a atmosfera) e mais elétrons e prótons provenientes dos átomos de hidrogênio. As ferredoxinas transferem os elétrons ao NADP. Uma vez de posse de dois elétrons, se o NADP receber mais dois prótons, isso equivalerá a ter recebido dois átomos de hidrogênio completos. Cada molécula de NADP recebe dois prótons oriundos da fotólise da água ( $NADPH_2$ ) e cada par de elétrons provenientes da água se dirige à molécula de clorofila b, que teve dois elétrons arrancados pela energia luminosa. Ocorre a síntese de  $NADPH_2$ , em que há conversão de energia luminosa em energia química.

No **fotossistema II**, ao atingir a clorofila b, a energia contida na luz provoca saída de elétrons da molécula de clorofila. Os elétrons excitados são transferidos para uma substância aceptora chamada plastoquinona. Da plastoquinona os elétrons são transferidos para uma série de aceptores cujo nível energético é cada vez menor. A energia contida nos elétrons é liberada e armazenada nas ligações químicas do ATP (ADP + fosfato). Em seu estado energético normal, os elétrons vão para a molécula de clorofila a; ocorre a síntese de ATP (fotofosforilação), em que há conversão de energia luminosa em energia química.

Na fotofosforilação acíclica, os elétrons liberados pela clorofila a não retornam ao fotossistema I.

## FOSFORILAÇÃO CÍCLICA

Envolve **apenas o fotossistema I** e ocorre ao mesmo tempo que a fotofosforilação acíclica. A luz atinge a clorofila a, que libera elétrons para a ferredoxina. Da ferredoxina, os elétrons passam para uma cadeia de transportadores de elétrons (constituída por citocromos), por meio dos quais volta aos níveis mais baixos de energia. A energia liberada é utilizada para a formação de ATP (ADP+ fosfato); os elétrons retornam para a clorofila a, seu composto de origem; ocorre a síntese de ATP (fotofosforilação), em que o elétron que deixou a clorofila a retorna ao seu composto de origem após liberar a energia excedente, caracterizando um processo cíclico.



## CICLO DE CALVIN

Começa e termina pelo monossacarídeo (5 carbonos) ribulose-1,5-difosfato (RuDP), por isso a **fase escura** se trata de um ciclo. Seis moléculas de RuDP combinam-se a seis moléculas de CO<sub>2</sub> (processo chamado de carboxilação), formando doze moléculas de ácido fosfoglicérico (PGA), composto por três carbonos. Cada PGA é reduzido pelo NADPH<sub>2</sub> e pelo ATP. São convertidas em gliceraldeído-fosfato (PGAL), composto por três carbonos/doze moléculas de PGAL. Dez moléculas de PGAL combinam-se para formar seis moléculas de RuDP, com cinco carbonos cada, voltando ao início do ciclo. As duas moléculas de PGAL excedentes representam o ganho líquido do processo. A glicose, produto final da fotossíntese, é composta por 6 carbonos (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>) e precisa que duas moléculas de PGAL se combinem para ser formada.



FIGURA 2: EQUAÇÃO DO CICLO DE CALVIN.

Note que:

- ✓ o número de moléculas de RuDP não se alterou;
- ✓ o número de moléculas de CO<sub>2</sub> é o mesmo que o de átomos de carbono da glicose;
- ✓ o número de ATP, Pi e ADP é o mesmo;
- ✓ o número de NADPH<sub>2</sub> é o mesmo que o de NADP e o de hidrogênios da glicose.

## FATORES LIMITANTES DA FOTOSÍNTESE

Alguns fatores interferem no processo da fotossíntese. São eles:

- ✓ **luz:** a intensidade luminosa e comprimento de onda que atingem o vegetal são fatores que podem incentivar ou limitar a taxa fotossintética (o excesso de luz pode prejudicar os pigmentos);
- ✓ **disponibilidade de água:** a desidratação de cloroplastos pode provocar redução da atividade enzimática;
- ✓ **poluentes atmosféricos:** limitam a intensidade de luz e podem filtrar alguns comprimentos de onda;
- ✓ **CO<sub>2</sub>:** com o aumento da taxa de concentração atmosférica até 1%, há um aumento na taxa fotossintética, mas, depois disso, o processo é inibido pela formação de ácido carbônico (aumento de Ph – desnaturação proteica);
- ✓ **temperatura:** geralmente, acima dos 50°C há desnaturação das enzimas que participam do processo fotossintético;



## QUIMIOSSÍNTESE

Existem seres autótrofos, como **bactérias**, que usam a energia retirada de reações químicas de oxidação de compostos inorgânicos para produzir seus compostos orgânicos a partir de gás carbônico e água. Este tipo de síntese não envolve pigmentos.

Um bom exemplo são bactérias que oxidam o sulfeto de hidrogênio para produzir energia. Esta energia será utilizada para processos de fixação do carbono.

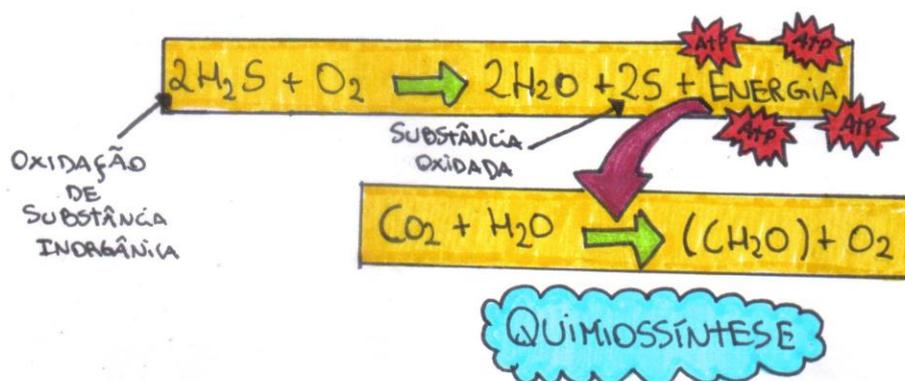
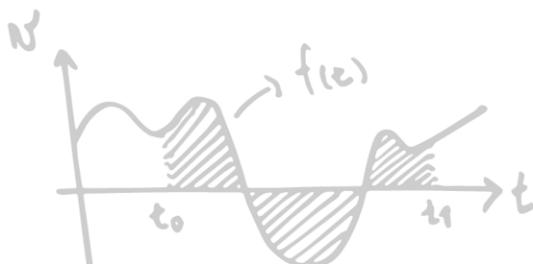


FIGURA 3: REAÇÃO DE OXIDAÇÃO ELABORADA PELAS BACTÉRIAS QUIMIOSSINTETIZANTES.

Algumas bactérias que fazem quimiossíntese:

- ✓ **ferrobactérias**: oxidam compostos de ferro para sintetizar a matéria orgânica (ferrugem);
- ✓ **nitrobactérias**: oxidam íons amônio ou nitrito para sintetizar matéria orgânica. O produto desta oxidação é o nitrato, forma de nitrogênio que pode ser assimilada pelas plantas.



## RESPIRAÇÃO

Em fotossíntese estudamos que os glicídios têm sua energia armazenada nas ligações químicas entre átomos que os constituem. A respiração consiste no processo de **síntese de ATP**, que envolve uma cadeia respiratória. Pode ocorrer na presença de oxigênio, sendo aeróbia, ou na ausência de oxigênio, sendo anaeróbia. A respiração aeróbia possui o oxigênio comoceptor final de hidrogênios; e a anaeróbia possui comoceptor final de hidrogênios uma substância como o sulfato e o nitrato, mas nunca o oxigênio.

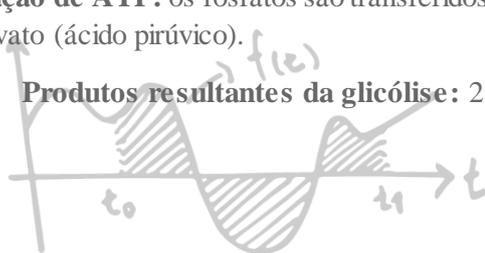
A **respiração aeróbia** é realizada por muitos procariontes, protistas, fungos, plantas e animais. Existem quatro etapas interligadas na respiração: a **glicólise**, que não depende de oxigênio – em procariontes ocorre no citoplasma celular, e em eucariontes no citosol; o **ciclo de Krebs**, que depende de oxigênio – em procariontes ocorre no citoplasma celular, e em eucariontes no interior das mitocôndrias; e a **cadeia respiratória** e **fosforilação oxidativa**, que em procariontes ocorrem na face interna da membrana plasmática e em eucariontes ocorrem no interior das mitocôndrias.

## GLICÓLISE

O ponto de partida da respiração celular é a glicólise. Em eucariontes, a glicólise (quebra da molécula de glicose em dois ácidos pirúvicos/piruvatos) acontece no **citossol**, em várias etapas comandadas por diferentes enzimas. São elas:

- 1. ativação:** a molécula de glicose recebe um fosfato (ATP  $\rightarrow$  ADP) e vira glicose-6-fosfato;
- 2. mudança conformacional:** frutose-6-fosfato (fórmula idêntica à glicose);
- 3. recebimento de novo fosfato:** frutose-1,6-difosfato (ATP  $\rightarrow$  ADP);
- 4. fragmentação:** formação de dois compostos de três carbonos (gliceraldeído-3-fosfato);
- 5. oxidação dos gliceraldeídos:** perdem átomos de hidrogênio energizados para moléculas de NAD, que sofrem redução (NAD  $\rightarrow$  NADH<sub>2</sub>). Além disso, esta reação libera energia suficiente para que um fosfato seja incorporado aos carbonos de ambas as moléculas de gliceraldeído (ligações energéticas). Obtêm-se duas moléculas de 1,3-difosfoglicerato;
- 6. formação de ATP:** os fosfatos recém-incorporados pelas moléculas de difosfoglicerato são liberados para formação de dois ATPs (ADP + Pi  $\rightarrow$  ATP);
- 7. desidratação:** pela perda de uma molécula de água, forma-se o ácido fosfoglicérico (fosfoenolpiruvato). Estas alterações tornam o fosfato altamente energético;
- 8. formação de ATP:** os fosfatos são transferidos para duas moléculas de ADP. Formação de ATP e piruvato (ácido pirúvico).

**Produtos resultantes da glicólise:** 2 ácidos pirúvicos, 2 ADPs, 4 ATPs e 2 NADH<sub>2</sub>.



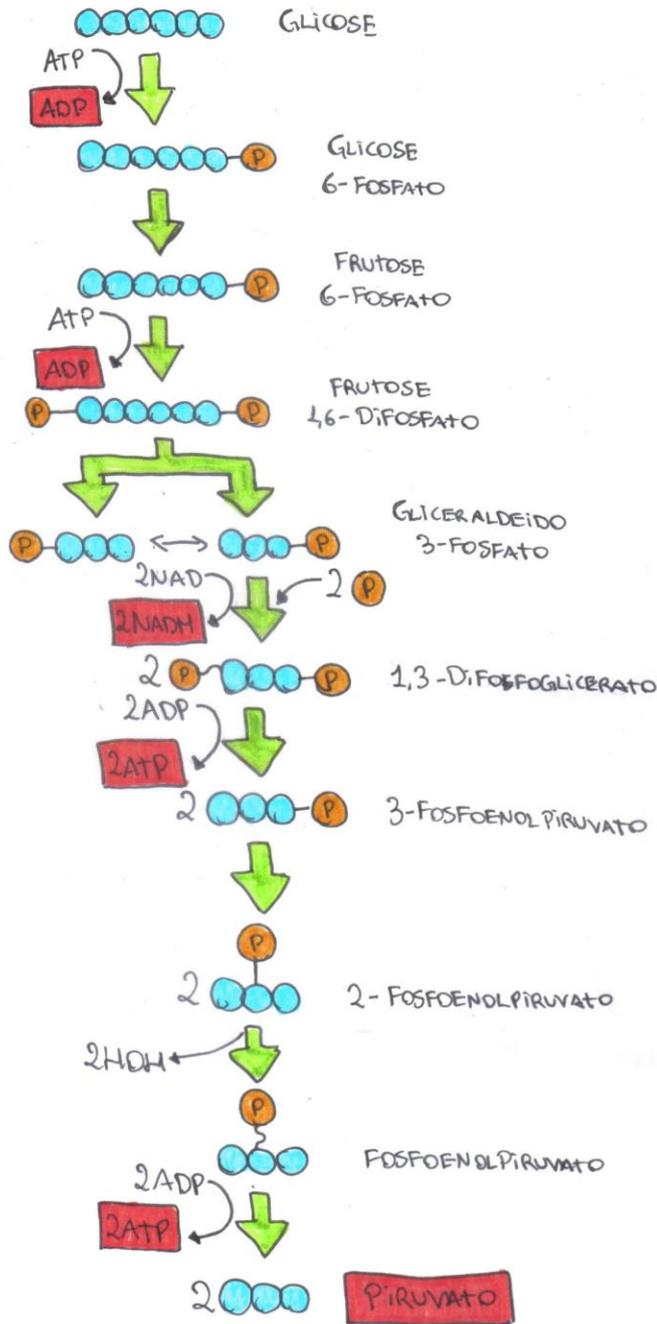
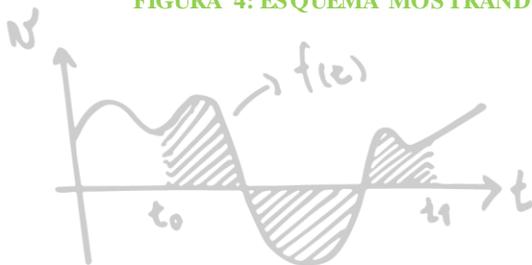


FIGURA 4: ESQUEMA MOSTRANDO A GLICÓLISE E SEUS PRODUTOS.



CICLO DE KREBS (CK)

Ocorre na **matriz da mitocôndria**, utilizando o piruvato produzido ao final da glicólise. Começa e termina pelo ácido oxalacético.

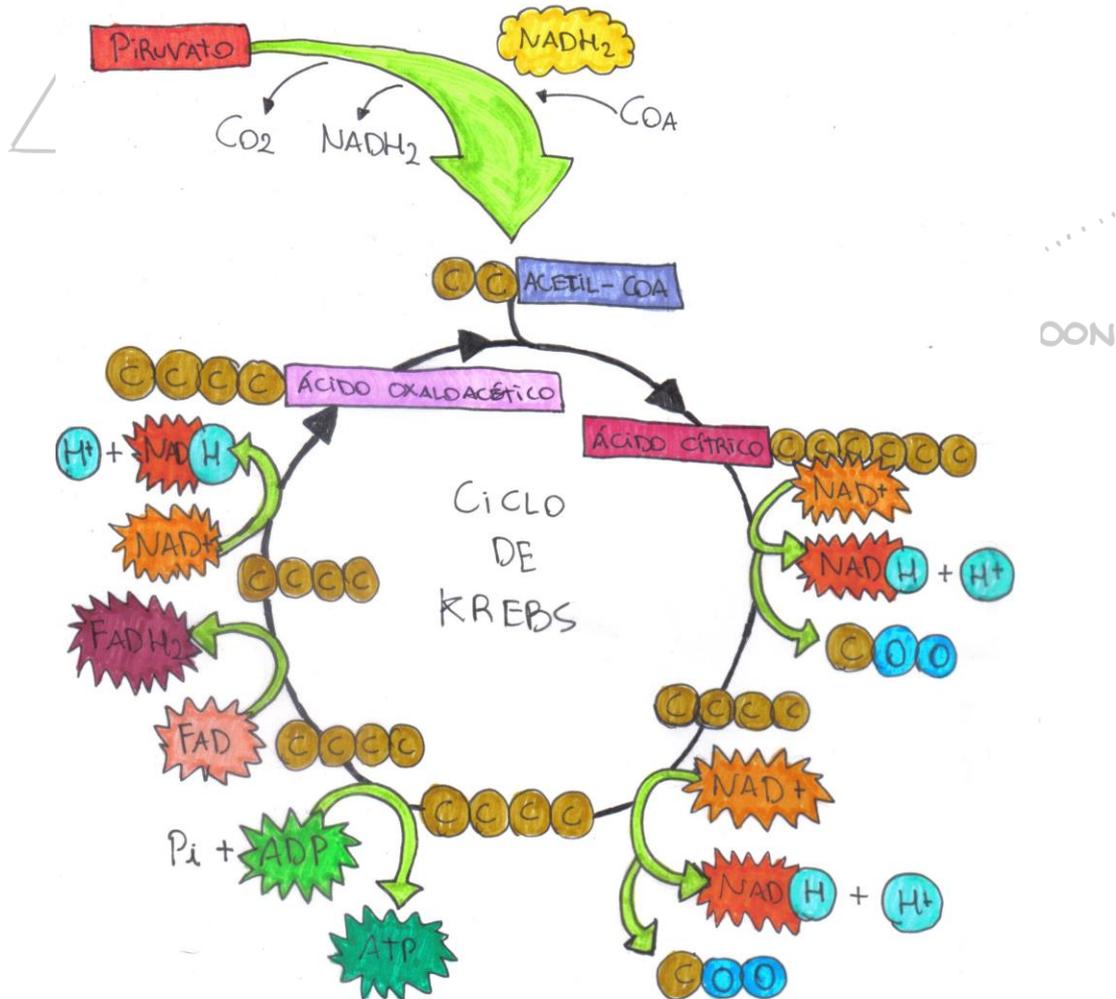


FIGURA 5: SÍNTESE DO CICLO DE KREBS.

- 1. oxidação do piruvato:** as moléculas de ácido pirúvico (3C) perdem o grupo carboxila (COOH), transformando-se em acetila e liberando CO<sub>2</sub>. Para cada piruvato oxidado são liberados dois hidrogênios, formando NADH<sub>2</sub>;
- 2. coenzima A (CoA):** unindo-se à acetila, a coenzima A gera a acetil-coenzima A, ou apenas Acetil – CoA;
- 3.** a Coenzima A entrega a acetila ao ácido oxaloacético (4C), que origina o ácido cítrico;
- 4.** o ciclo prossegue com algumas reações que liberam dois CO<sub>2</sub>, que culminam com a regeneração do ácido oxalacético. A energia liberada por essas reações é utilizada para síntese de ATP, de três moléculas de NADH<sub>2</sub> e uma molécula de FADH<sub>2</sub>.

**Produtos resultantes do Ciclo de Krebs:** Como cada molécula de glicose é convertida em duas moléculas de acetila, o ganho, por molécula de glicose, é 2 ATP, 6 NADH<sub>2</sub> e 2 NADH<sub>2</sub>.



## ENCRUZILHADA METABÓLICA CELULAR

Sabemos que os carboidratos digeridos pelos seres vivos produzem vários monossacarídeos, entre eles a glicose. Quando as células recebem esses monossacarídeos, parte fica armazenada e parte entra no processo de respiração celular. Acontece que as proteínas e gorduras também podem participar da respiração celular como fonte de energia: após a degradação no sistema digestório, proteínas formam vários aminoácidos que podem dar origem a novas proteínas ou, quando em excesso, participar da respiração celular. São convertidos em piruvato ou em produtos intermediários do Ciclo de Krebs por um processo chamado desaminação (remoção do grupo  $\text{NH}_2$  – eliminado como uréia, amônia ou ácido úrico).

As gorduras, depois da digestão, são convertidas em ácidos graxos e glicerol. O glicerol é convertido em intermediários da glicólise e os ácidos graxos são convertidos pelos peroxissomos em intermediários do ciclo de Krebs. A queima de gorduras no CK produz mais ATP do que a queima da mesma quantidade de carboidratos ou proteínas.

## CADEIA RESPIRATÓRIA

Os elétrons energizados que foram armazenados nas ligações químicas de  $\text{NADH}_2$  e  $\text{FADH}_2$  serão oxidados (cederão os elétrons juntamente com os prótons de hidrogênio) para uma cadeia de citocromos, através da qual a energia é gradativamente liberada. Esta energia é utilizada na síntese de ATP a partir de ADP e  $\text{P}_i$  (fosforilação oxidativa).

Ao final da cadeia de citocromos, os elétrons em seu estado fundamental (sem energia) se combinam com um oxigênio e com prótons de hidrogênios (íons  $\text{H}^+$ ), produzindo moléculas de água. Desta forma o oxigênio é o aceptor final de elétrons da cadeia respiratória.

Como o processo de degradação da glicose envolve a liberação de moléculas de gás carbônico, a utilização de oxigênio como aceptor final de elétrons e a formação de uma molécula de água recebe o nome de respiração aeróbia.

Dados energéticos:

- ✓ cada par de elétrons oriundo do  $\text{NADH}_2$  possui energia suficiente para a produção de três ATPs;
- ✓ cada par de elétrons oriundos do  $\text{FADH}_2$  possui energia suficiente para a produção de dois ATPs.



## PRODUTOS DA GLICÓLISE (EM AZUL)

$$2\text{NADH}_2 \times 3\text{ATP (RENDIMENTO POR MOLÉCULA DE NADH}_2) = 6\text{ATP} \\ + 2\text{ATP} = 8\text{ATP}$$

2 ÁCIDO PIRÚVICOS → ACETIL COA

$$2\text{NADH}_2 \times 3\text{ATP} = 6\text{ATP}$$

## PRODUTOS DO CICLO DE KREBS PARA DUAS MOLÉCULAS DE PIRUVATO (EM VERDE)

$$6\text{NADH}_2 \times 3\text{ATP} = 18\text{ATP}$$

$$2\text{FADH}_2 \times 2\text{ATP} = 4\text{ATP} \quad + 2\text{ATP} = 24\text{ATP}$$

TOTAL = 38ATP

FIGURA 6: BALANÇO ENERGÉTICO.

## RESPIRAÇÃO ANAERÓBICA E FERMENTAÇÃO

A **respiração anaeróbia** possui como aceptor final de hidrogênios uma substância como o sulfato e o nitrato, mas nunca o oxigênio. Através dessa respiração, as bactérias desnitrificantes devolvem à atmosfera o  $\text{N}_2$ . Como estas bactérias são intolerantes ao oxigênio, a desnitrificação ocorre geralmente em ambientes pantanosos, onde há pouco ou nenhum oxigênio.

A **fermentação** é a síntese de ATP na ausência de oxigênio. Neste processo, a glicose é degradada somente até piruvato, que é convertido em outro composto. O aceptor final de hidrogênios é um composto orgânico. Nesses processos, há um saldo de apenas 2ATP por molécula de glicose degradada. A fermentação acontece no citossol.

Na **fermentação láctica**, o piruvato é convertido em ácido láctico pela utilização de íons hidrogênio transportados pelos NADH formados na glicólise – ação bacteriana sobre os açúcares do leite pode formar iogurtes, queijos, coalhadas, entre outros. Este tipo de fermentação pode ser realizado por bactérias, alguns fungos e protozoários e por células do tecido muscular humano (atividades físicas intensas podem esgotar o oxigênio disponível).

Já na **fermentação alcoólica** o piruvato é transformado em etanol e gás carbônico. É realizado por algumas bactérias e leveduras. As leveduras que utilizam esta via energética originam bebidas alcoólicas, álcool combustível, pães, etc.

## RESUMO E COMPARAÇÕES

Nesta apostila, estudamos os processos bioquímicos responsáveis pela disponibilização da energia para os seres vivos. Nesse sentido, a fotossíntese representa o primeiro passo: a transformação da energia da luz, na forma de ondas eletromagnéticas, em energia química, na forma das ligações químicas de compostos orgânicos. A quimiossíntese, por sua vez, gera esses compostos sem utilização da luz solar, mas oxidando moléculas inorgânicas presentes na natureza.

Já os processos de fermentação e respiração tratam de transformar os compostos orgânicos disponibilizados por seres autotróficos em outros compostos, dos quais consigam utilizar a energia diretamente. A respiração tem um maior rendimento, mas necessita de um aceptor de elétrons (no caso da respiração aeróbica, o oxigênio). Já na fermentação, a mesma quantidade de açúcar gera uma quantidade menor de ATP, mas o processo ocorre mesmo na ausência de um aceptor de elétrons e de forma mais rápida e simplificada. A fermentação também é importante, pois possibilita que micro-organismos reciclem a matéria orgânica, quebrando suas ligações, utilizando sua energia e liberando compostos inorgânicos para o ambiente.

meSalva!

