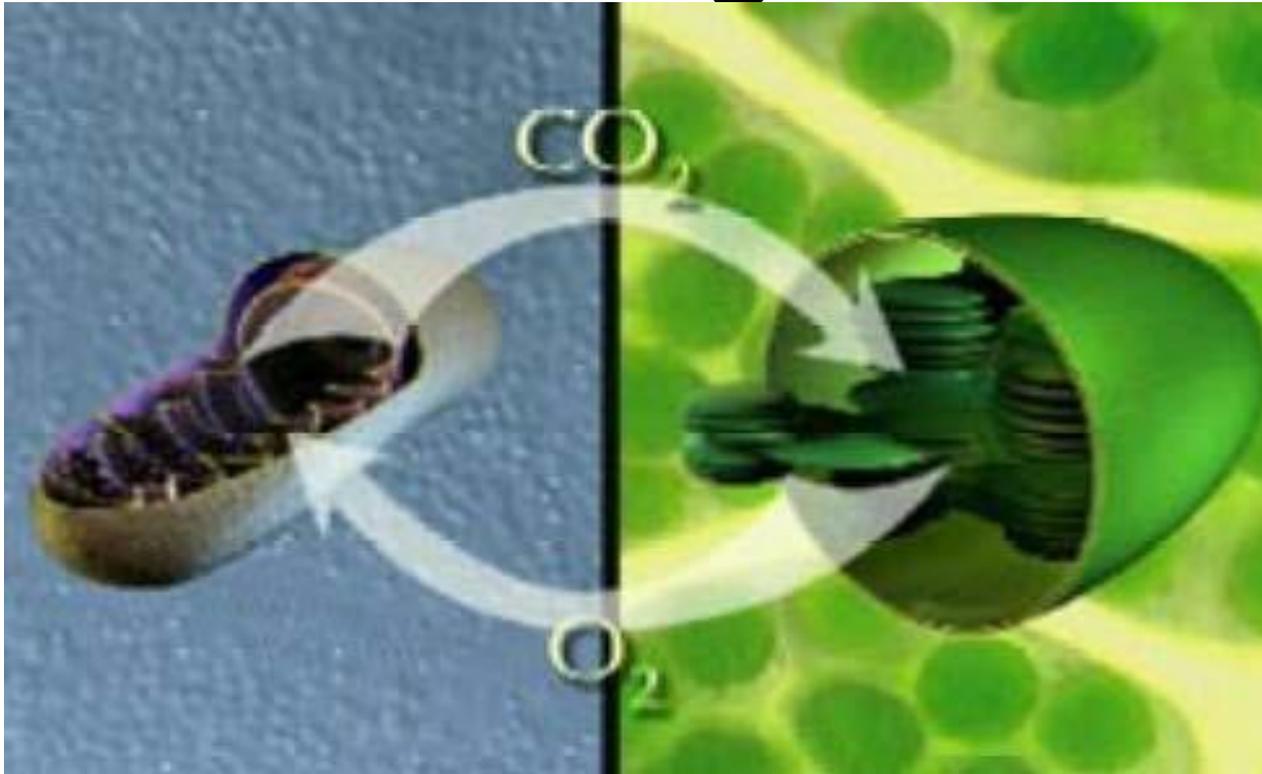


# Como as células obtêm energia.

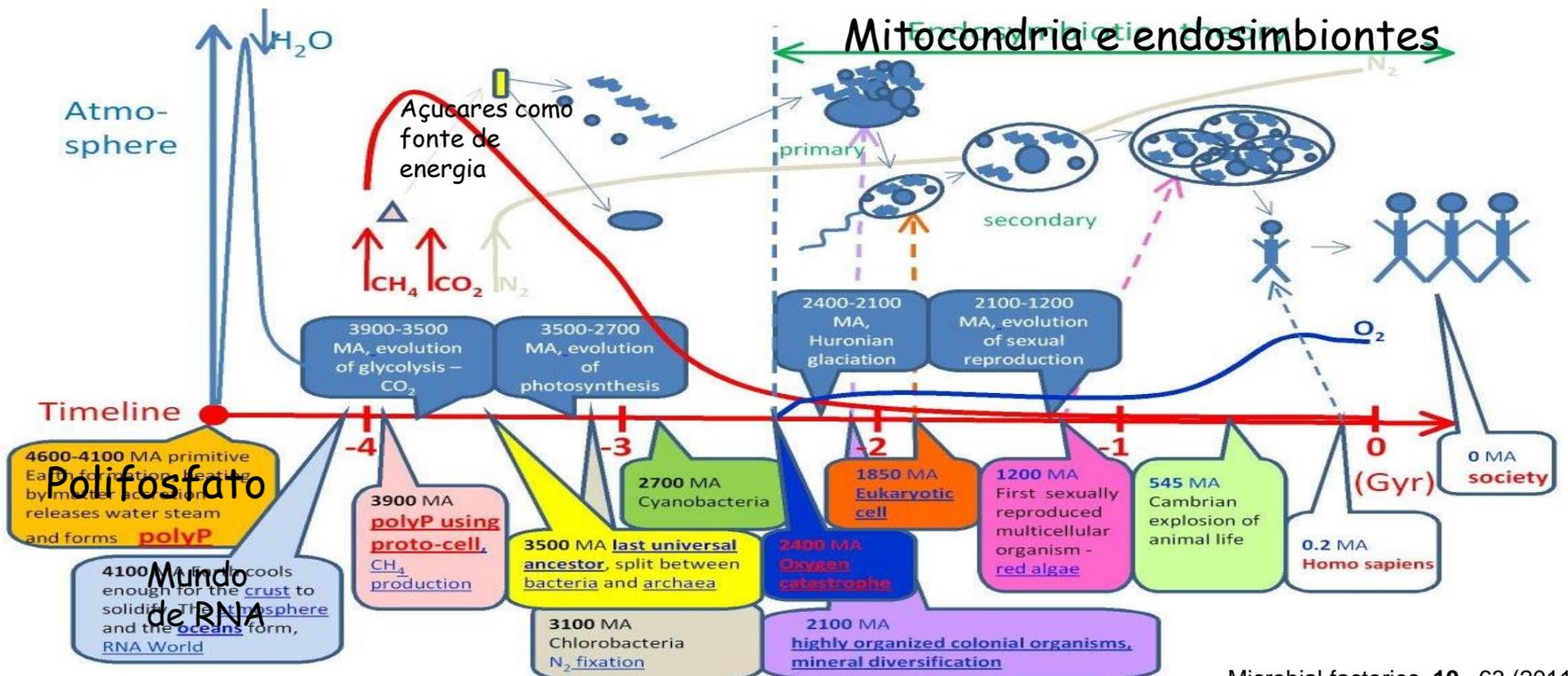


# Onde está a energia?

- Sol é a fonte de toda a energia
- Através da fotossíntese, as plantas convertem energia solar em energia química, estocada em açúcares ou outras formas.
- Outros organismos consomem estas moléculas e convertem a energia química para seu uso (animais e saprofitas)
- A energia química portanto depende da ingestão de alimentos, como no automóvel.
  - O catabolismo de açúcares é a forma mais rápida e eficiente de obtenção da energia química.

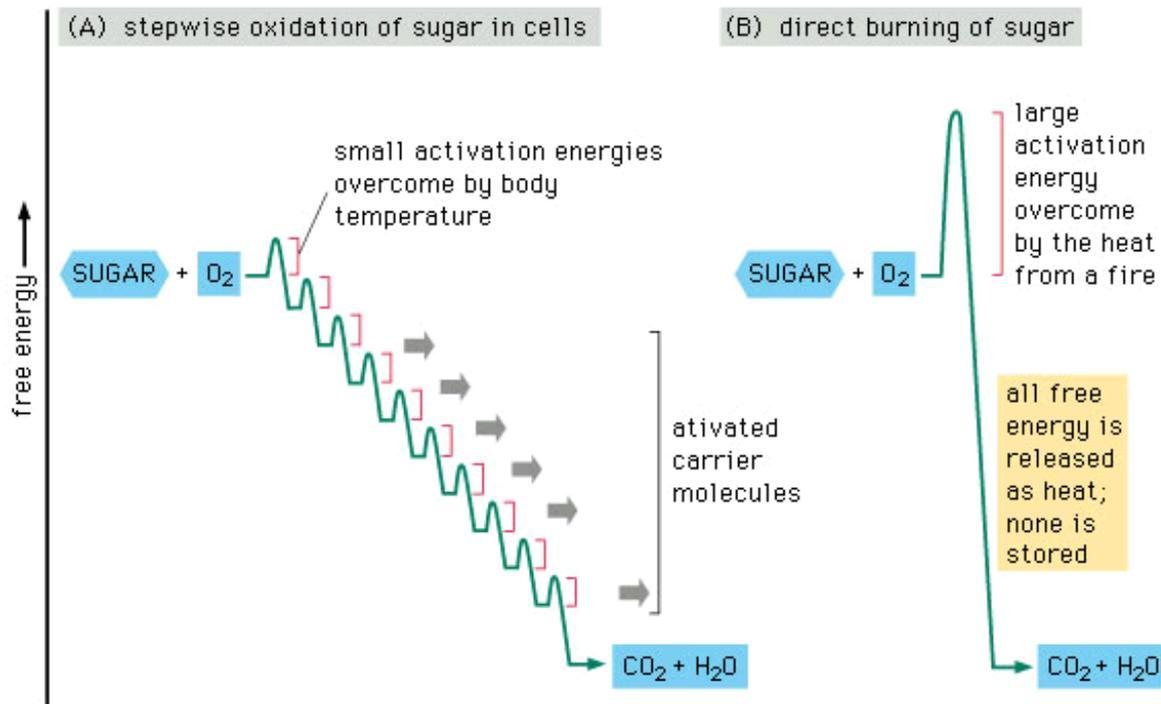
# A vida processa energia química

- Os primeiros seres vivos selecionaram formas de estocar e utilizar energia.
  - Captar energia de degradações químicas extremas em pirofosfatos
    - A partir de carbonatos, sulfetos e outros minerais alcalinos ou ácidos
- Todos eles envolvem uma reação de pirofosfato polimérico, um sistema conversível e simples de energia química.
  - Podia ser encontrado na natureza e também sintetizado. Muito forte osmoticamente, difícil de manter no meio intracelular. O ATP é um transportador de pirofosfato.
  - Açúcares são mais amigáveis. Dá trabalho mas conservam e produzem energia de forma mais amigável, permitindo a reciclagem do ATP



# Açúcares → Energia química

- O processo usa um padrão escalar, de pequenos passos energéticos, para não transformar muito em calor, diferente da combustão.
- O metabolismo aeróbico (com consumo de  $O_2$ ) é o mais lucrativo
- Glucose começa e seus metabólitos são também oxidados, por ação de enzimas
- As reações de oxidação devem ser acopladas com as de redução, com moléculas que são catalistas e renovadas (NADH and NADPH)



# Açúcares → Energia química

- Os produtos finais do catabolismo de açúcares:
  - $\text{CO}_2$
  - $\text{H}_2\text{O}$
  - Catalistas ativados no processo
    - NADH
    - NADPH
      - Na mitocôndria, estas catalistas transferem a energia por oxidação. (perde electrons)
      - Estes electron entre na cadeia de transporte de eletetrons da mitocôndria, gerando ATP.

# Localização dos processos de digestão e processamento de açúcares, até em nível celular

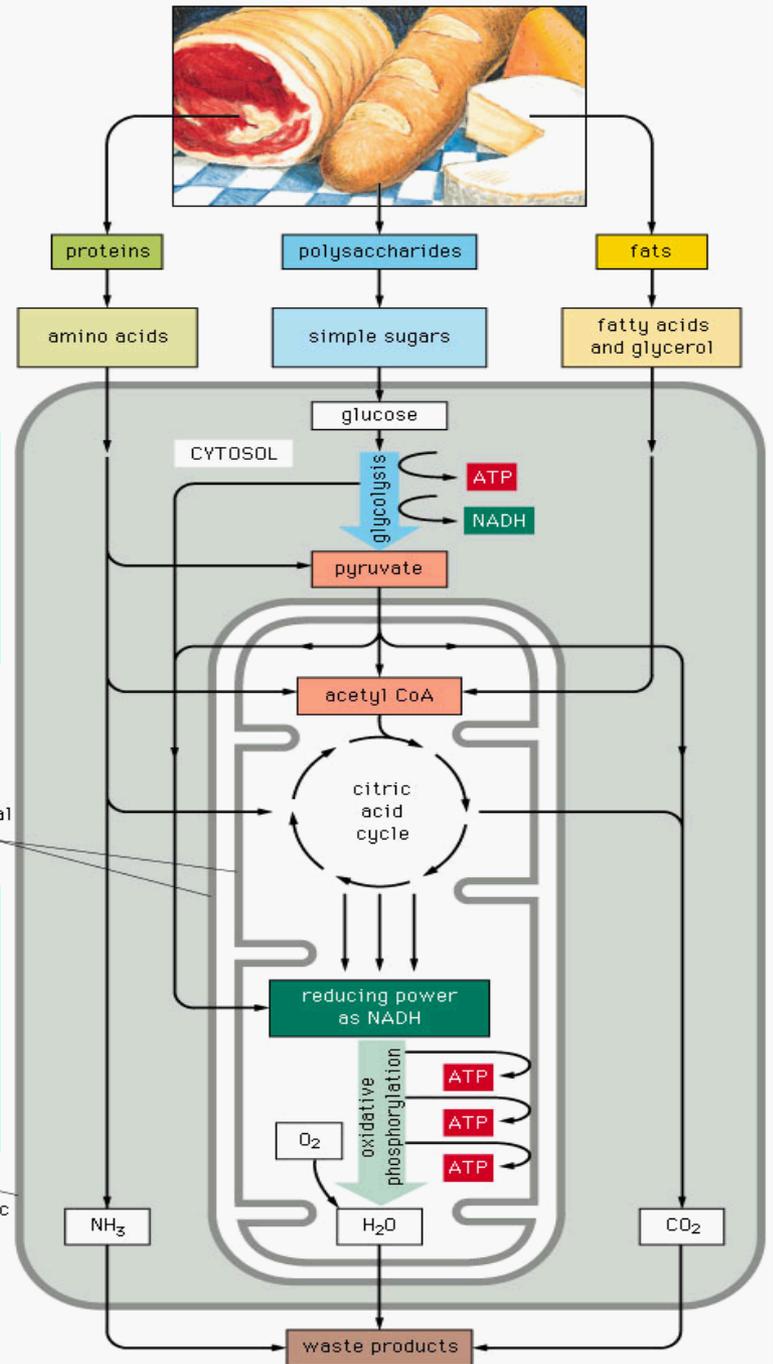
Digestão a monomeros

Quebras de monomeros a acetil-CoA, com pequena produção de catalistas - Glicólise

A Acetil CoA é transportada para a mitocôndria onde é convertida a água e CO<sub>2</sub> com produção grande de NADH e ATP (rendimento de 25%)

mitochondrial membranes

plasma membrane of eucaryotic cell



# A glicólise

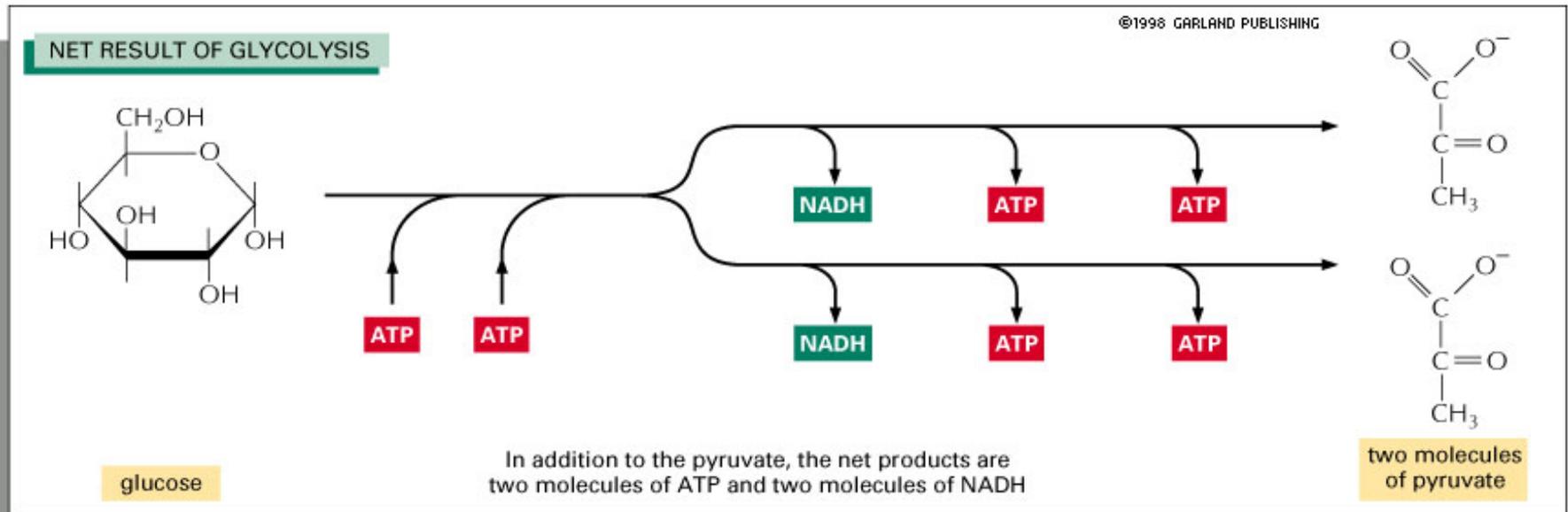
- A glicose é transportada para o citoplasma
  - difusão ou por transporte ativo
  - insulina e potássio (K<sup>+</sup>)
- A glicose de 6 carbonos é clivada em duas moléculas de piruvato de 3 carbonos
  - Outros açúcares podem ser usados para a produção de piruvato.
- Cada molécula de piruvato gera duas moléculas de transporte energético
  - 2 moléculas de ATP (energia)
  - 2 moléculas de NADH (carregam elétrons)
- As moléculas de piruvato são transportadas para dentro da mitocôndria.

# O ciclo de consumo do piruvato ou ciclo de Krebs

- Na mitocôndria, o piruvato é quebrado a  $\text{CO}_2$  e os dois carbonos restantes adicionados a Acetil-CoA.
  - Acetyl CoA pode também vir de gorduras
- Cada acetyl CoA transfere seus 2 Carbono ao ciclo do ácido cítrico onde moléculas carreadoras são geradas
  - GTP carrega energia
  - $\text{NADH}/\text{FADH}_2$  carregam electrons
- Os electron são adicionados na cadeia de transporte de oxidação fosforilativa
  - Liberam energia pela oxidação **fosforil**ativa
  - $\text{O}_2$  é necessário para a reação  $\text{ADP} + \text{P}_i \rightarrow \text{ATP}$
  - ATP é transportado para o citoplasma e outros usos

# Fatores limitantes da glicólise

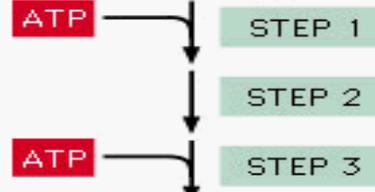
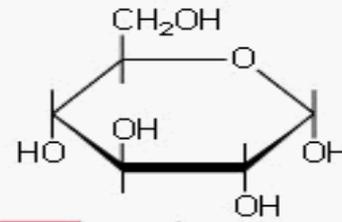
- 10 reações, catalizadas por enzimas específicas
- Os intermediários vão sendo progressivamente mais oxidados através da *via metabólica*



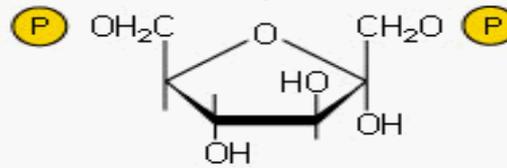
- O processamento posterior destes intermediários gera 4 ATPs.
  - O balanço final é de **2 ATP** produzidos

# Visão gráfica do processo

Uma molécula de glicose

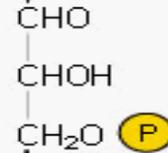


Frutose 1-6 difosfato

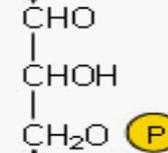


STEP 4

Duas moléculas de gliceraldeído-fosfato



STEP 5



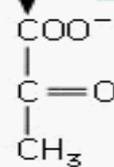
NADH → STEP 6

ATP → STEP 7

STEP 8

STEP 9

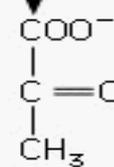
ATP → STEP 10



NADH → STEP 6

ATP → STEP 7

ATP → STEP 10



Duas moléculas de piruvato

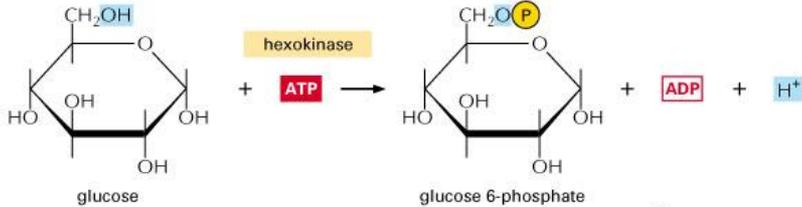
Um investimento energético a ser recuperado depois

Clivagem do açúcar de 6 carbonos em dois açúcares de 03 carbonos

Geração de Energia

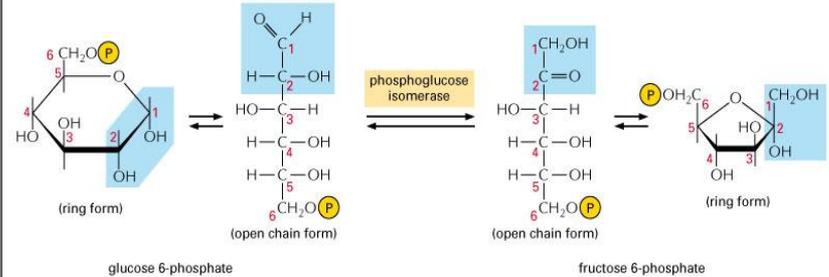
# As enzimas da glicólise

**Step 1** Glucose is phosphorylated by ATP to form a sugar phosphate. The negative charge of the phosphate prevents passage of the sugar phosphate through the plasma membrane, trapping glucose inside the cell.



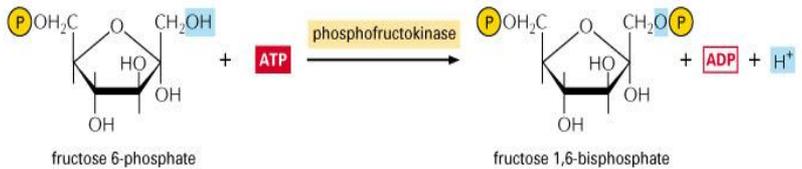
©1998 GARLAND PUBLISHING

**Step 2** A readily reversible rearrangement of the chemical structure (isomerization) moves the carbonyl oxygen from carbon 1 to carbon 2, forming a ketose from an aldose sugar. (See Panel 2-3, pp. 56-57.)



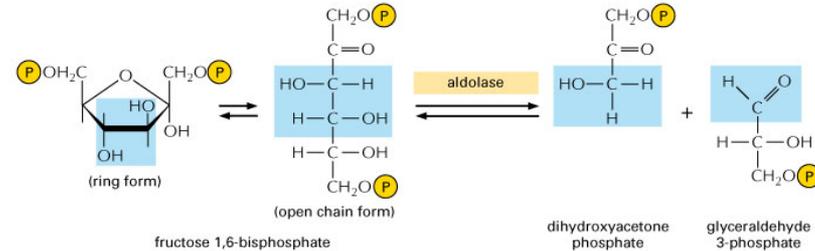
©1998 GARLAND PUBLISHING

**Step 3** The new hydroxyl group on carbon 1 is phosphorylated by ATP, in preparation for the formation of two three-carbon sugar phosphates. The entry of sugars into glycolysis is controlled at this step, through regulation of the enzyme *phosphofructokinase*.



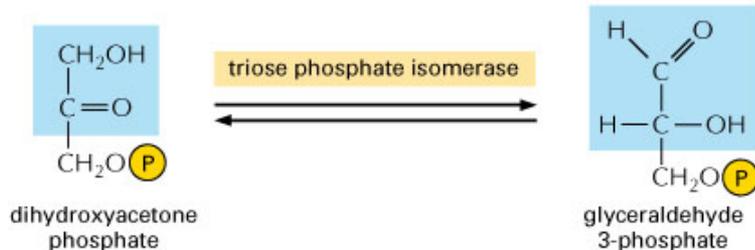
©1998 GARLAND PUBLISHING

**Step 4** The six-carbon sugar is cleaved to produce two three-carbon molecules. Only the glyceraldehyde 3-phosphate can proceed immediately through glycolysis.



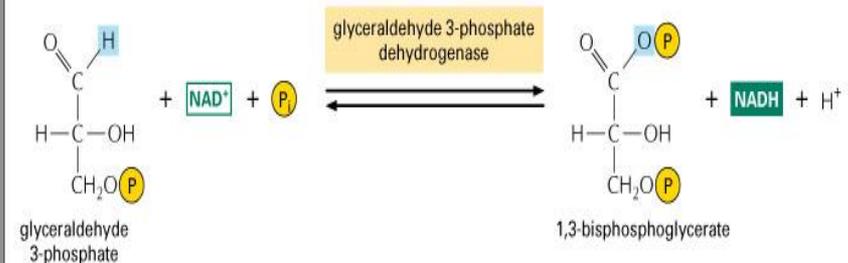
©1998 GARLAND PUBLISHING

**Step 5** The other product of step 4, dihydroxyacetone phosphate, is isomerized to form glyceraldehyde 3-phosphate.



©1998 GARLAND PUBLISHING

**Step 6** The two molecules of glyceraldehyde 3-phosphate are oxidized. The energy generation phase of glycolysis begins, as NADH and a new high-energy anhydride linkage to phosphate are formed (see Figure 4-5).



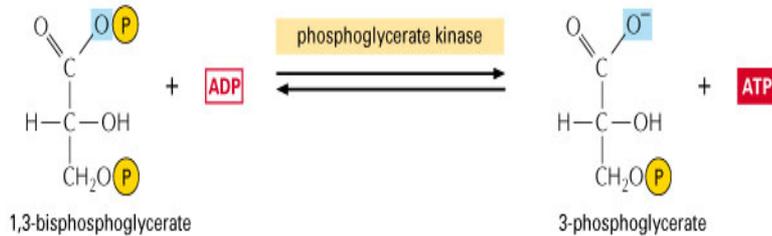
©1998 GARLAND PUBLISHING

# As enzimas da glicólise

## Step 7

The transfer to ADP of the high-energy phosphate group that was generated in step 6 forms ATP.

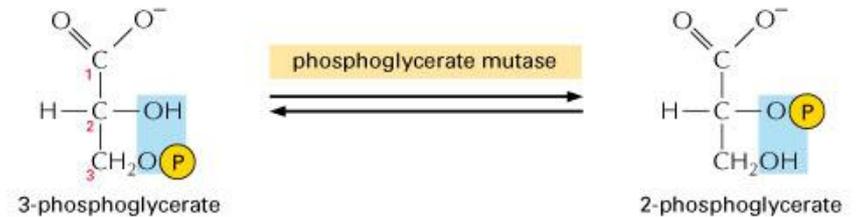
©1998 GARLAND PUBLISHING



## Step 8

The remaining phosphate ester linkage in 3-phosphoglycerate, which has a relatively low free energy of hydrolysis, is moved from carbon 3 to carbon 2 to form 2-phosphoglycerate.

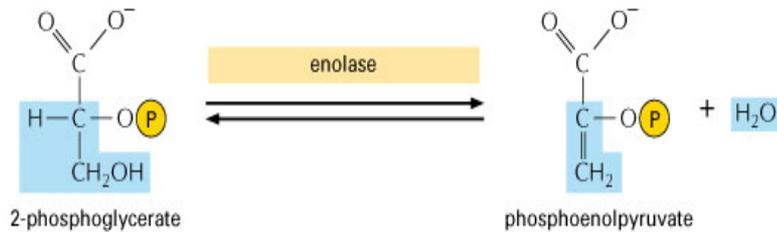
©1998 GARLAND PUBLISHING



## Step 9

The removal of water from 2-phosphoglycerate creates a high-energy enol phosphate linkage.

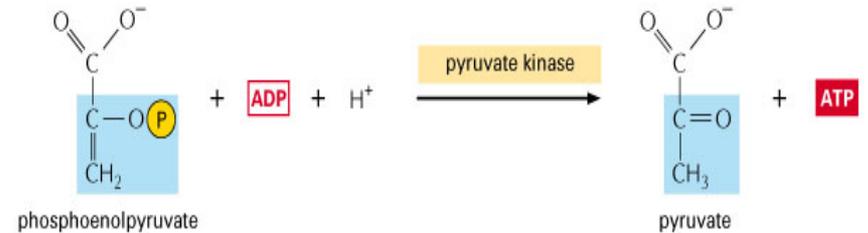
©1998 GARLAND PUBLISHING



## Step 10

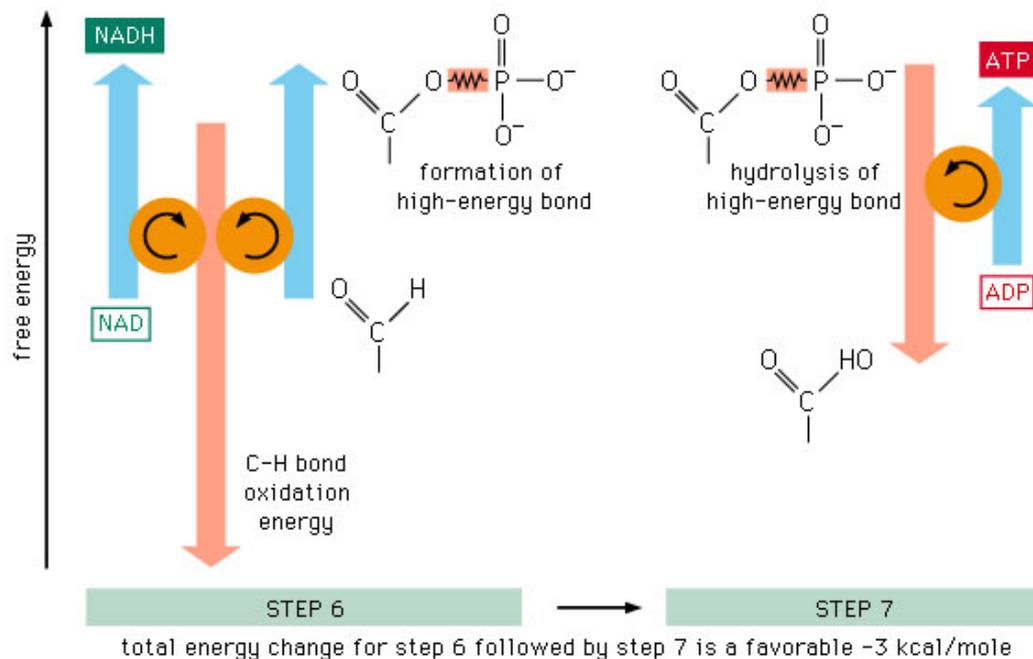
The transfer to ADP of the high-energy phosphate group that was generated in step 9 forms ATP, completing glycolysis.

©1998 GARLAND PUBLISHING



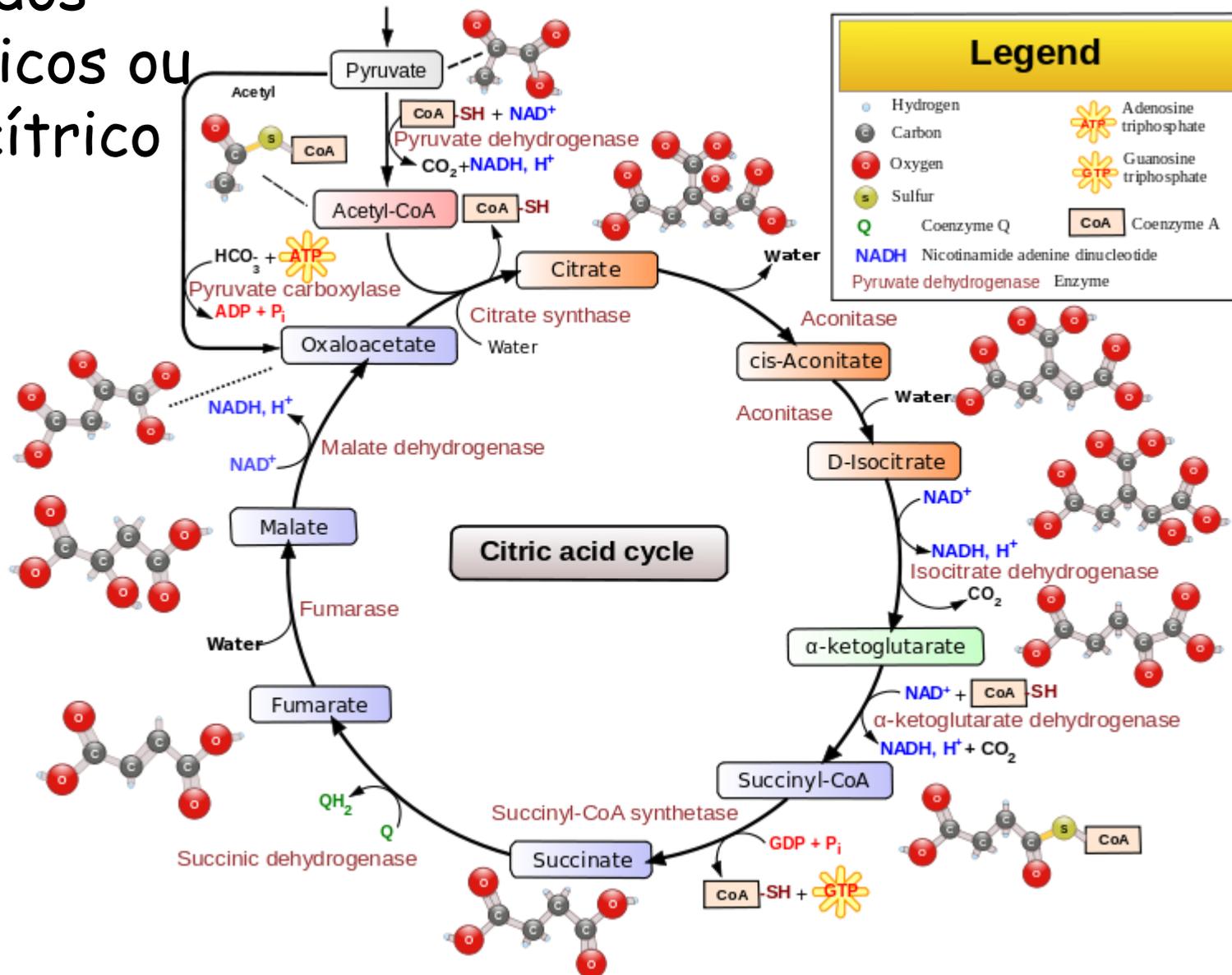
# Balanço energético

- Este é um processo de guardar energia mediado por enzimas ligado a reações que criam ligações químicas energéticas
- Cada um dos intermediários tem mais energia que o anterior
  - Tem uma ponte de fosfato de alta energia (a 2ª maior)
  - Usa uma molécula de NADH que vai gerar mais energia quando participar da oxidação fosforilativa.



# Ciclo de Krebs ou dos ácidos tricarboxílicos ou do ácido cítrico

- Primeiro precisa quebrar a glicose a piruvato



# As ligações de fosfato energéticas

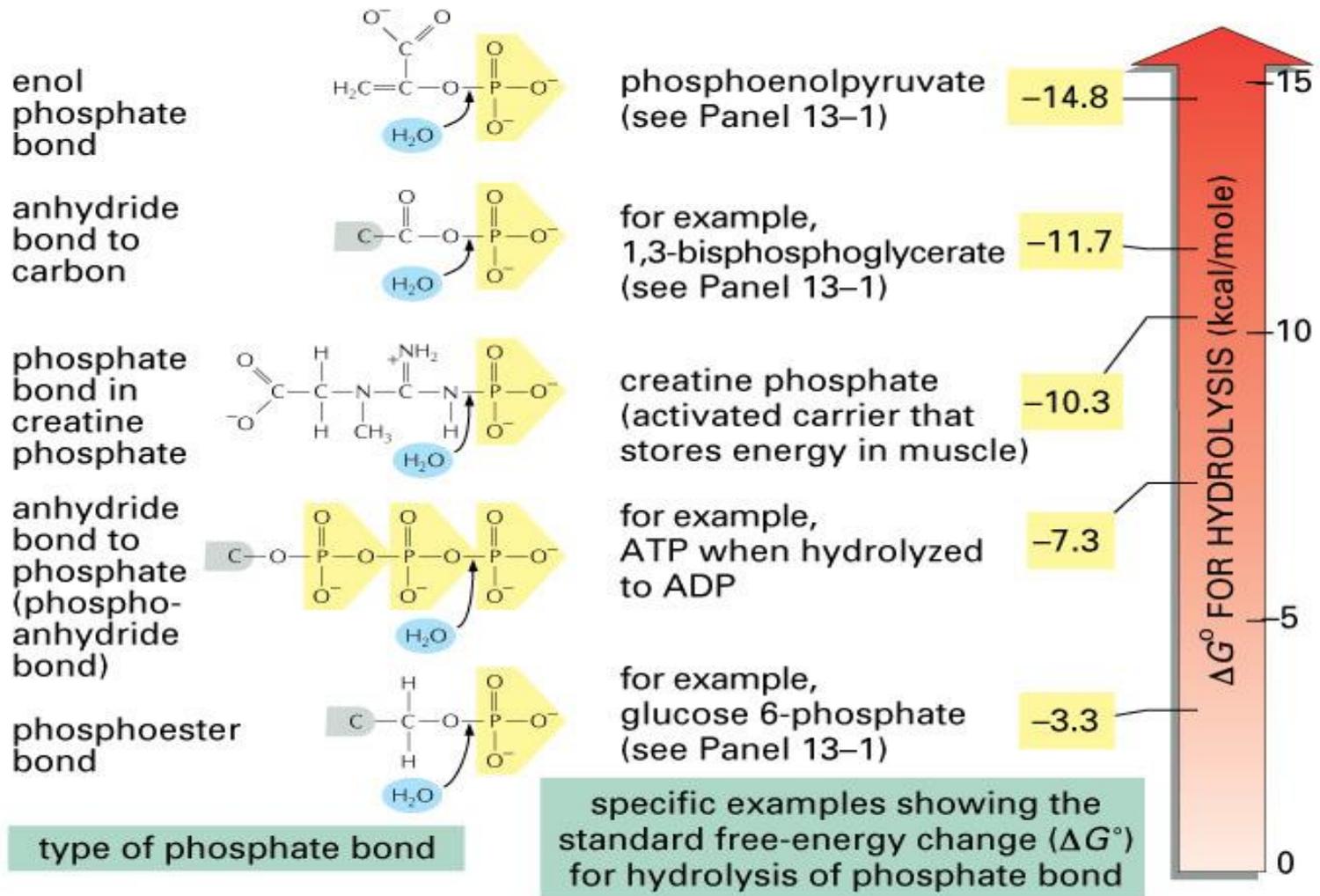


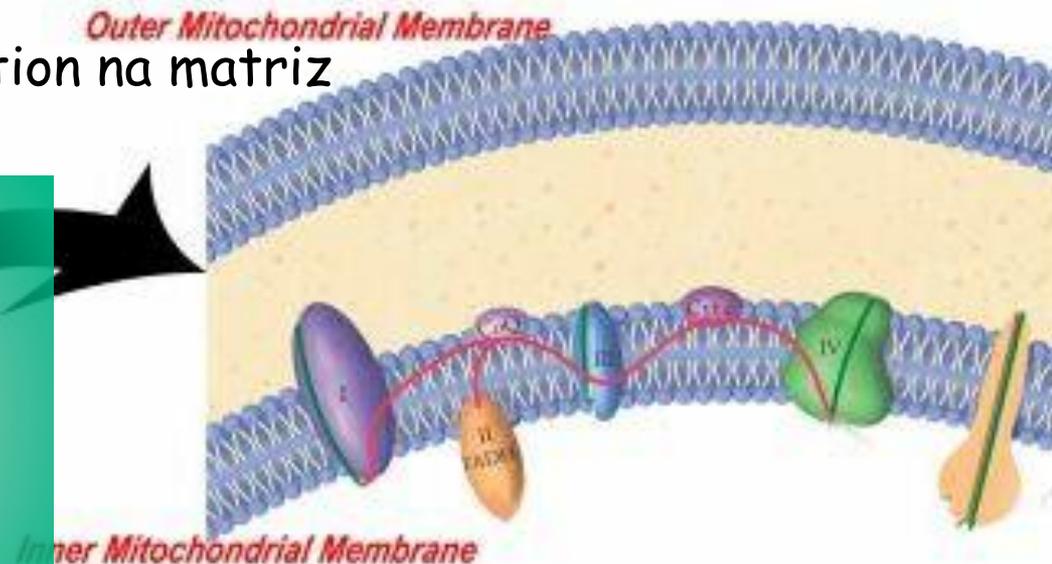
Figure 13-7 Essential Cell Biology, 2/e. (© 2004 Garland Science)

Transporte de eletrons e  
oxidação fosforilativa

reduz tudo a  $CO_2$  e água

# A escrava mais fiel, a mitocôndria

- A membrana externa é relativamente permeável.
- A membrana interna só é permeável aos que tem proteínas transportadoras específicas
  - Impermeável ao NADH e FADH<sub>2</sub>
  - Permeável ao piruvato
- Compartimentalização
  - Ciclo de Krebs e  $\beta$ -oxidation na matriz
  - Glicólise no citosol



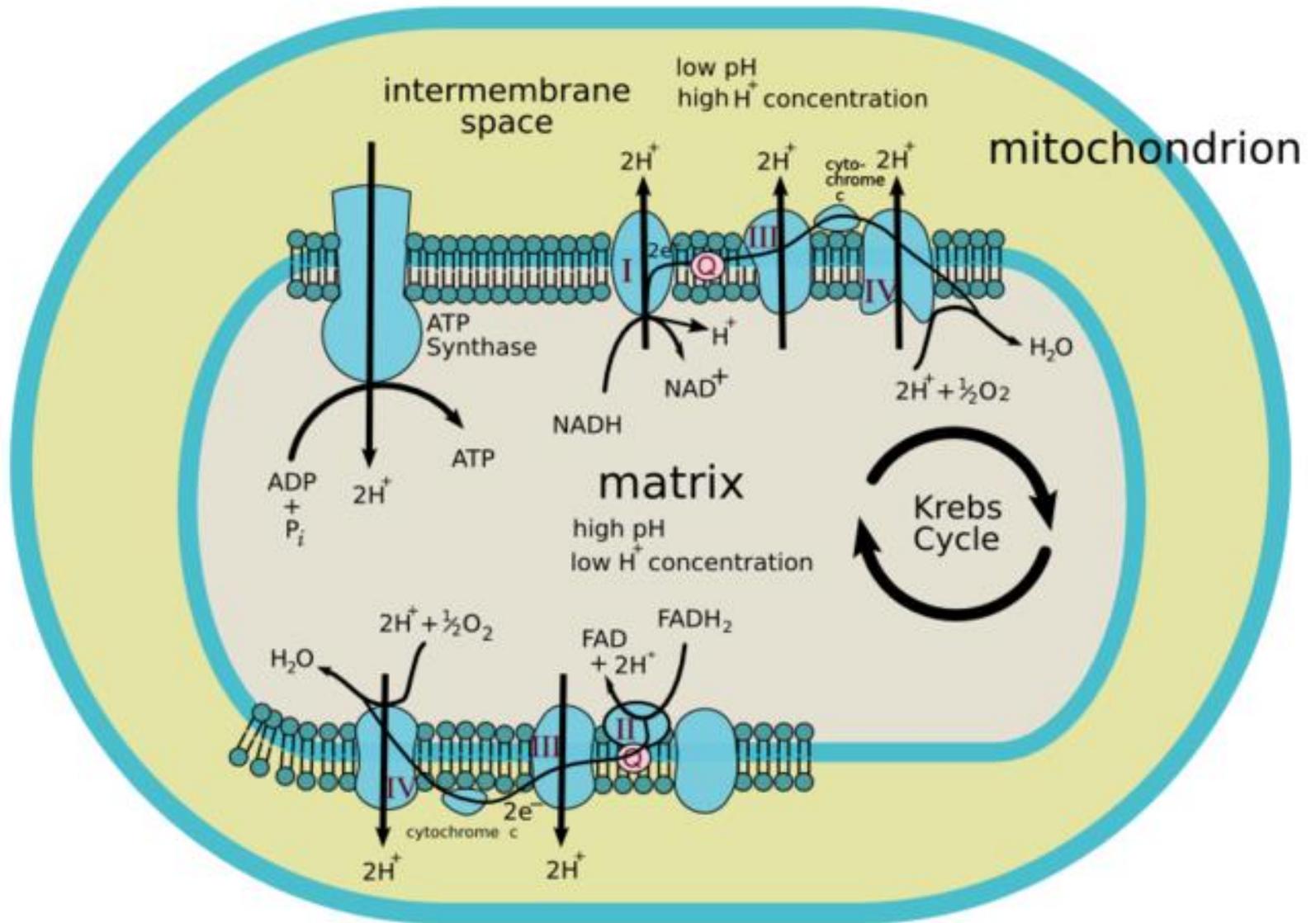
# A energia é transferida por reações de óxido-redução

- Os eletrons são transferidos para NAD e FAD
  - Glicolise no citosol produz 2 NADH
  - A desidrogenação do piruvato na matriz mitocondrial produz 2 NADH por glicose
  - O ciclo de Krebs na matriz mitocondrial produz 6 NADH e 2 FADH<sub>2</sub> / glucose
- Estas são transformadas em ATP por grupos de proteínas de oxido redução na membrana mitocondrial
  - Ligantes de NADH e FADH<sub>2</sub>
  - No lado interna da membrana da mitocondria
  - Electrons são tranferidos para as proteínas redox
    - NADH → NAD<sup>+</sup>
    - FADH<sub>2</sub> → FAD

# 4 Complexos de proteínas redox

- Tem que estar na sequencia certa
- Sempre 2 electrons in specific order
- Proteinas localizadas em complexos
  - Embebidas na membrana(Bom isolamento)
  - Transferencia simples
  - Os electron reduzem o oxigenio a água
    - $2 H^+ + 2 e^- + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow H_2O$

# Mitochondrial Electron Transport Chain



# Como o ATP é gerado:

- A sintetase de ATP dependente de protons( $H^+$ )
  - Usa o gradiente de  $H^+$  para fazer ATP
  - Protons são bombeados através de um canal para a enzima.
    - Do espaço entre as membranas para a matriz mitocondrial
    - $\sim 4 H^+ / ATP$
  - Chamada de teoria quimioosmótica

# Totals

NADH

$$10 \text{ H}^+ \times \frac{1 \text{ ATP}}{4 \text{ H}^+} = 2.5 \text{ ATP}$$

FADH<sub>2</sub>

$$6 \text{ H}^+ \times \frac{1 \text{ ATP}}{4 \text{ H}^+} = 1.5 \text{ ATP}$$

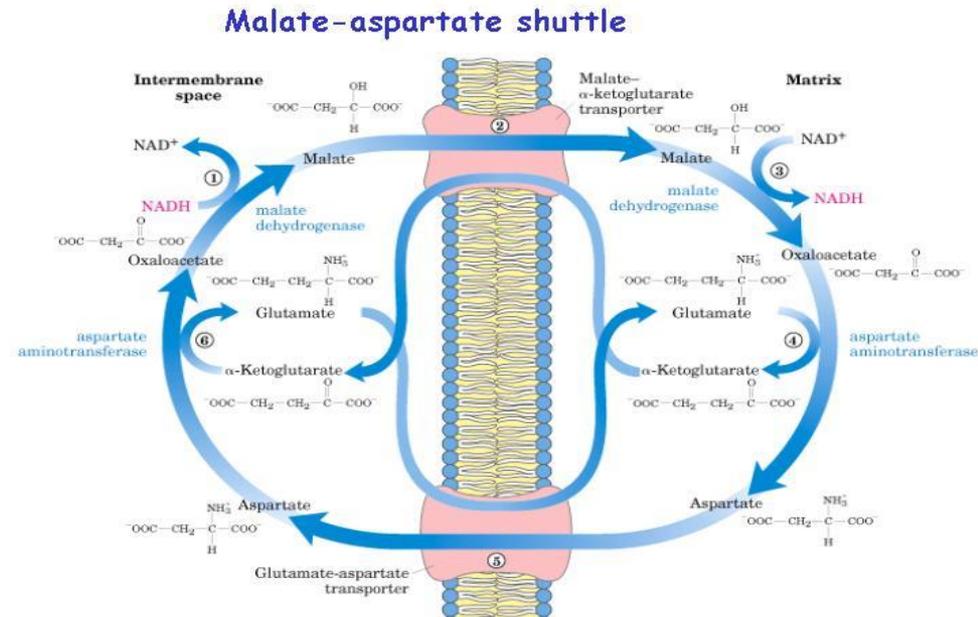
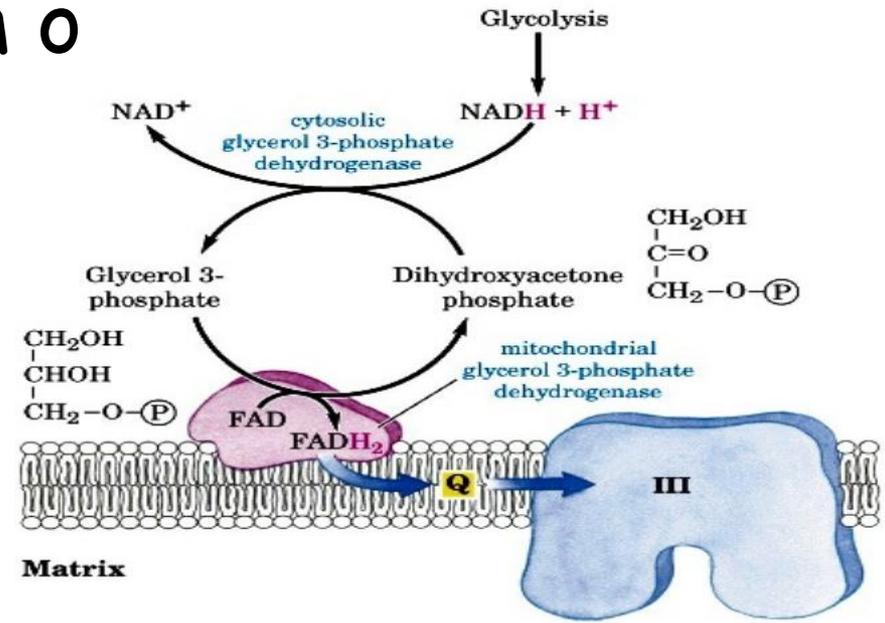
# Balanco total de ATP na matriz mitocondrial

- da piruvato desidrogenase
    - NADH .....2.5 ATP
  - do ciclo de Krebs

3 NADH X 2.5 ATP/NADH	7.5 ATP
FADH <sub>2</sub> X 1.5 ATP / FADH <sub>2</sub>	1.5 ATP
GTP X 1 ATP / GTP	<u>1.0 ATP</u>
Total	12.5 ATP
- (Por molecula de glucose = X 2 = 25 ATP)

# E o que acontece com o NADH feito na glicólise?

- NADH feito no citosol e não passa a membrana para ir a mitocondria
- 2 mecanismos de transporte
  - Em musculo e cérebro
    - Ponte do glicerofosfato
  - Em fígado e musculo
    - Ponte do malato/aspartato



# Assim o balanço de ATP acaba sendo diferente em cada órgãos.

## • Ponte de glicerofosfato (musculo e cerebro)

- 2 NADH per glucose  $\rightarrow$  2 FADH<sub>2</sub>
- 2 FADH<sub>2</sub> X 1.5 ATP / FADH<sub>2</sub> 3.0 ATP
- 2 ATP na glicolise 2.0 ATP Mais rápido
- Do piruvato via Krebs
  - 12.5 ATP X 2 per glucose 25.0 ATP

**Total = 30.0 ATP/ glucose**

## • Ponte do malato/aspartato (Fígado e coração)

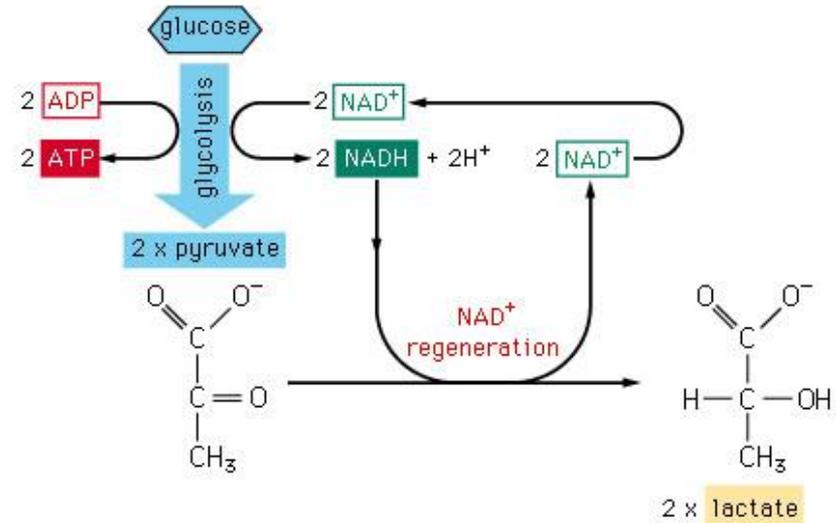
- 2 NADH per glucose  $\rightarrow$  2 NADH
- 2 NADH X 2.5 ATP / NADH 5.0 ATP
- 2 ATP na glicolise 2.0 ATP Mais lento
- Do piruvato via Krebs
  - 12.5 ATP X 2 per glucose 25.0 ATP

**Total = 32.0 ATP/ glucose**

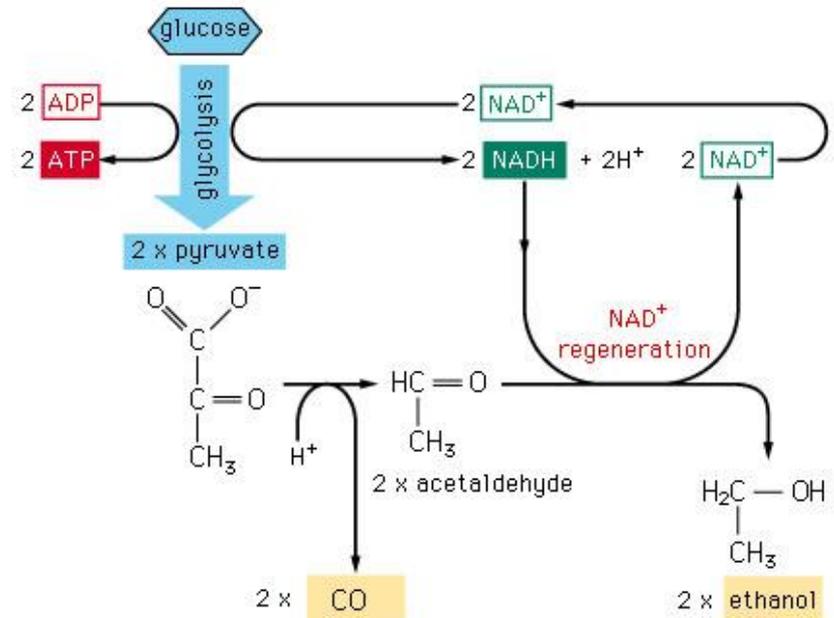
# Fermentação ou glicólise anaeróbica

- Pode gerar ATP na ausência de O<sub>2</sub> – **anaeróbica**
- Organismos anaeróbicos criam ATP através da glicólise seguida de conversão do piruvato a etanol e CO<sub>2</sub> em fungos ou lactato em músculo.
- Process called **fermentation**

(A) FERMENTATION LEADING TO EXCRETION OF LACTATE

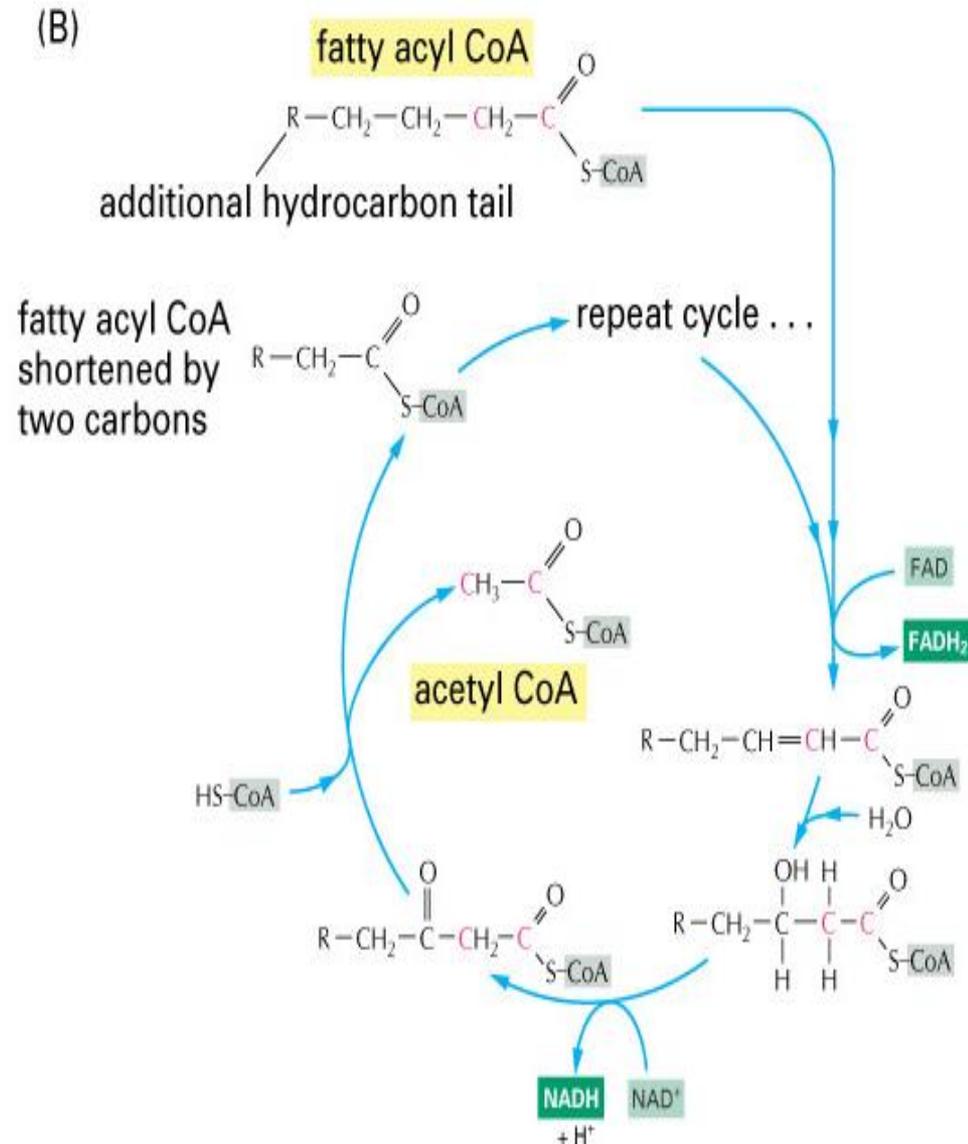


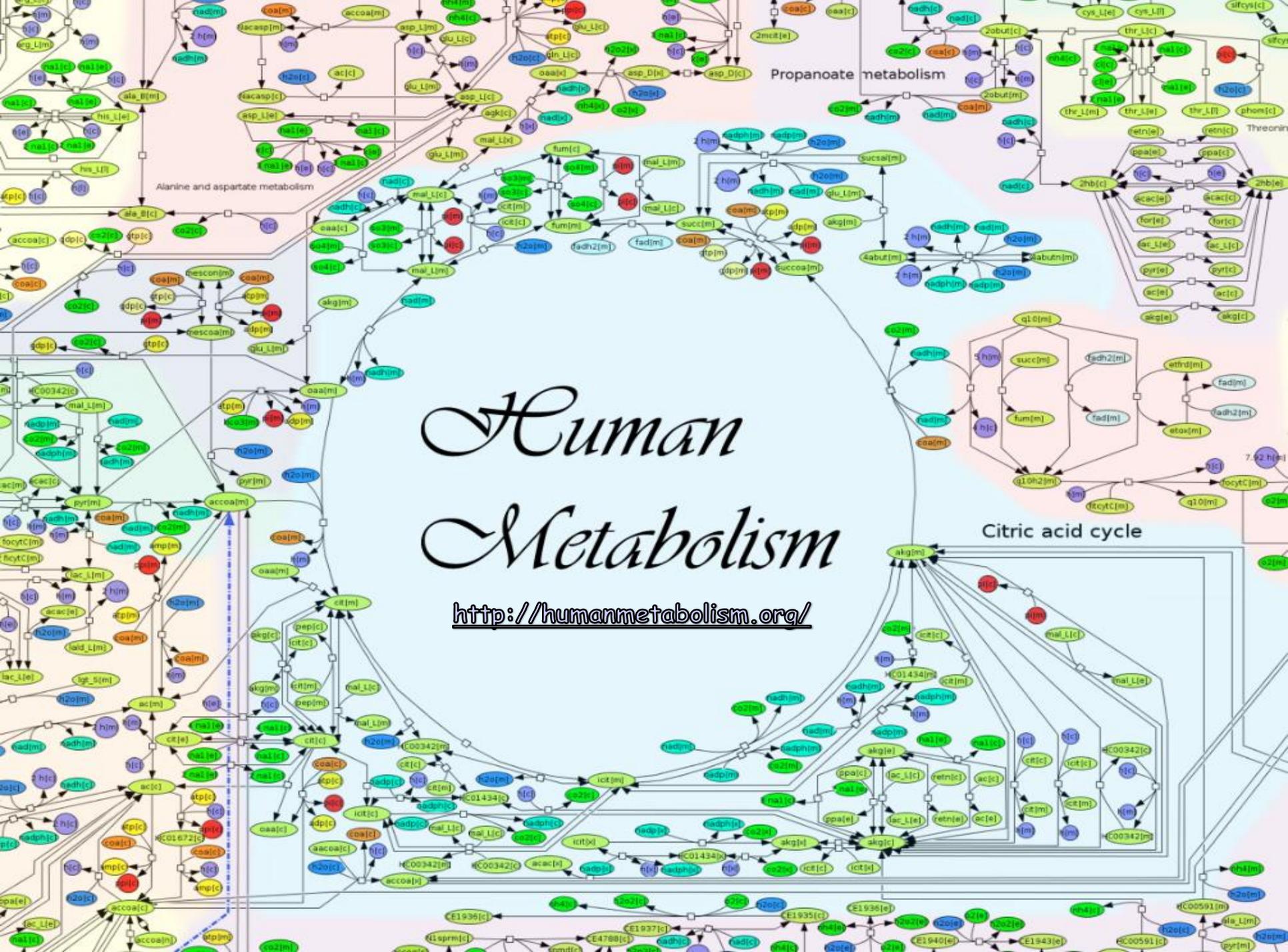
(B) FERMENTATION LEADING TO EXCRETION OF ALCOHOL AND CO



# Ácidos graxos como fonte de energia

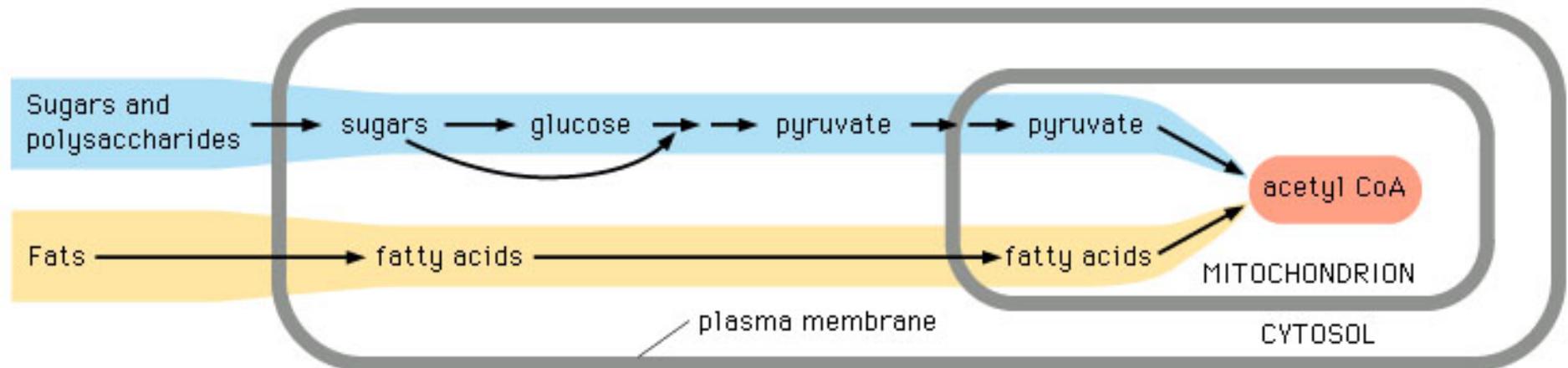
- Os ácidos graxos tem seu metabolismo relacionado a coenzima A (CoA) e a acetil CoA pode entrar no ciclo de Krebs
- Para cada acetil CoA são gerado um NADH e um FADH<sub>2</sub> que podem entrar no transporte de eletrons e gerar ATP na mitocondria
- Outras moléculas também podem ser transformadas pelo metabolismo em acetilCoA e usadas da mesma forma.





# A energia produzida na mitocôndria

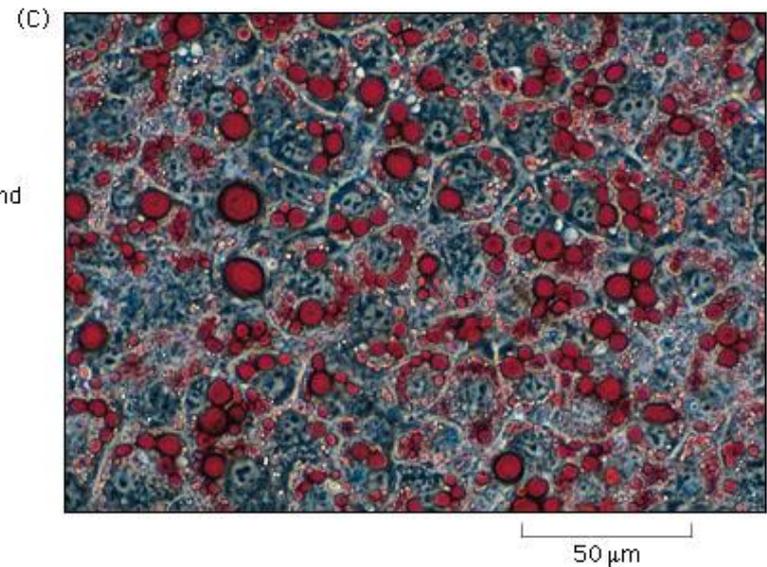
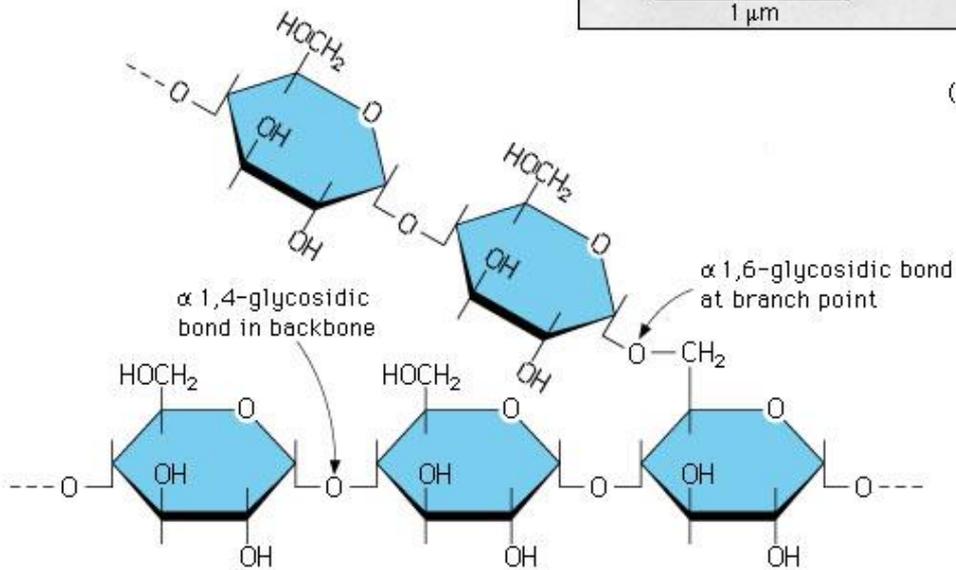
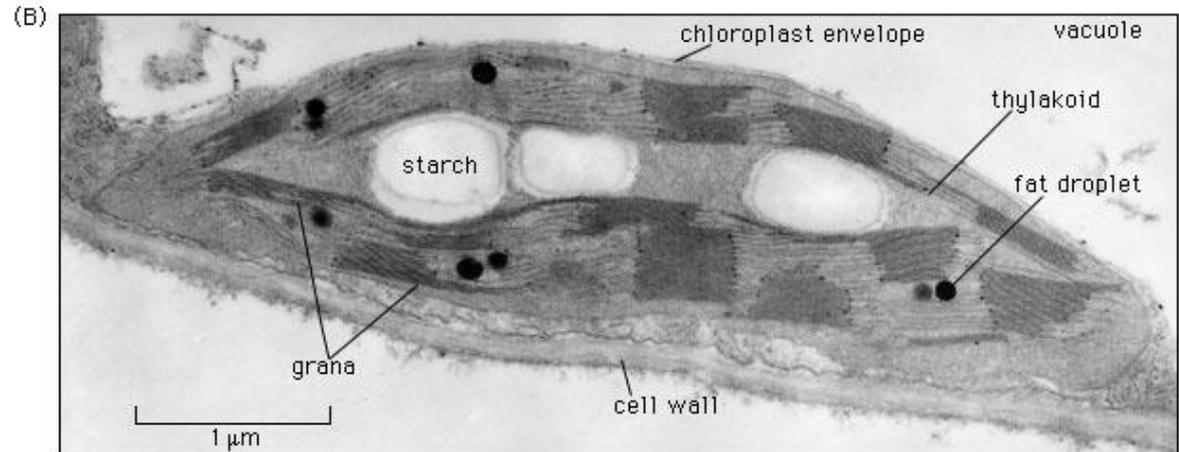
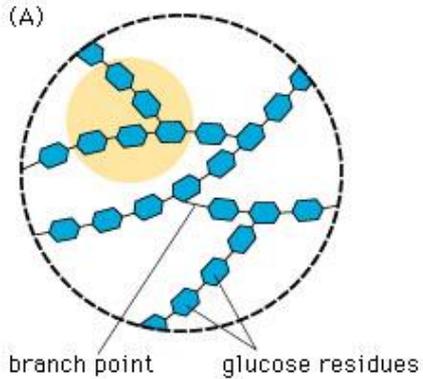
- Gorduras e açúcares são as maiores fontes de energia
- Acetil CoA é feita e renovada na mitocôndria
- Esta molécula é a chave do transporte de elétrons e portanto toda a energia está na mitocôndria
- Nas bactérias e arqueanas a glicólise e o ciclo de Krebs ou do ácido cítrico ocorrem no citosol



# Estocando a energia

- A energia não pode ser estocada na forma de ATP.
  - Geramos ATP continuamente
  - Queimamos estoques de precursores, açúcares ou gorduras
- Ácidos graxos em células gordurosas ou gotículas de gorduras dentro das células
  - Guarda mais energia, mas demora para recuperar
  - Mais energia por grama do que açúcar.
- Pode-se polimerizar a glicose em glicogênio
  - Diminui a força osmótica e permite o estoque
  - Rapidamente mobilizado na falta de glicose
  - Rapidamente sintetizado no excesso de glicose
    - Há limites.
  - Sua degradação libera glicose fosfato facilmente usada na glicólise

# Estoque de açucars em plantas e mamíferos.

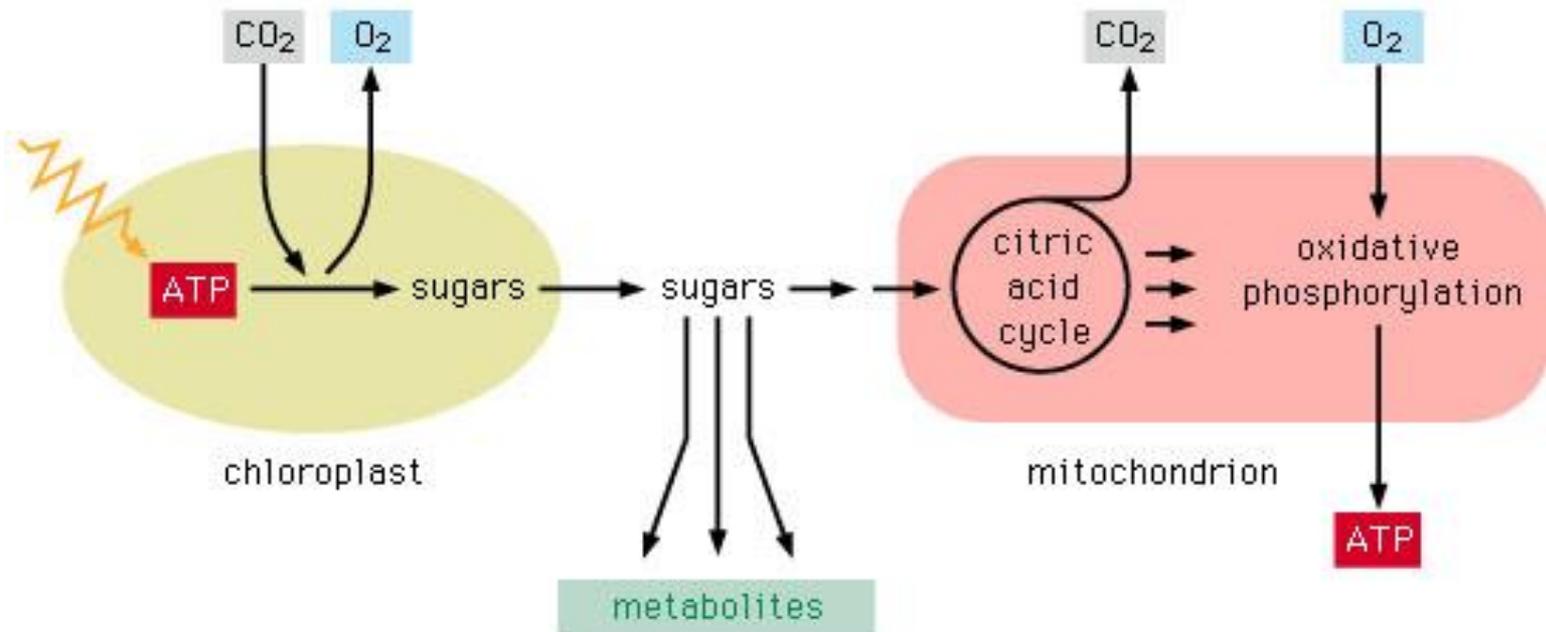


# Plantas e outros

- Tem dois ou mais escravos fieis.
  - Tem amiloplastos, cloroplastos e mitocôndrias.
- Amiloplastos convertem a glicose em amido,
  - Amido é um polímero menos solúvel e mais facilmente estocável.
- Cloroplastos transformam a energia luminosa em AcetilCoA e fazem glicogênese.(fotosíntese)
- As mitocôndrias podem gerar ATP (respiração)
  - Durante ou após a fotosíntese.
  - Importante em raízes e a noite.
- Os açúcares podem ser convertidos tanto em amidos como em ácidos graxos.

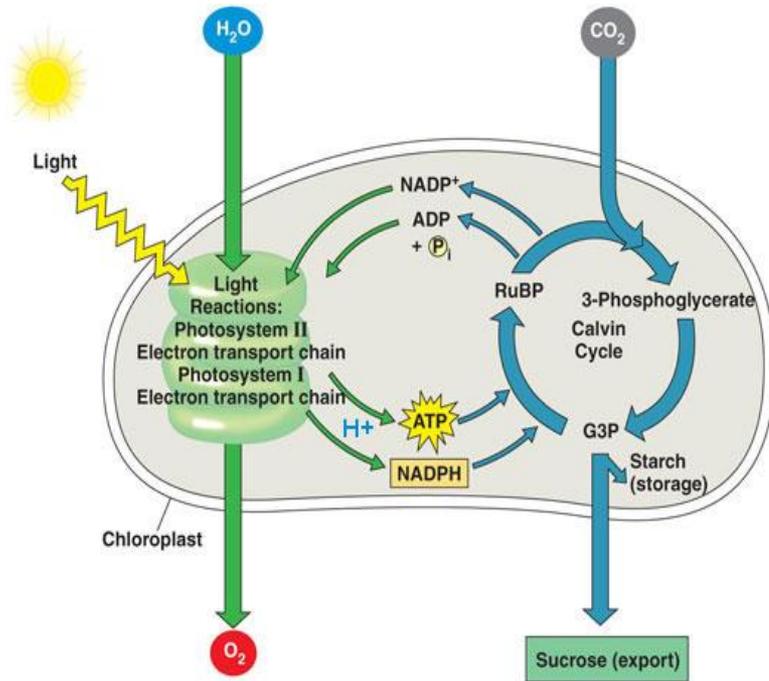
# Cloroplastos e mitocôndrias

- O ATP e o NADPH produzidos no cloroplasto não conseguem sair
- Tem que ser convertidos em açúcares para sair
- Podem sofrer glicólise e entrar na mitocôndria
- Podem ser estocados no amiloplasto



# O cloroplasto parece uma mitocôndria ao contrário.

Como os metabólitos são os mesmos, tudo é intercambiável



Copyright © 2008 Pearson Education, Inc., publishing as Pearson Benjamin Cummings.

Na realidade, ele é uma cianobacteria que foi escravizada

Anatomy of the Plant Cell Chloroplast

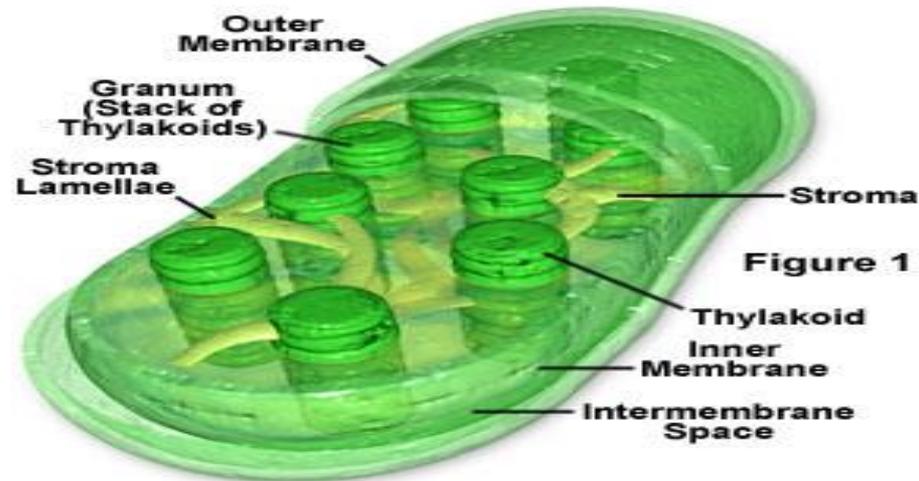
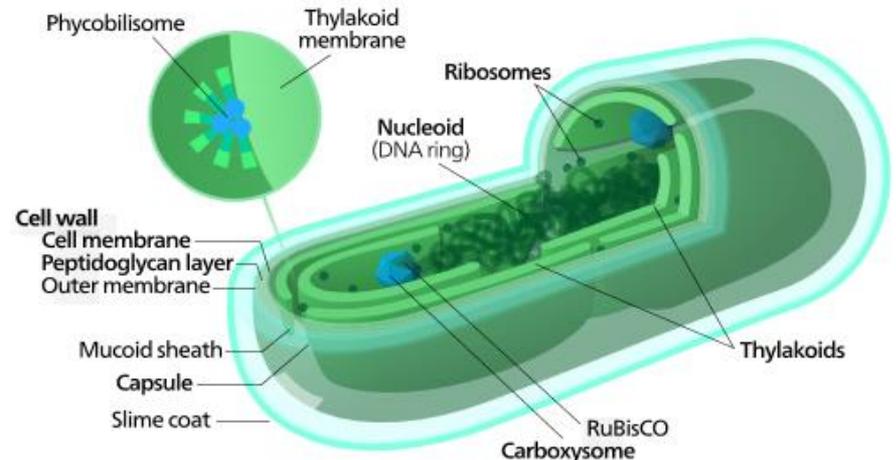
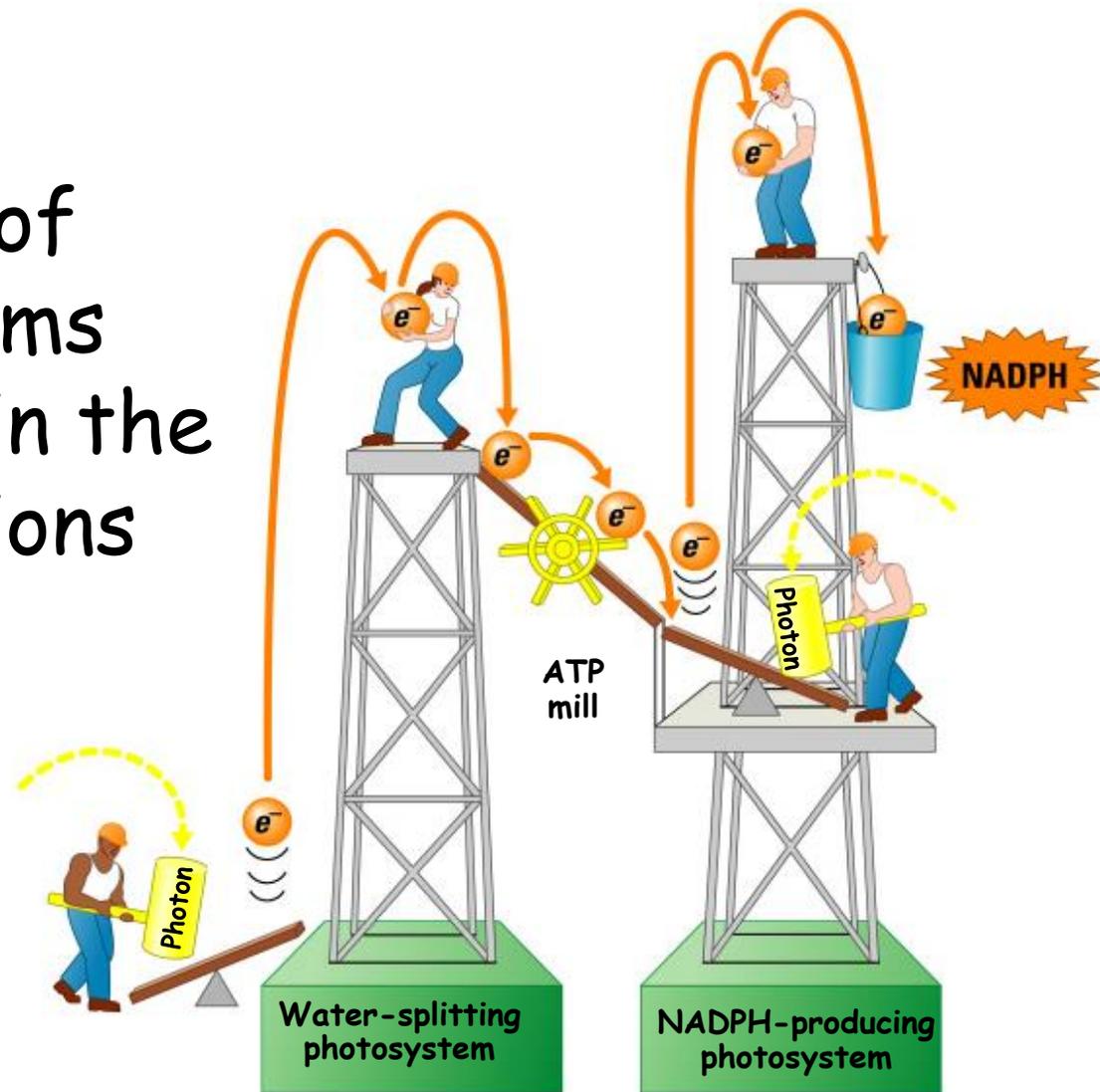


Figure 1

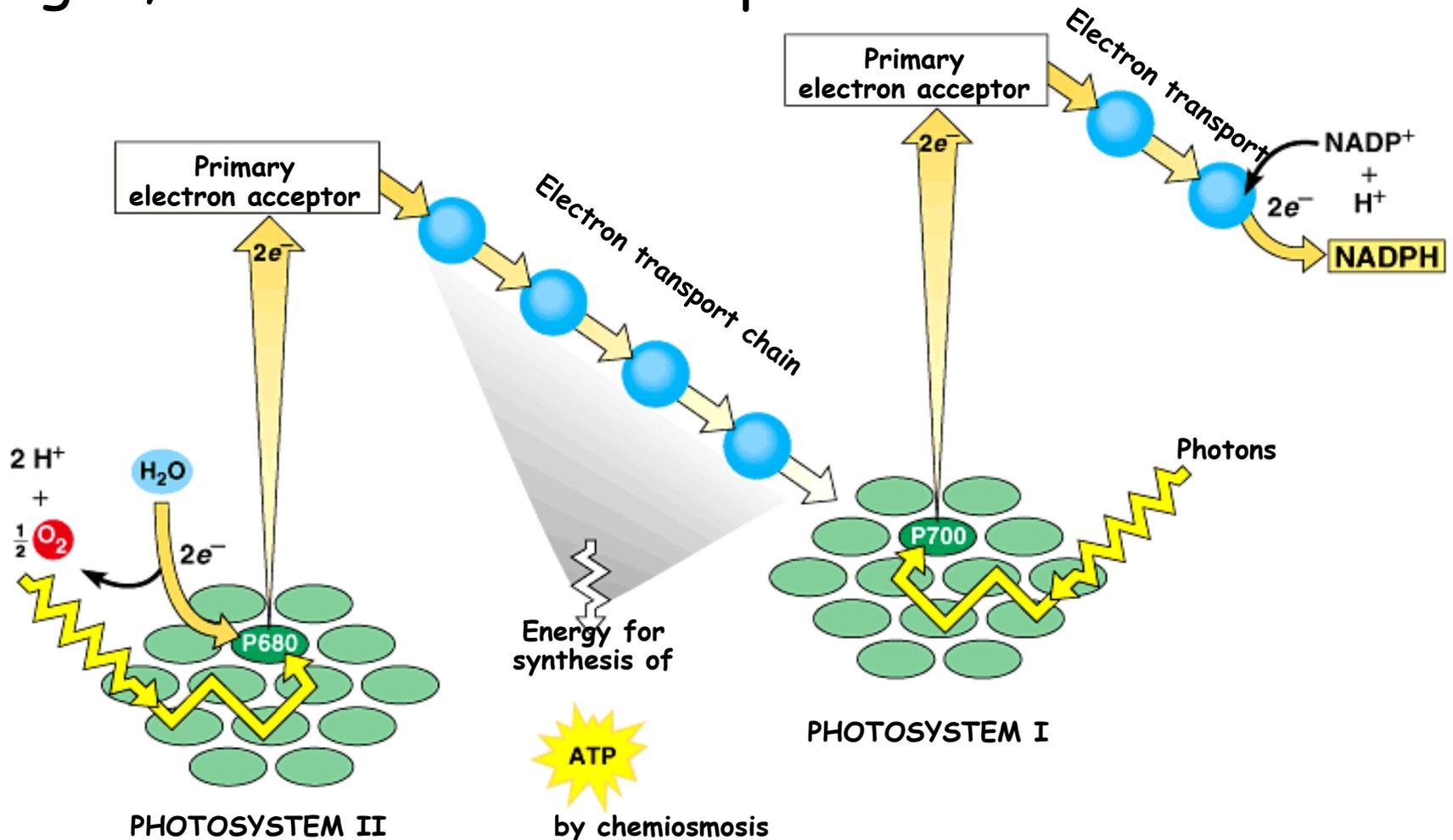


- Two types of photosystems cooperate in the light reactions



# Fotofosforilação não cíclica

- O fotosistema II ganha eletrons por dividir água, liberando  $O_2$  como produto



# As plantas produzem O<sub>2</sub> por dividir a água

- O O<sub>2</sub> liberado pela fotossíntese é feito de oxigênio da água numa reação que resulta em H<sup>+</sup> e e<sup>-</sup>



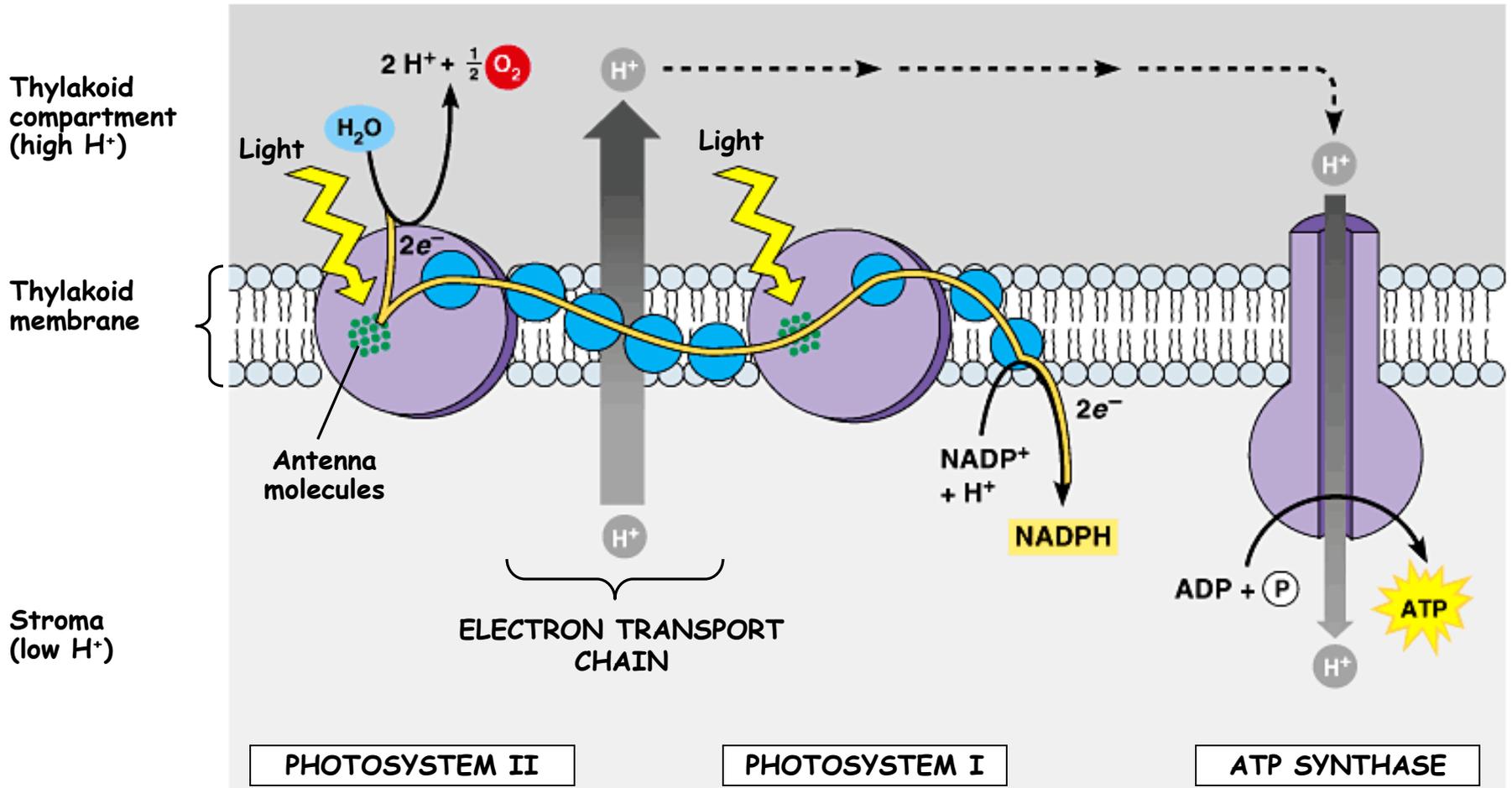
Nas reações com a luz, as cadeias de transporte de elétron geram ATP, NADPH, & O<sub>2</sub>

- São dois fotosistemas conectados que coletam fótons da luz e transferem a energia para os elétrons da clorofila
- Os elétrons excitados são passados de um primeiro receptor eletrônico para a cadeia de transporte, o que gera energia que é transferida para ATP e NADPH

# A quimioosmose reforça a síntese de ATP nas reações da luz

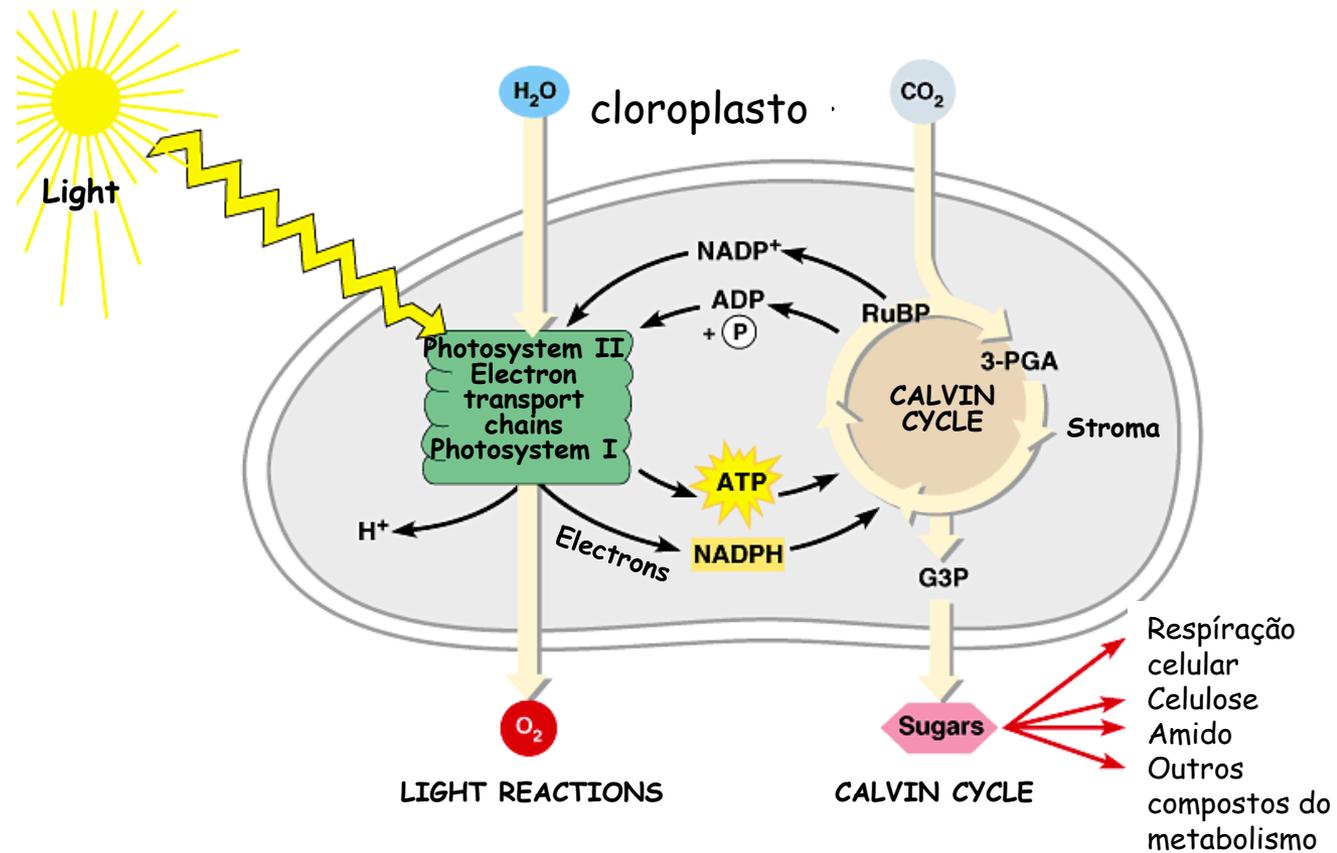
- A cadeia de transporte de elétrons está arrumada com os fotosistemas nas membranas tilacóides dos cloroplastos e bombam  $H^+$  através da
- O fluxo de  $H^+$  ao voltar através da membrana é usado pela ATP sintase para gerar ATP
  - No estroma, os íons  $H^+$  se combinam com  $NADP^+$  para formar NADPH

- Esquema da produção de ATP na fase de quimiosmose da fotossíntese



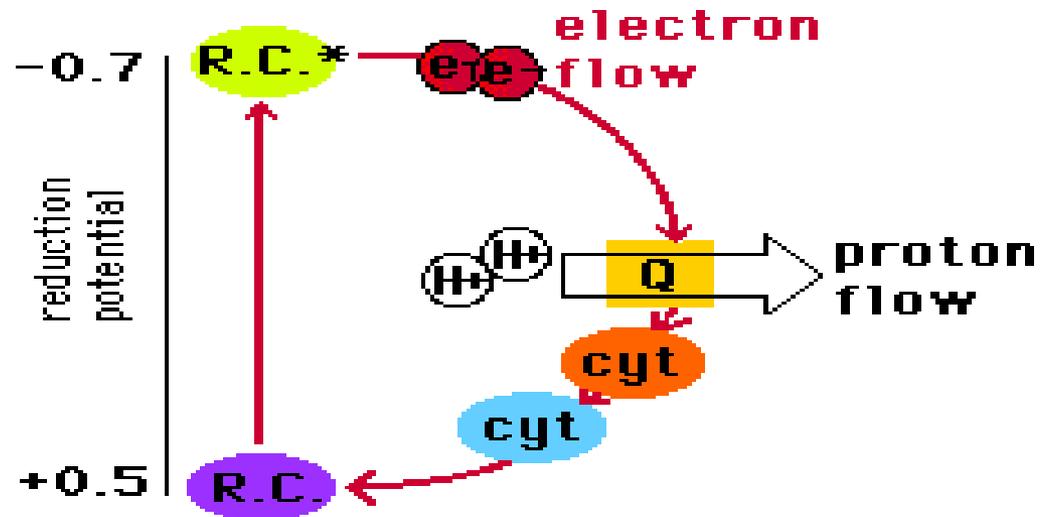
# Revendo, a fotossíntese usa a energia da luz para fazer moléculas de alimento no final

- Em resumo

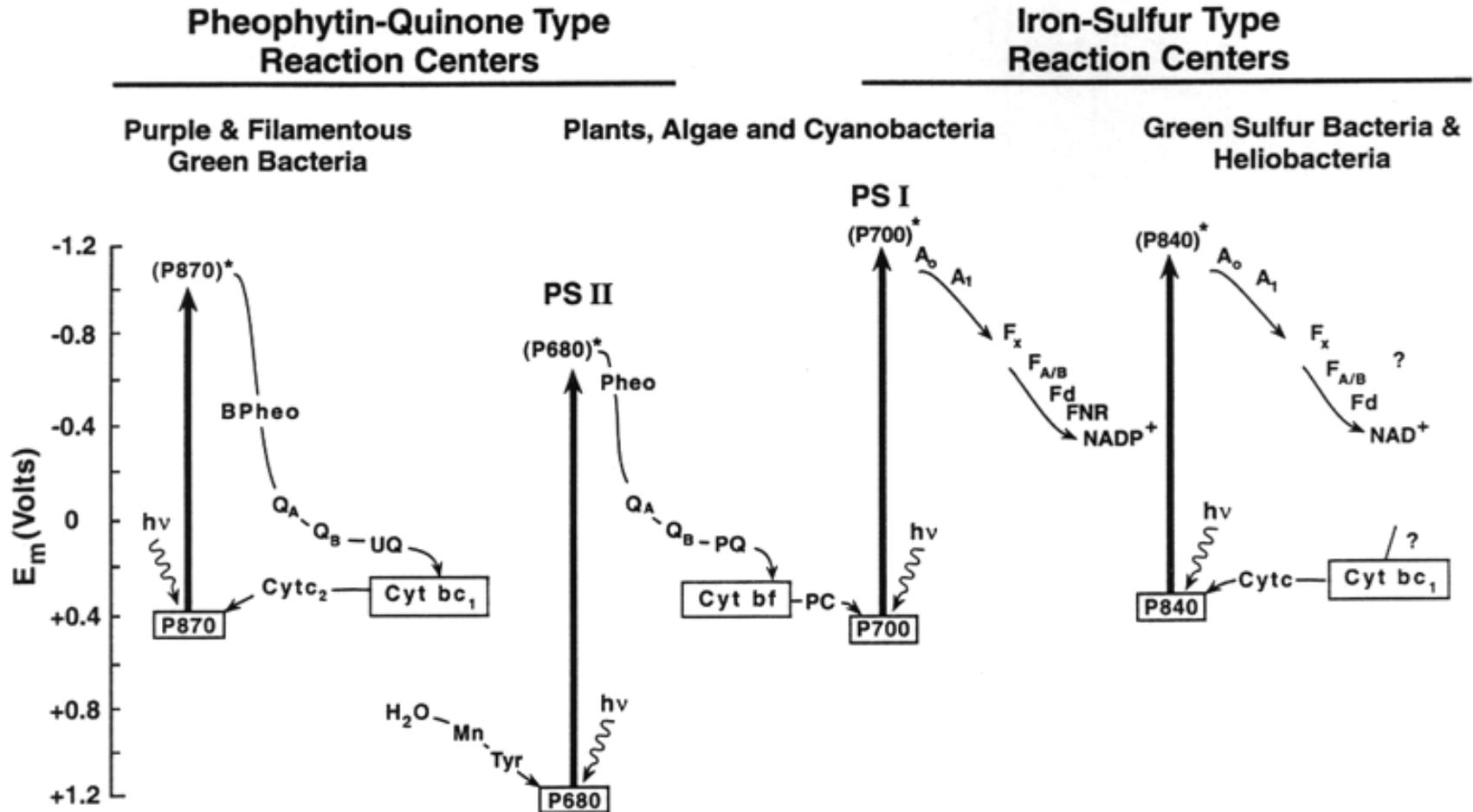


# Fotosíntese anoxigênica

- Usa a energia luminosa para criar composto orgânicos, com sulfetos e fumaratos produzidos ao invés de oxigênio
- Ocorre em bacterias vermelhas, verde sulfurosas, heliobacterias e bacterias verdes
- Usa pigmentos de bacterioclorofila ao invés de clorofila
- Usa um unico sistema fotosintético (PS I) para gerar ATP de forma "ciclica"

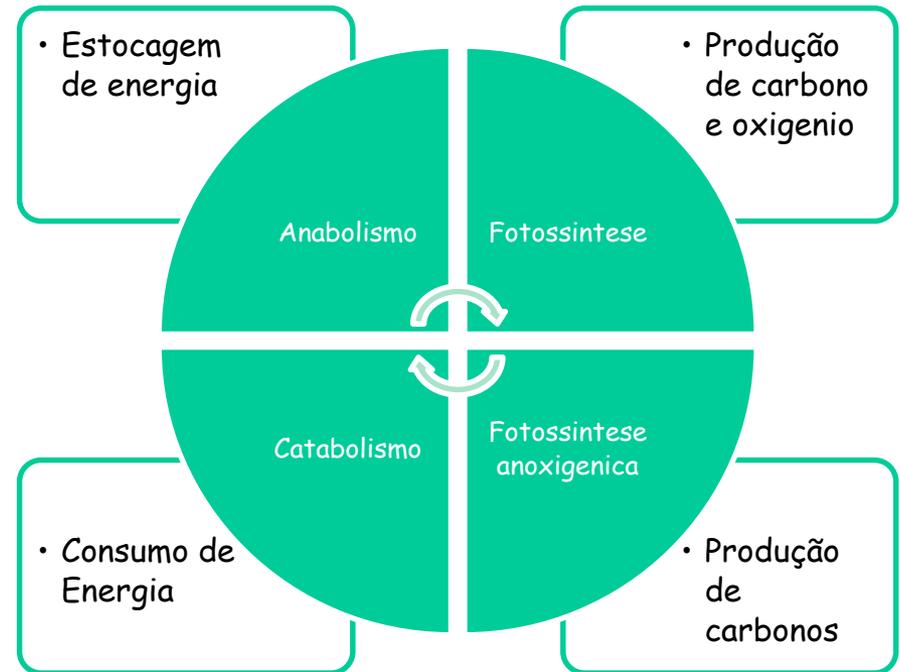
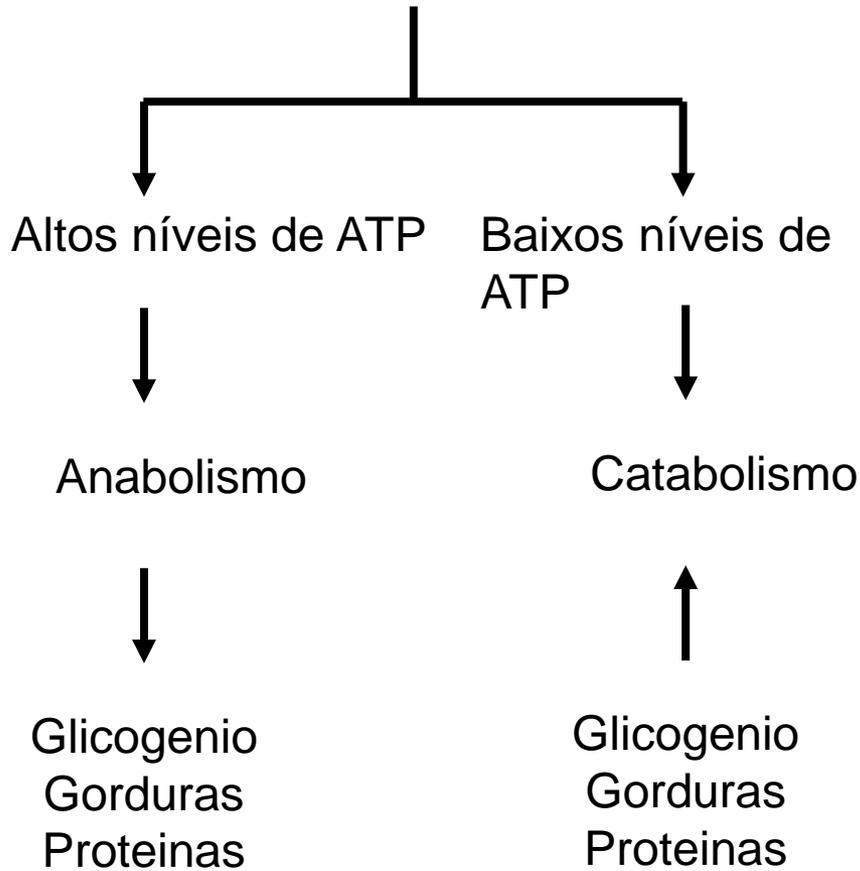


# Comparação do transporte de eletrons in fotosíntese oxigênica ou anoxigênica



# Juntando tudo

## Metabolismo animal



- Estudo dirigido

- Qual é a nossa fonte de energia?
- O que é energia química?
- Qual é a forma mais rápida de produzir energia?
- Em quantas fases a glicose é quebrada?
- Precisa de energia inicial para este processo?
- Quantos passos tem este processo inicial?
- Quantas enzimas existem para cada passo?
- Quais são os transportadores da energia?
- O que resulta da oxidação fosforilativa?
- Como é a sequência de transferência de energia?
- Onde ocorre a oxidação fosforilativa?
- O que ocorre na matriz mitocondrial?
- Para que serve o ciclo de Krebs ou dos ácidos tricarboxílicos?
- Quantos ATPs são produzidos na quebra total da glicose, no músculo?
- Porque o balanço é diferente no fígado?
- Quais são os produtos da glicólise anaeróbica em diferentes sistemas?
- Na degradação dos ácidos graxos, qual é a molécula chave?
- O que o cloroplasto e a mitocondria têm em comum?
- De onde vem o oxigênio gerado na fotossíntese?
- Como a luz é transformada em energia química?
- O que é um tilacóide e os grana?
- O que é metabolismo e o que são vias metabólicas?