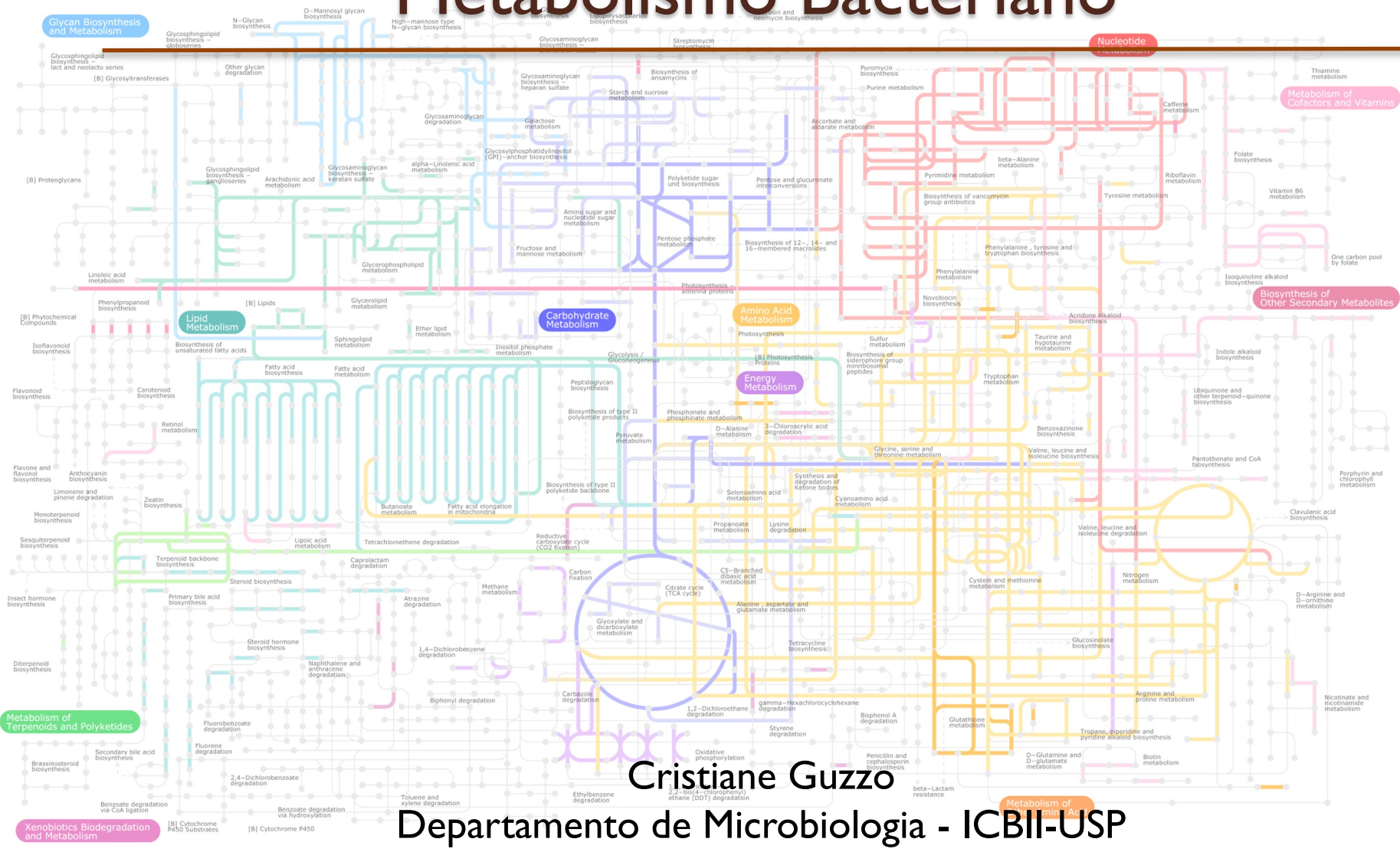


# Metabolismo Bacteriano



Cristiane Guzzo

Departamento de Microbiologia - ICBI-USP

São Paulo, 2022

O que é metabolismo?

Como ele ocorre?

Onde ele ocorre?

O metabolismo procariótico é igual ao eucariótico?

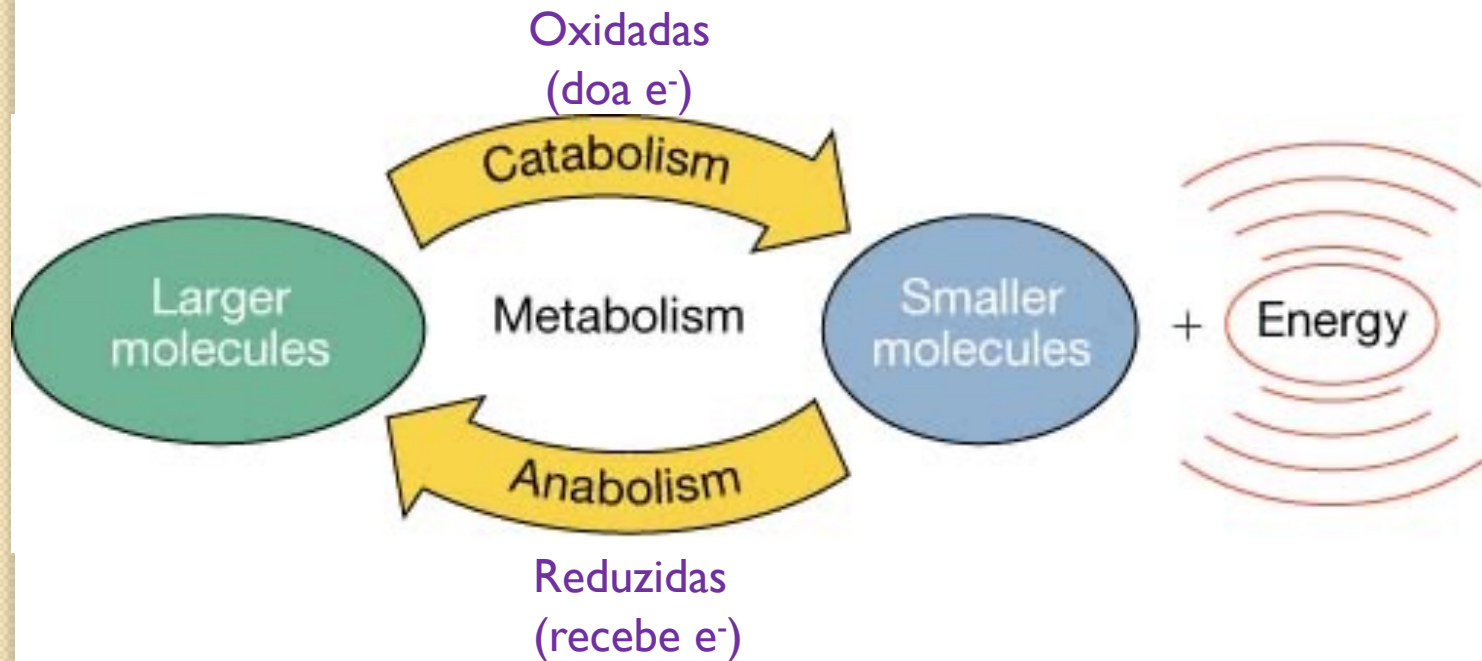
Qual a diferença entre os dois?

O que é fermentação e respiração?

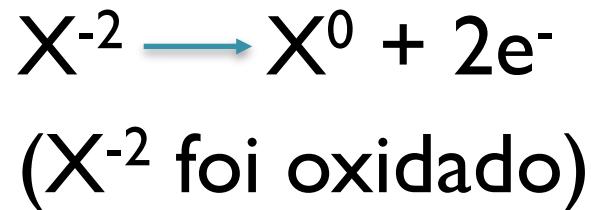
# Princípios gerais de metabolismo

## Metabolismo

Estão relacionadas a reações de químicas dentro de um organismo vivo



# Metabolismo é governado por reação de oxido-redução!



# Receptor final de e<sup>-</sup> no Catabolismo

## • Respiração Aeróbica

O O<sub>2</sub> funciona como o acceptor final de elétrons.

38 moléculas de ATP podem ser produzidas da oxidação completa de uma molécula de Glicose.

## • Respiração Anaeróbica

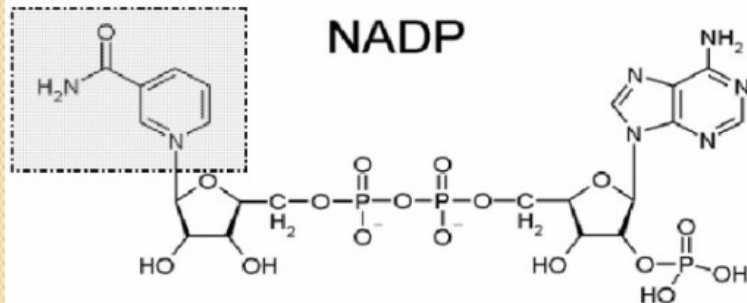
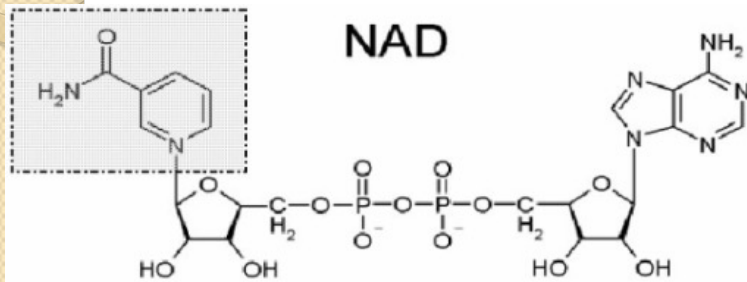
O acceptor final de elétrons é uma molécula diferente do O<sub>2</sub>. O rendimento total de ATP é menor do que na respiração aeróbica. Processo anaeróbico.

# Moléculas geradas durante o metabolismo – Seu papel funcional

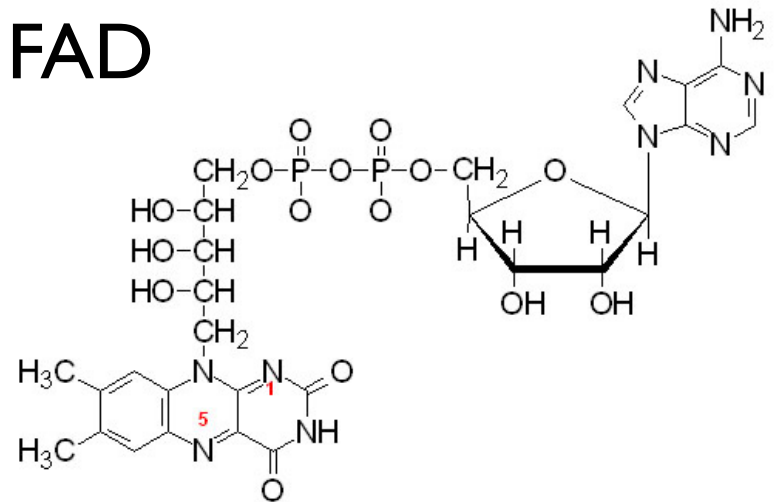
- Gerar **ATP** para ser usada na biossíntese;
- Gerar **NADPH** (poder redutor NADPH para  $\text{NADP}^+$ ) para ser usada na biossíntese
- Gerar **percursores** para serem usados nas vias de biossíntese;
- $\text{NAD}^+$  é reduzido em  $\text{NADH}$ , no final ocorre o restabelecimento redox de  $\text{NAD}$  para  $\text{NAD}^+$

# O que são as coenzimas?

## Coenzimas

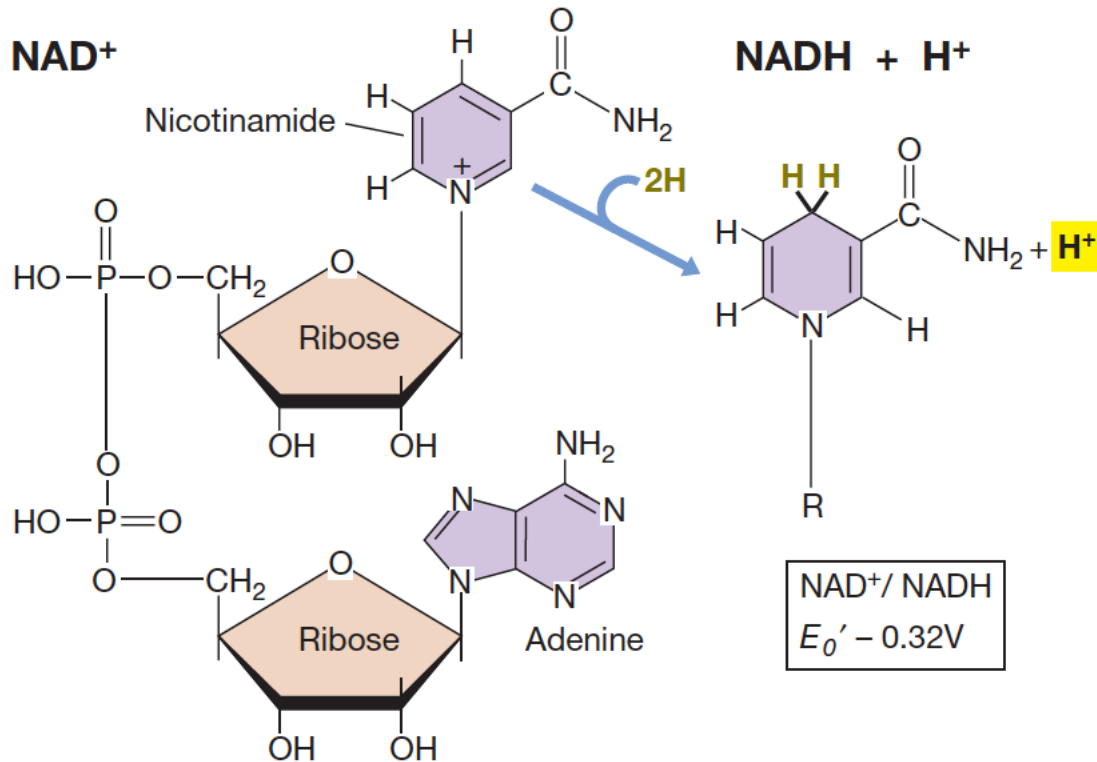


## FAD



# Par Redox em Microorganismos

## Redução do NAD<sup>+</sup> para NADH



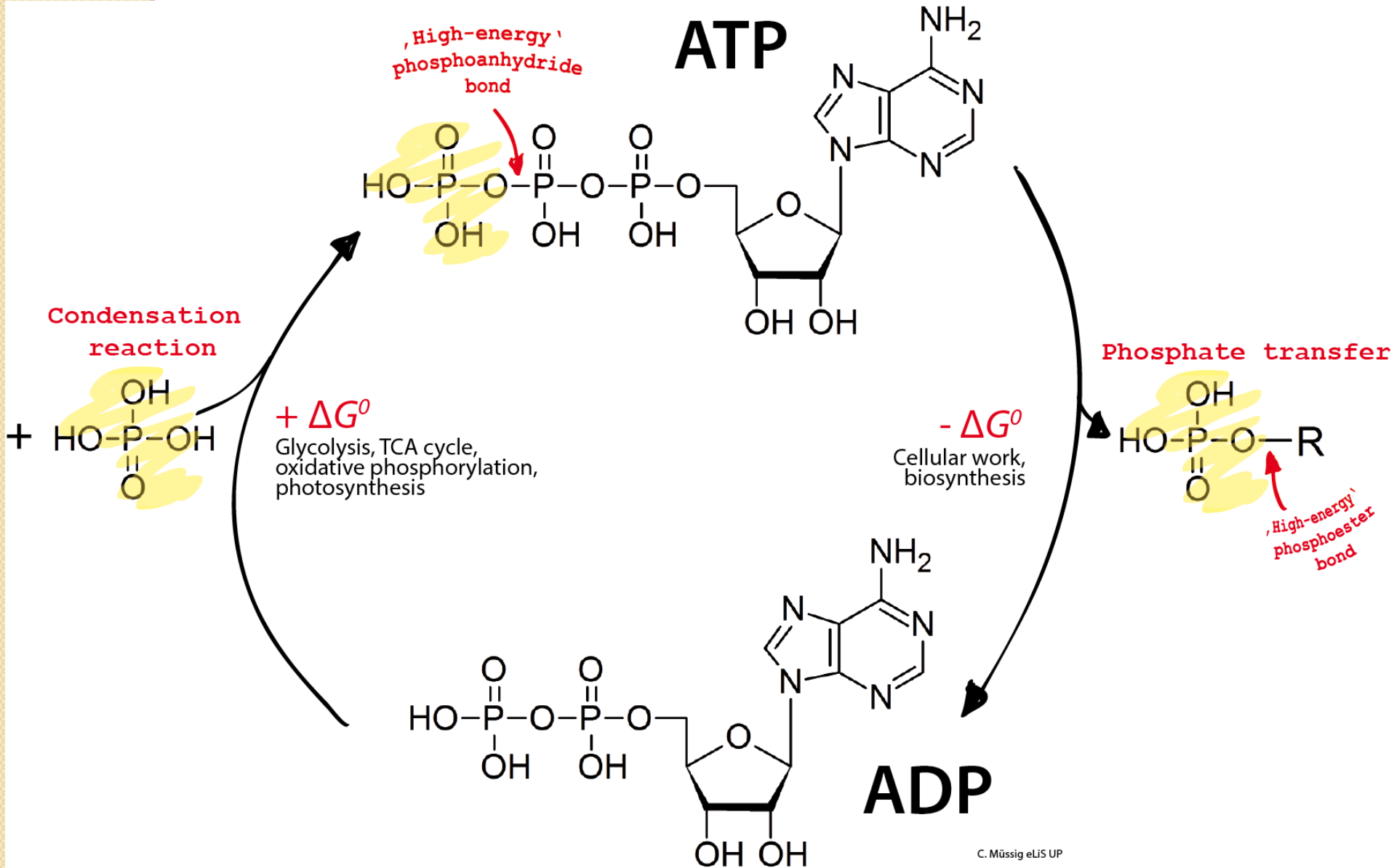
Glicose dá energia para NAD<sup>+</sup> se tornar NADH. Essa energia depois é usada para reduzir o O<sub>2</sub>

**Figure 4.10** The oxidation–reduction coenzyme nicotinamide adenine dinucleotide (NAD<sup>+</sup>). NAD<sup>+</sup> undergoes oxidation–reduction as shown and is freely diffusible. “R” is the adenine dinucleotide portion of NAD<sup>+</sup>.

Temos outras moléculas, como NADP<sup>+</sup> para NADPH



# ATP: Uma molécula rica em energia, pq?



# Diversidade Metabólica

Fonte de energia (Catabolismo)  
para produzir ATP

Chemicals

Light

Chemotrophy

Phototrophy

Organic  
chemicals

(glucose, acetate, etc.)

Inorganic  
chemicals

(H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, Fe<sup>2+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, etc.)

**Chemoorganotrophs**

**Chemolithotrophs**

**Phototrophs**

(glucose + O<sub>2</sub> → CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O)

(H<sub>2</sub> + O<sub>2</sub> → H<sub>2</sub>O)

(light)

**ATP**

**ATP**

**ATP**

Fonte única de Carbono

Autotróficos: CO<sub>2</sub>

Heterotróficos:  
compostos orgânicos

# Diversidade metabólica de procariotos

## Metabolismo heterotrófico

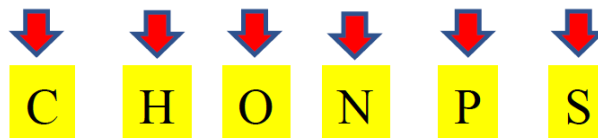
### Matéria Orgânica

Açúcares – amido, celulose, etc.

Aminoácidos – proteínas, peptidoglicano, etc.

Ácidos graxos – (hidrocarbonetos, óleo Diesel, etc.)

Ácidos nucleicos – DNA, RNA



# Metabolismo bacteriano

Ambiente (energia e nutrientes)

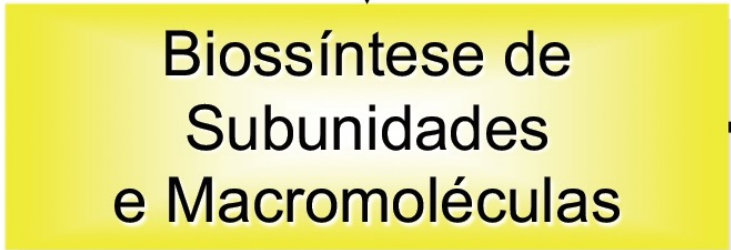
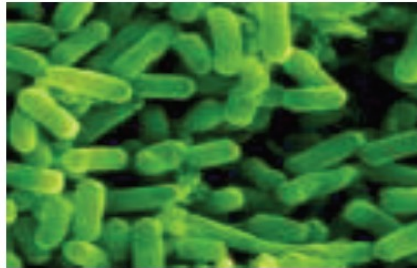
Metabolismo

Energia e Precursores Metabólicos

Biossíntese de Subunidades e Macromoléculas

Crescimento e Divisão Celular

Morte



Quais são os macro e micronutrientes?

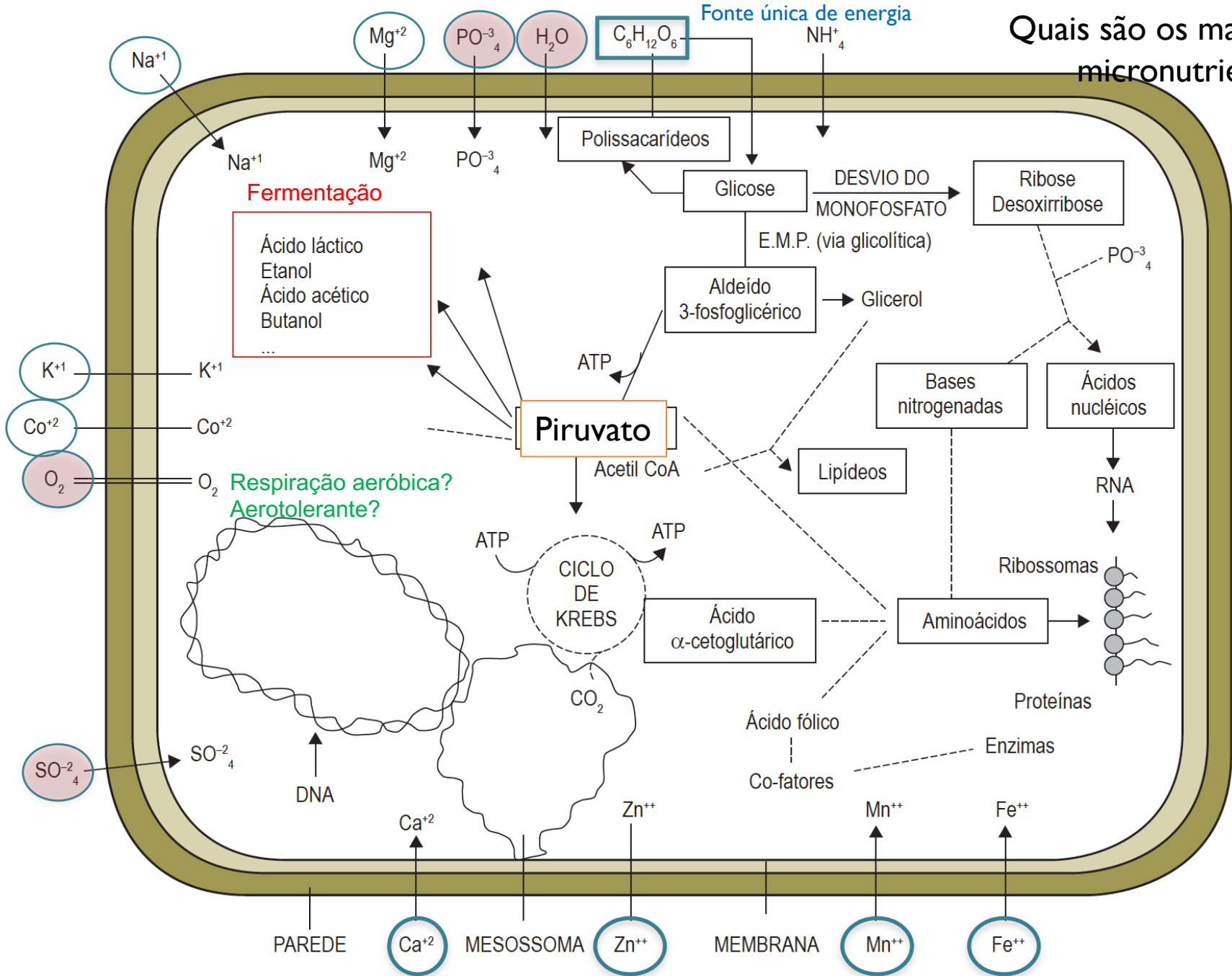
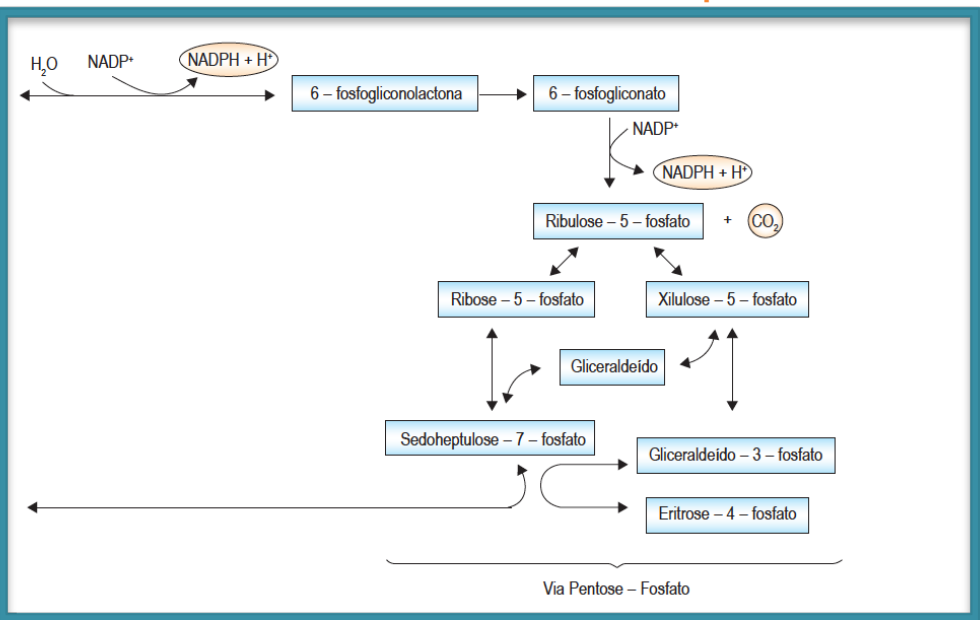
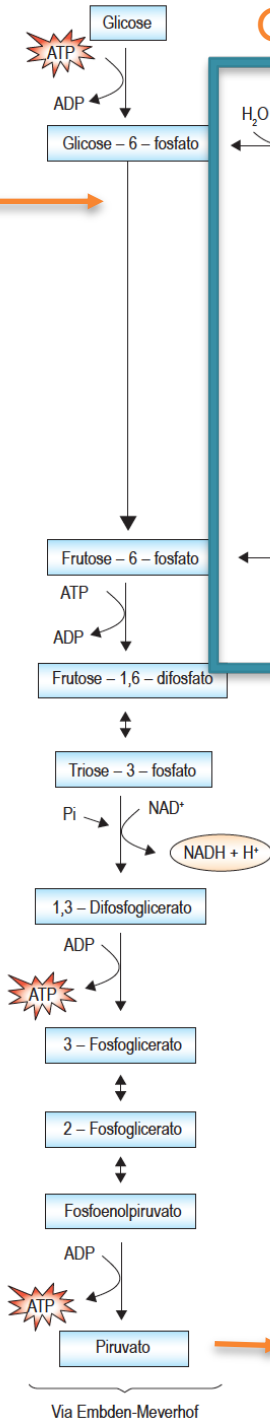
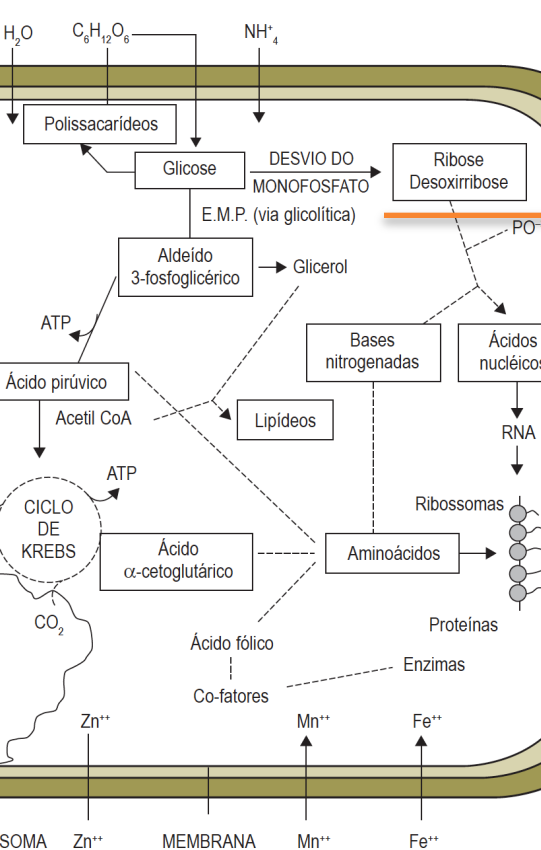


Figura 3.1 — Esquema geral do metabolismo bacteriano.



## Catabolismo da Glicose – Via Glicolítica em Bactérias

# CATABOLISMO da Glicose e Respiração



Produção de precursores e NADPH  
Síntese de riboses – precursor de DNA

Redução de  $NAD^+$  para  $NADH$ ,  
ou seja  $NAD^+$  ganha 2 elétrons e um  $H^+$

Acetil CoA → Ciclo de Krebs → Respiração

ATP ↑

Via Embden-Meyerhof

# Glicólise: Entner-Duodoroff [ED] Ocorre apenas em Microorganismos

## Entner-Doudoroff (ED)

## Embden-Meyerhof-Parnas (EMP)

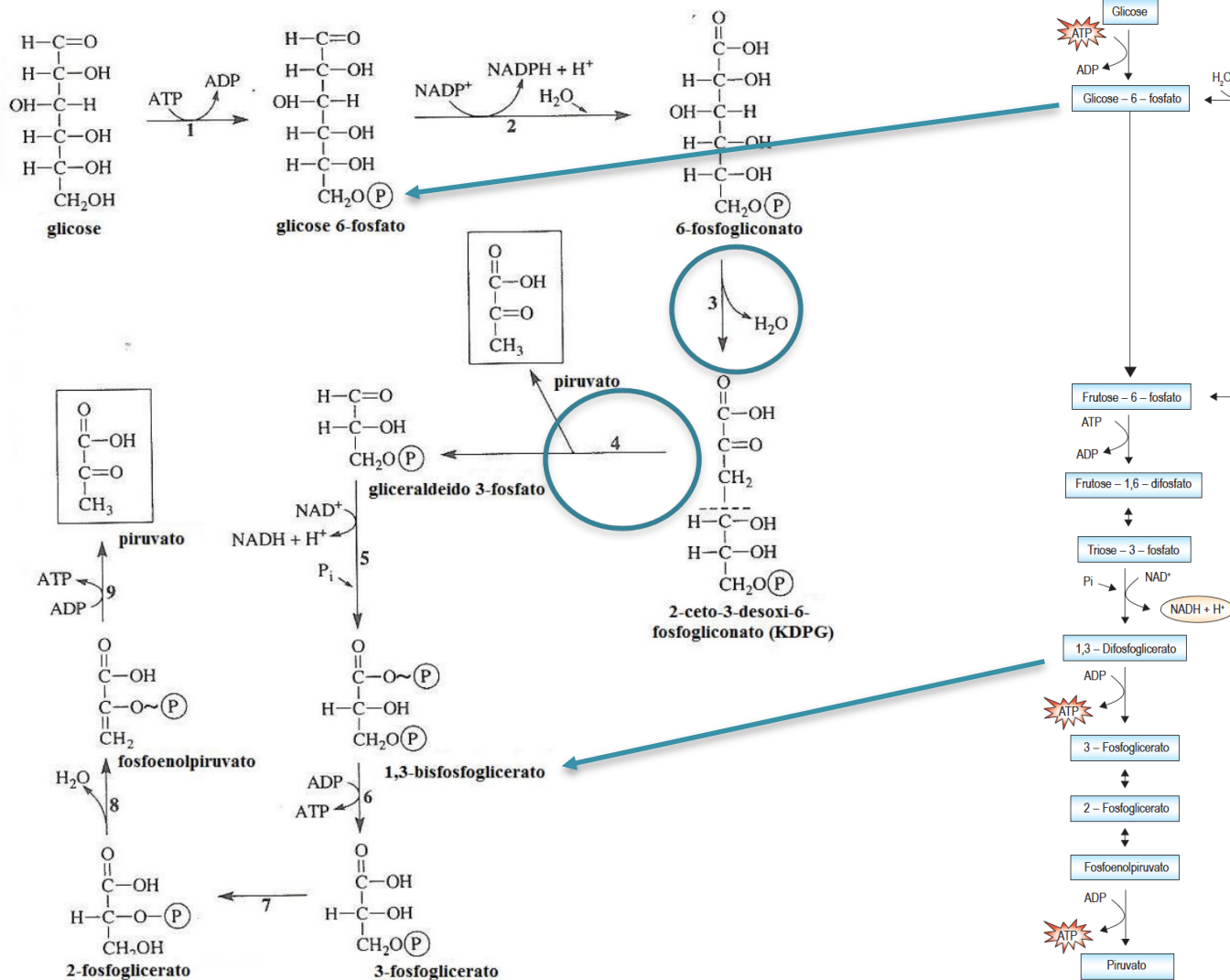
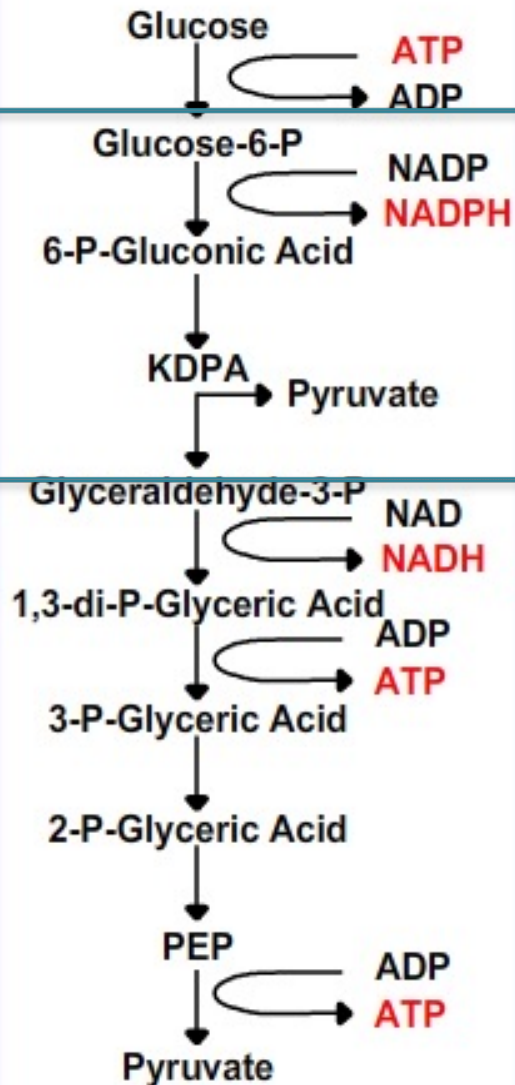


Figura 3.5. Via de Entner-Doudoroff.

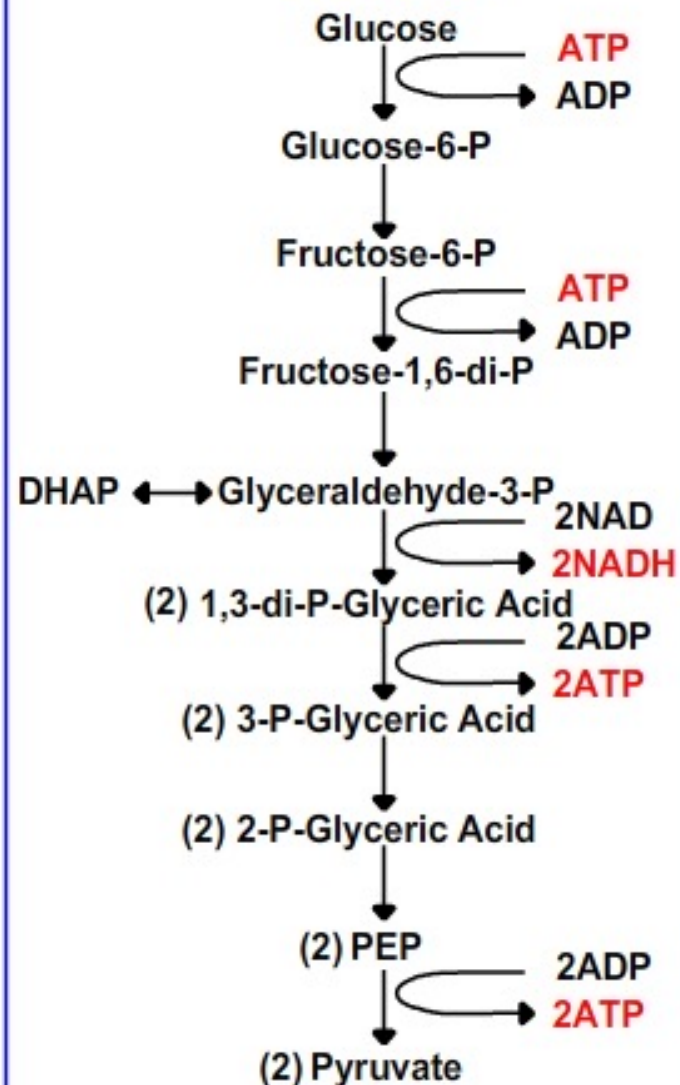
Via Embden-Meyerhof



### Entner-Doudoroff



### Embden-Meyerhof (Glycolysis)



Organismo	EMP	ED
<i>Ralstonia eutropha</i>	-	+
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	-	+
<i>Pseudomonas saccharophila</i>	-	+
<i>Escherichia coli</i>	+	-/+*
<i>Xanthomonas phaseoli</i>	-	+
<i>Bradyrhizobium japonicum</i>	-	+
<i>Azotobacter choococcum</i>	+	-
<i>Bacillus subtilis</i>	+	-
<i>Arthrobacter sp</i>	+	-

\**E. coli* somente expressa as enzimas de Entner-Doudoroff quando cresce em gliconato

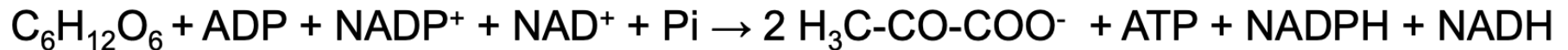
EMP - Glicolise



Glicose

Piruvato

ED



Glicose

Piruvato



## Catabolismo da Glicose – Utilização do Piruvato para Respiração

# CATABOLISMO da Glicose e Respiração Ciclo de Krebs e Fosforilação Oxidativa

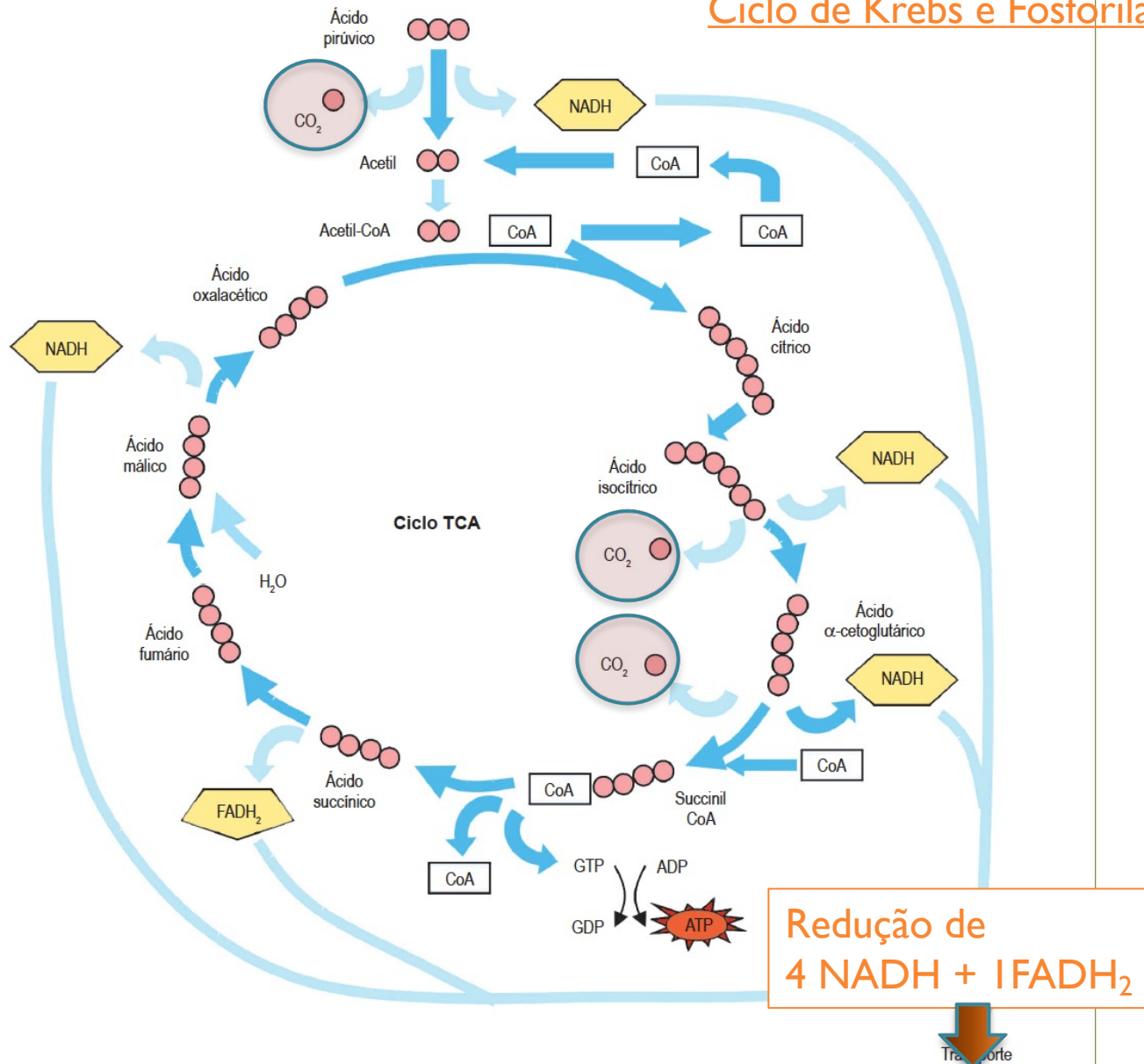


Figura 3.4 — Ciclo de Krebs.

Cadeia de Transporte de elétrons na membrana citoplasmática para doar os elétrons para o Oxigênio



# Respiração Anaeróbica

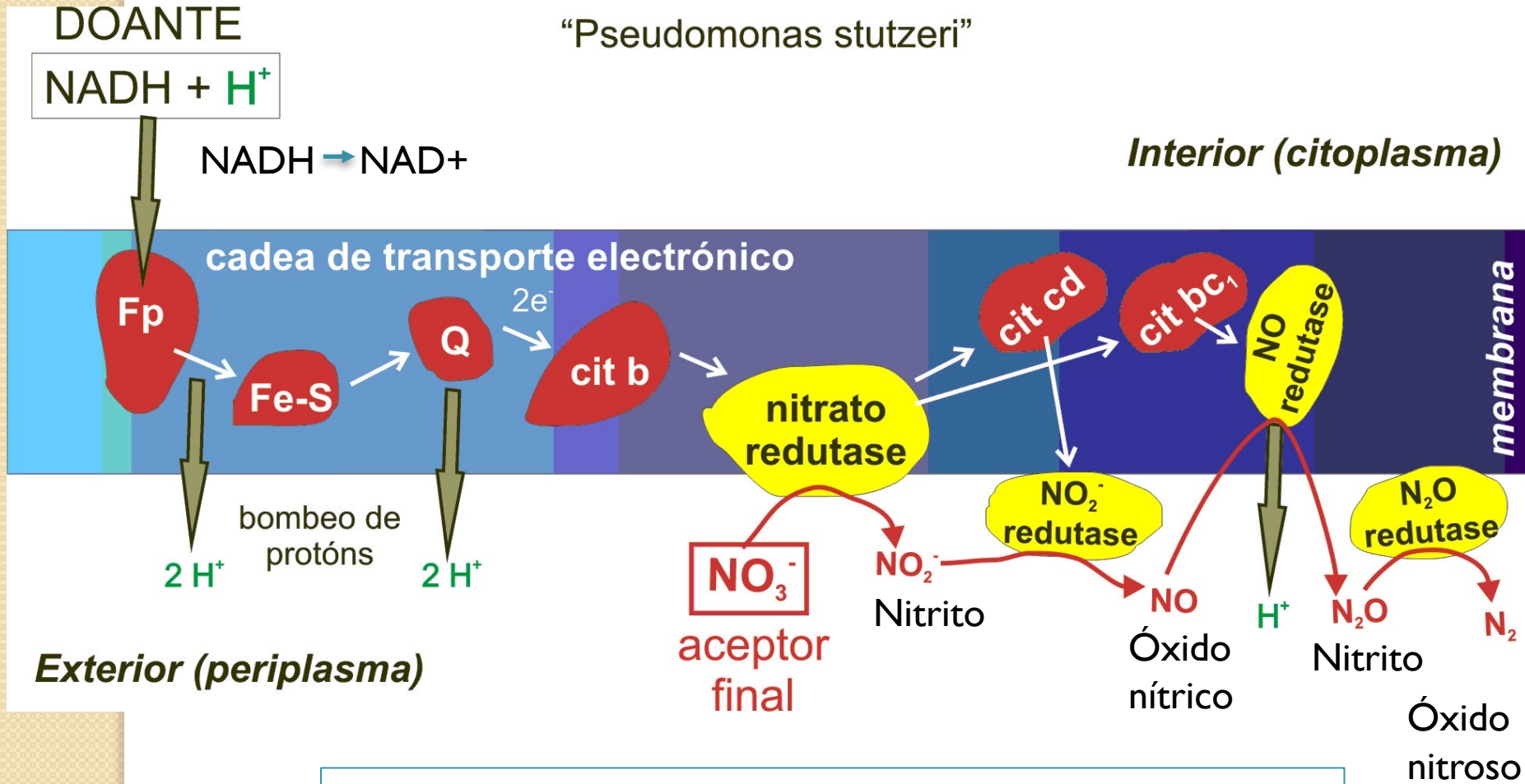
O aceptor final de elétrons é uma substância inorgânica diferente de oxigênio ( $O_2$ )

Pode ser:

- *Pseudomonas* e *Bacillus*: íon nitrato ( $NO_3^-$ ) reduzido à Íon nitrito ( $NO_2^-$ ),  $N_2O$  ou  $N_2$
- *Desulfovibrio* : íon sulfato ( $SO_4^{2-}$ ) reduzido à sulfeto de hidrogênio ( $H_2S$ )
- Outras bactérias:  $CO_3^{2-}$  reduzido à metano ( $CH_4$ )

# Respiração anaeróbica: redução de nitrato para $N_2$

“Pseudomonas stutzeri”



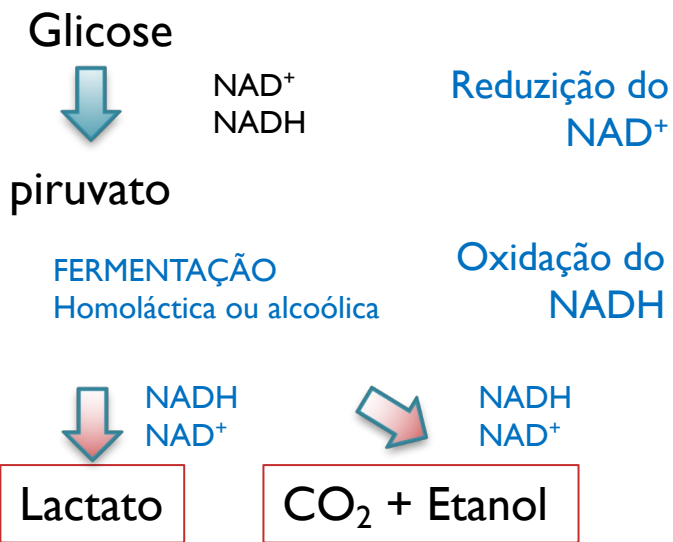
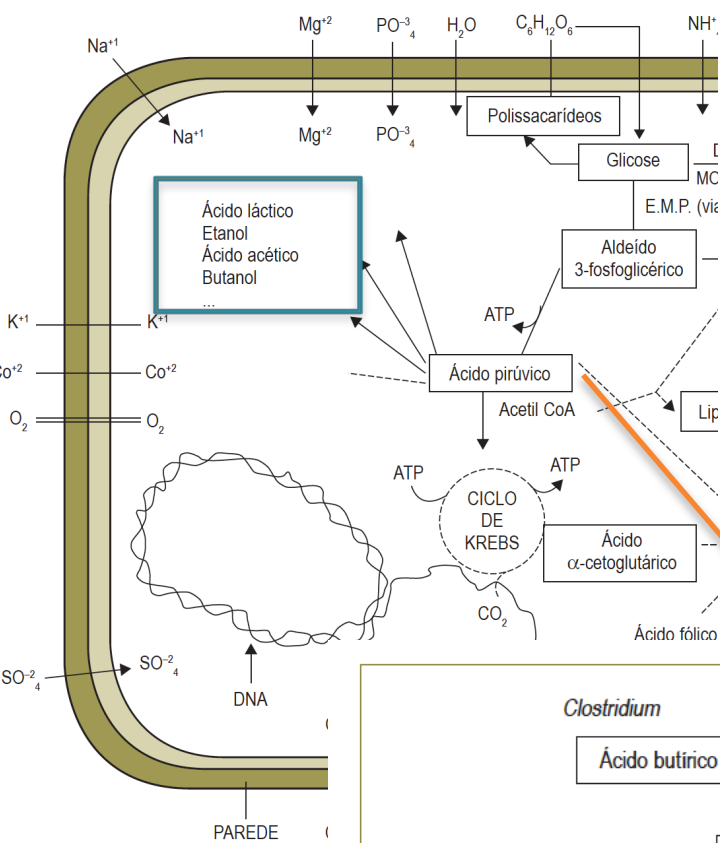
Isso é uma respiração ou fermentação, como vc sabe?



O que Acontece na Fermentação?



# Destino do Piruvato: Respiração ou Fermentação?



## Fermentação Reestabelece o par redox

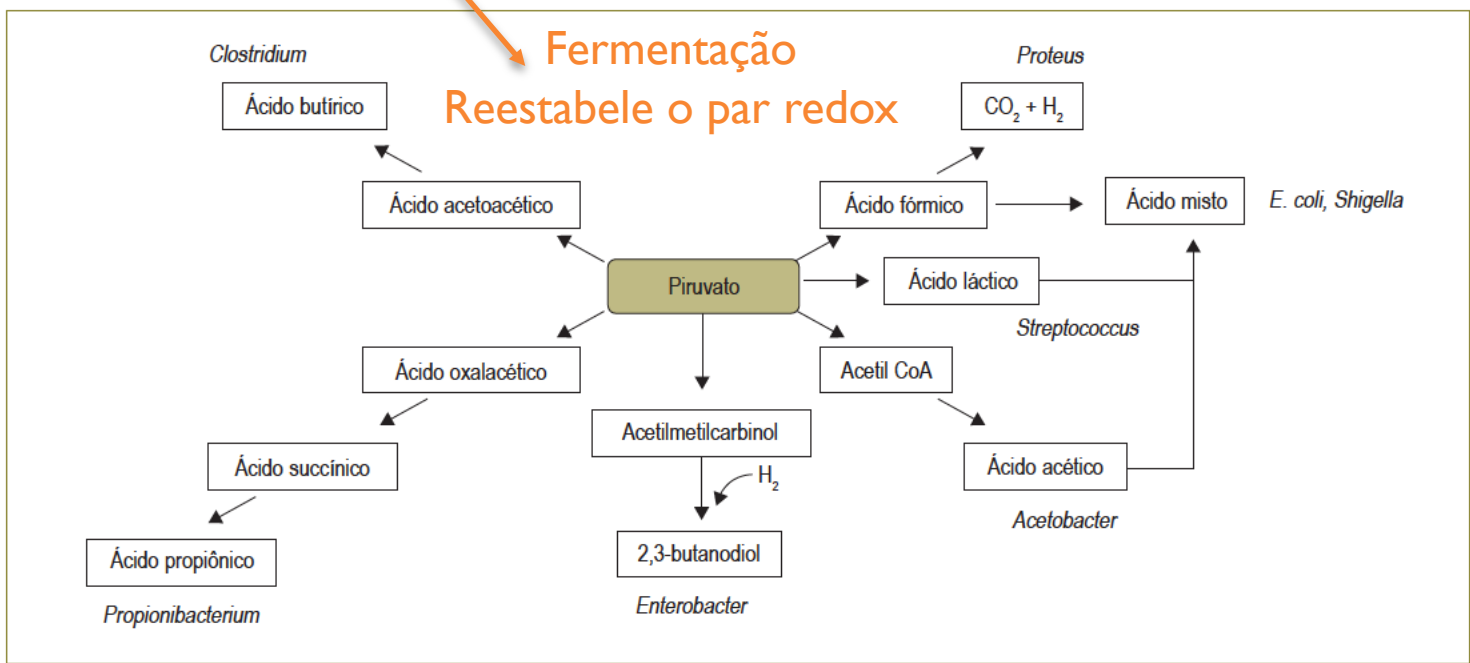
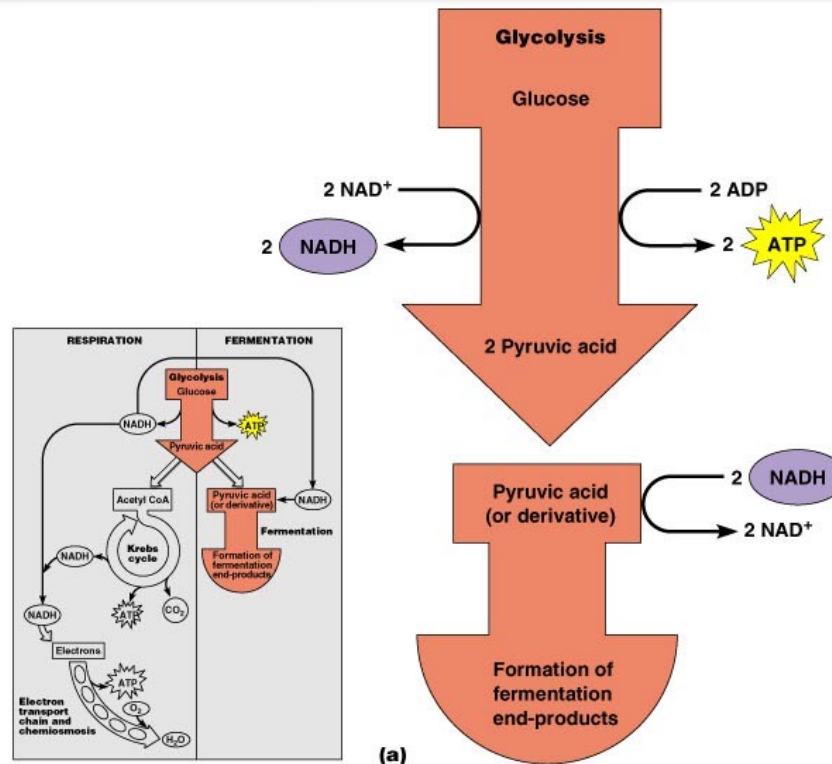


Figura 3.3 — Alguns exemplos de fermentação com diferentes produtos finais e respectivos micro-organismos produtores.

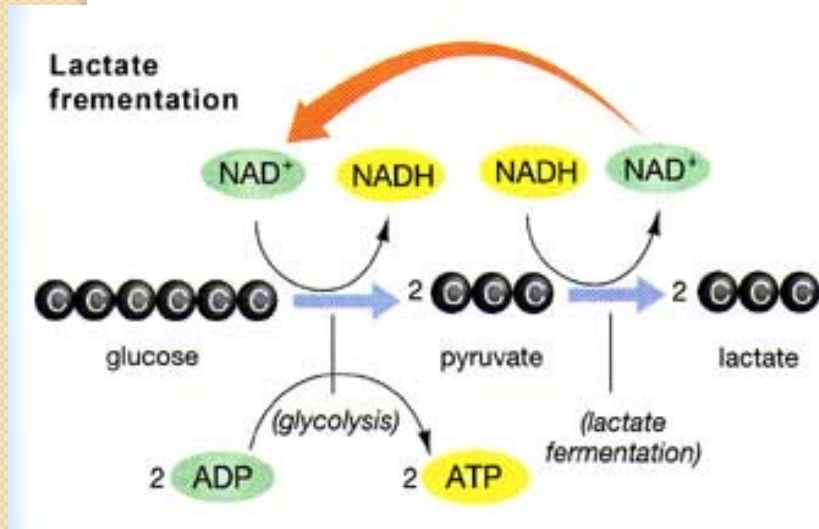
# Diferentes Produtos provindos da Fermentação



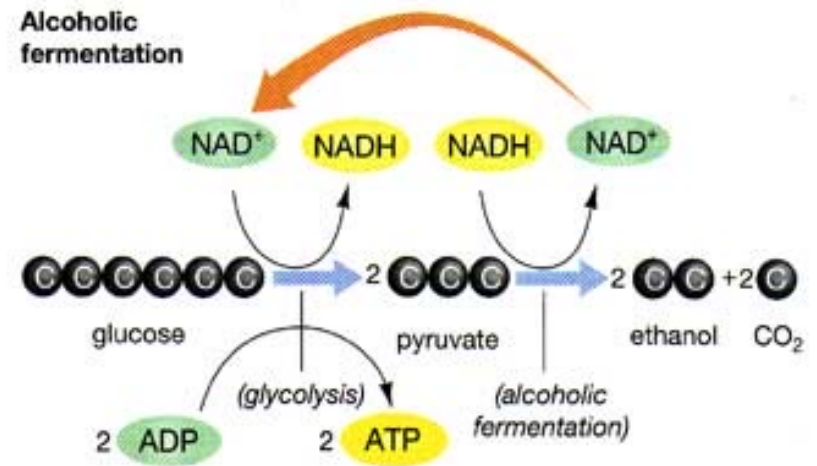
A glicose não é completamente oxidada CO<sub>2</sub>

	Pyruvic Acid					
<b>Organism</b>	<i>Streptococcus, Lactobacillus, Bacillus</i>	<i>Saccharomyces</i> (yeast)	<i>Propionibacterium</i>	<i>Clostridium</i>	<i>Escherichia, Salmonella</i>	<i>Enterobacter</i>
<b>Fermentation end-product(s)</b>	Lactic acid	Ethanol and CO <sub>2</sub>	Propionic acid, acetic acid, CO <sub>2</sub> , and H <sub>2</sub>	Butyric acid, butanol, acetone, isopropyl alcohol, and CO <sub>2</sub>	Ethanol, lactic acid, succinic acid, acetic acid, CO <sub>2</sub> , and H <sub>2</sub>	Ethanol, lactic acid, formic acid, butanediol, acetoin, CO <sub>2</sub> , and H <sub>2</sub>

# Diferença entre a fermentação láctica e alcoólica

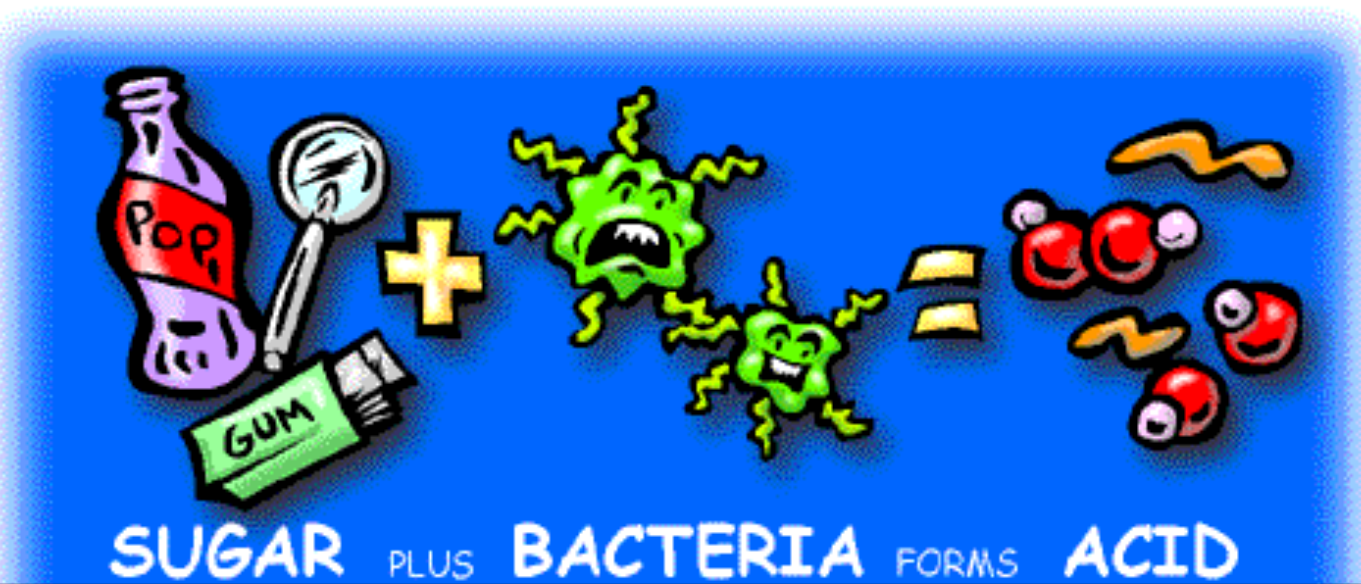


Yogurt



Cerveja!!!!

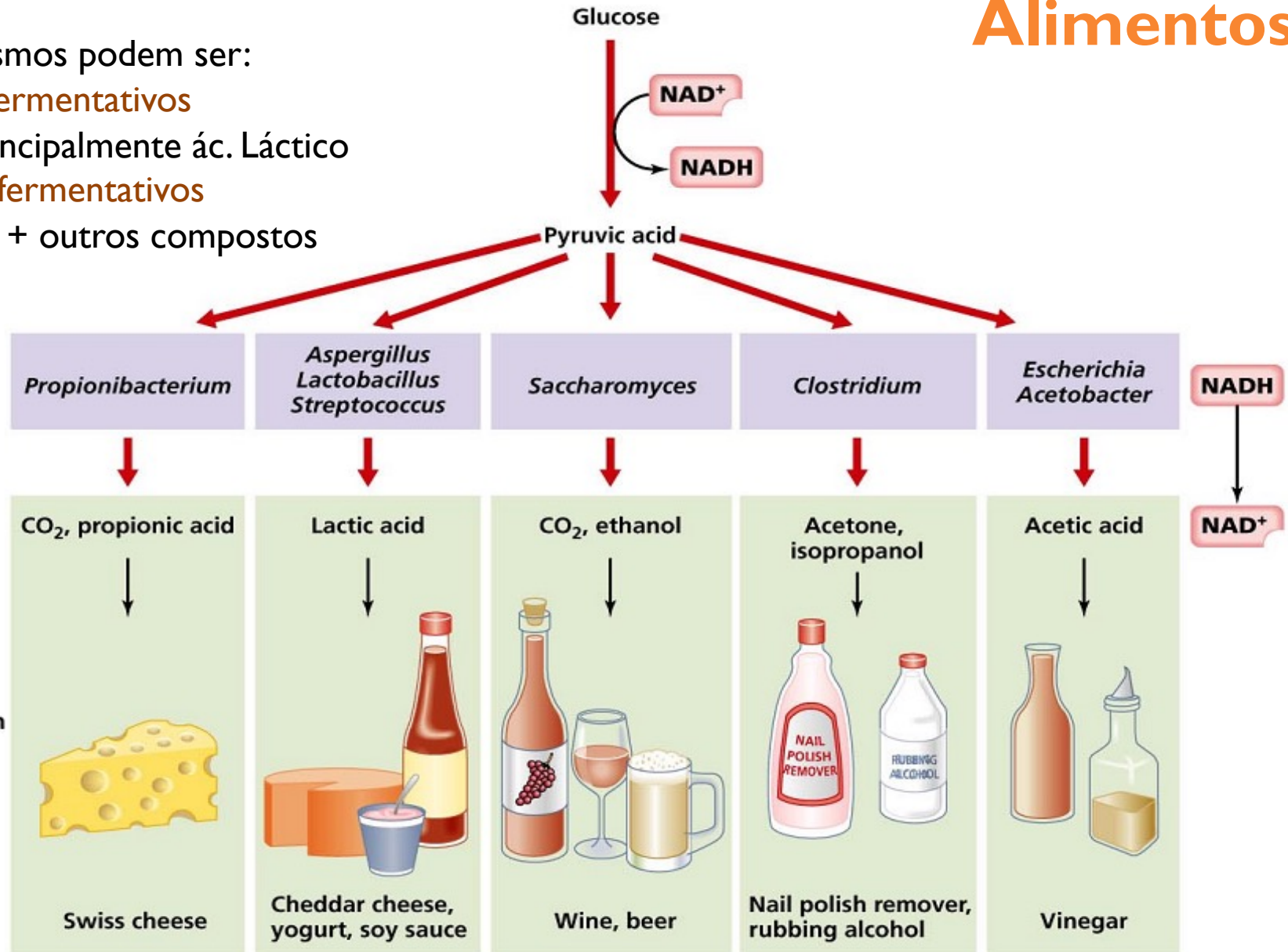
# Importância da fermentação na saúde bucal



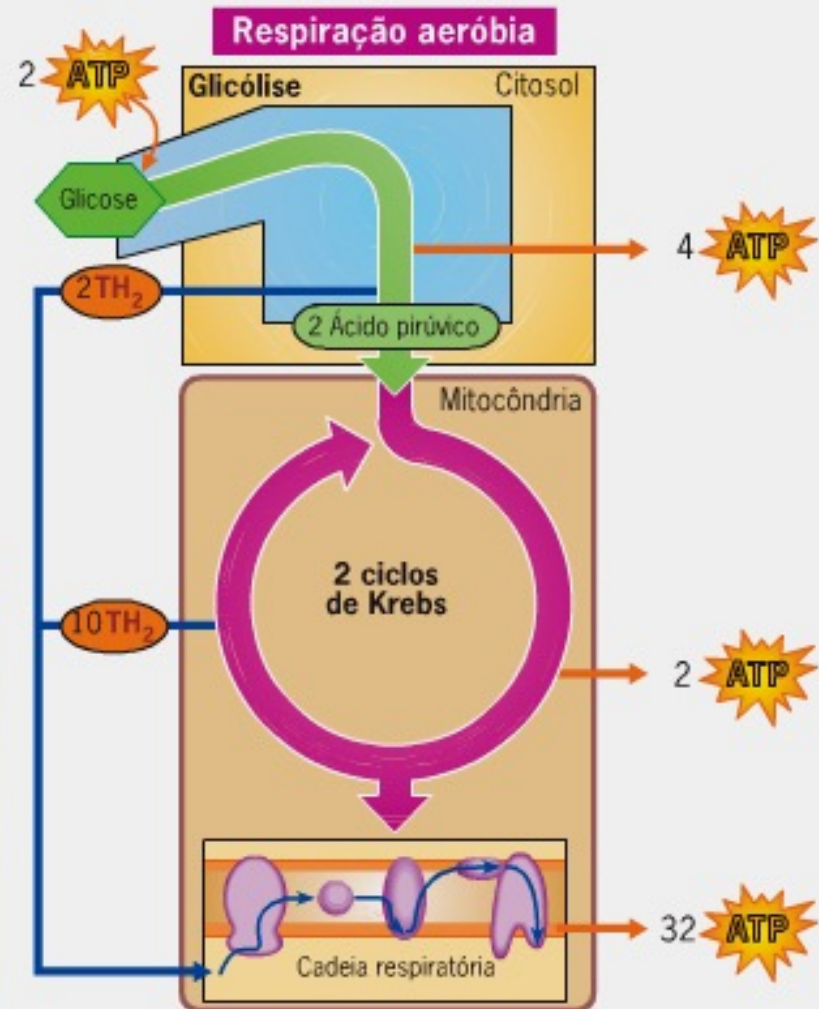
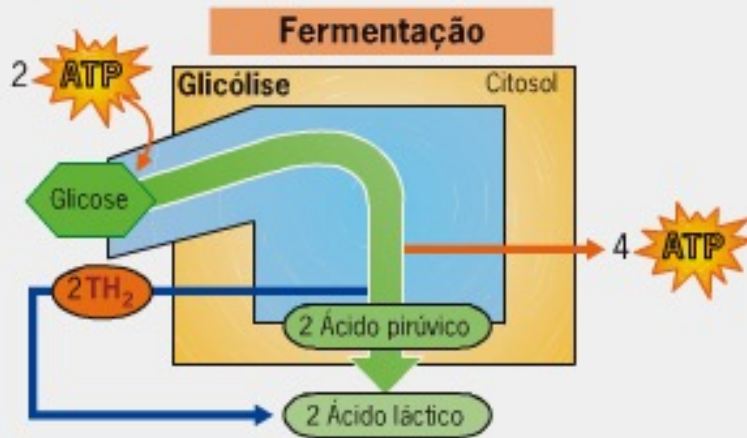
# Importância da fermentação na Indústria de Alimentos

Os organismos podem ser:

- **Homofermentativos**  
produz principalmente ác. Láctico
- **Heterofermentativos**  
ác. Láctico + outros compostos



# Respiração ou a Fermentação é mais energética?



Rendimento energético em termos de moléculas de ATP

Fermentação			Respiração aeróbia		
Estrutura	ATP		Estrutura	ATP	
	Formado	Mobilizado		Formado	Mobilizado
Citosol	4	2	Citosol	4	2
Saldo	2 ATP		Mitocôndria	2	—
			Membrana interna	32	—
			Saldo	36 ATP (2 + 2 + 32)	

# Diversidade no metabolismo bacteriano

**Tabela 3.4.** Bactérias quimiolitotróficas, respectivos substratos e valor do  $\Delta G^{\circ}$  da reação de oxidação

Bactéria	Reação	$\Delta G^{\circ}$ (mV/mol)
<i>Nitrosomonas europaea</i>	$2 \text{NH}_4^+ + 3 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{NO}_2^- + 2 \text{H}_2\text{O} + 4 \text{H}^+$	-551,2
<i>Nitrobacter winogradskyi</i>	$2 \text{NO}_2^- + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{NO}_3^-$	-74,3
<i>Cupriavidus necator</i>	$2 \text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$	-472,5
<i>Pseudomonas carboxydovorans</i>	$2 \text{CO} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{CO}_2$	-504,9
<i>Acidithiobacillus thiooxidans</i>	$2 \text{S}^0 + 3 \text{O}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{SO}_4^{2-} + 4 \text{H}^+$	-588,2
<i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i>	$4 \text{Fe}^{2+} + \text{O}_2 + 4 \text{H}^+ \rightarrow 4 \text{Fe}^{3+} + 2 \text{H}_2\text{O}$	-17,7
<i>Leptothrix</i> spp.	$2 \text{Mn}^{2+} + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{MnO}_2 + 4 \text{H}^+$	-77,6
<i>Paracoccus denitrificans</i>	$5 \text{H}_2 + 2 \text{NO}_3^- + 2 \text{H}^+ \rightarrow 6 \text{H}_2\text{O} + \text{N}_2$	-958,8
<i>Desulfovibrio desulfuricans</i>	$4 \text{H}_2 + \text{SO}_4^{2-} + 2 \text{H}^+ \rightarrow \text{H}_2\text{S} + 4 \text{H}_2\text{O}$	-154,4
<i>Methanobacterium thermoautotrophicum</i>	$4 \text{H}_2 + \text{HCO}_3^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{CH}_4 + 3 \text{H}_2\text{O}$	-138,6

Oxidação da  $\text{NH}_4^+$  (doador de  $e^-$ ) para  $\text{NO}_2^-$  (nitrito). Os eletrons são transferidos para o receptor final de elétrons, que neste caso é o  $\text{O}_2$

# Resumo da produção de energia

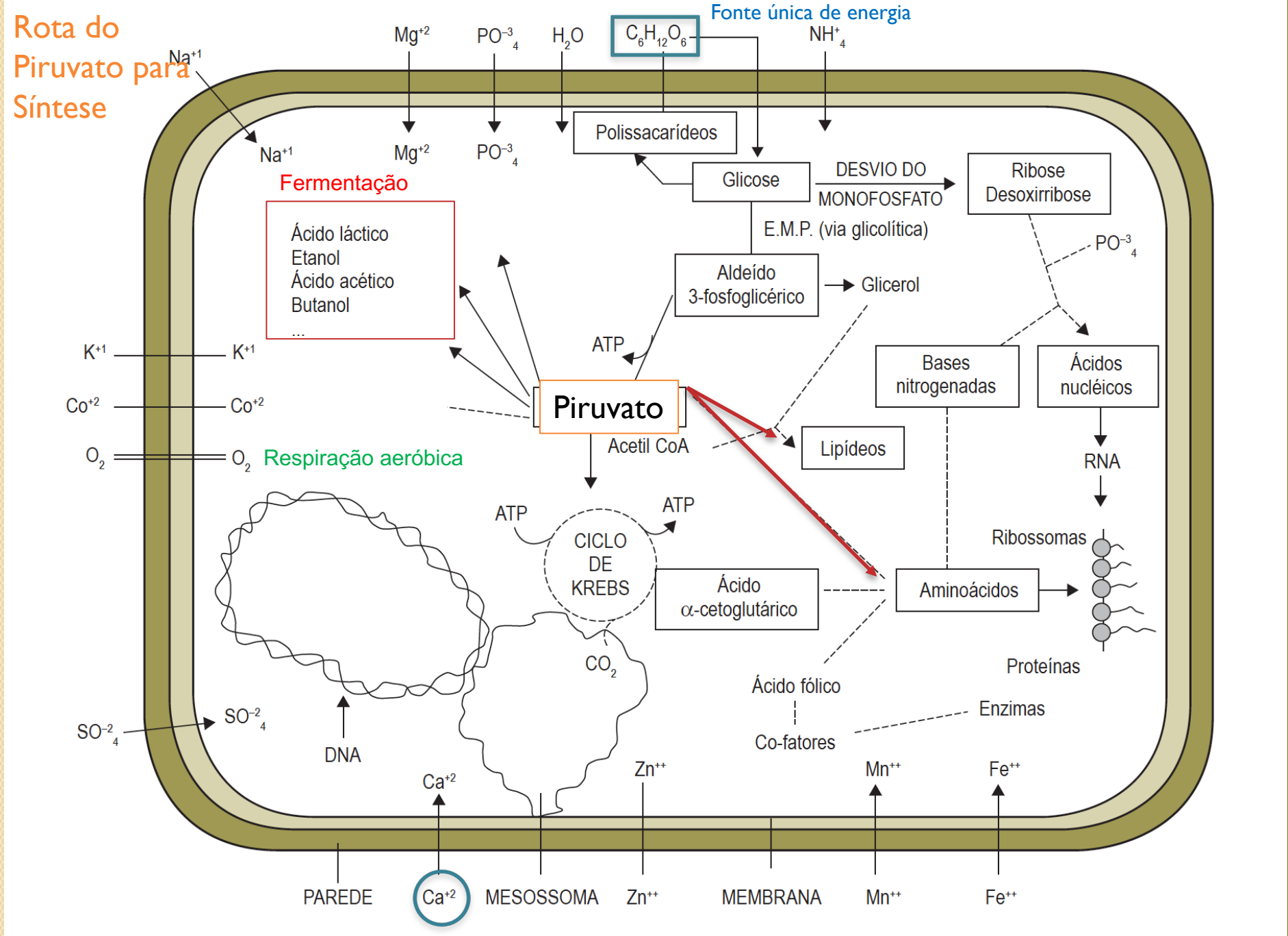
	<b>Doadores de e-</b>	<b>Aceptores e-</b>
Respiração aeróbica	<ul style="list-style-type: none"><li>• Glicose</li><li>• Compostos de enxofre</li><li>• Amônia</li><li>• hidrogênio</li></ul>	Oxigênio
Respiração anaeróbica	<ul style="list-style-type: none"><li>• Glicose</li><li>• Compostos de enxofre</li><li>• Amônia</li><li>• Hidrogênio</li><li>• outros</li></ul>	Íons inorgânicos
Fermentação	Glicose	Compostos orgânicos





Anabolismo.

Uso de Energia para síntese de compostos essenciais para a célula crescer



**Figura 3.1** — Esquema geral do metabolismo bacteriano.

## Rota do Piruvato para Síntese de Aminoácidos

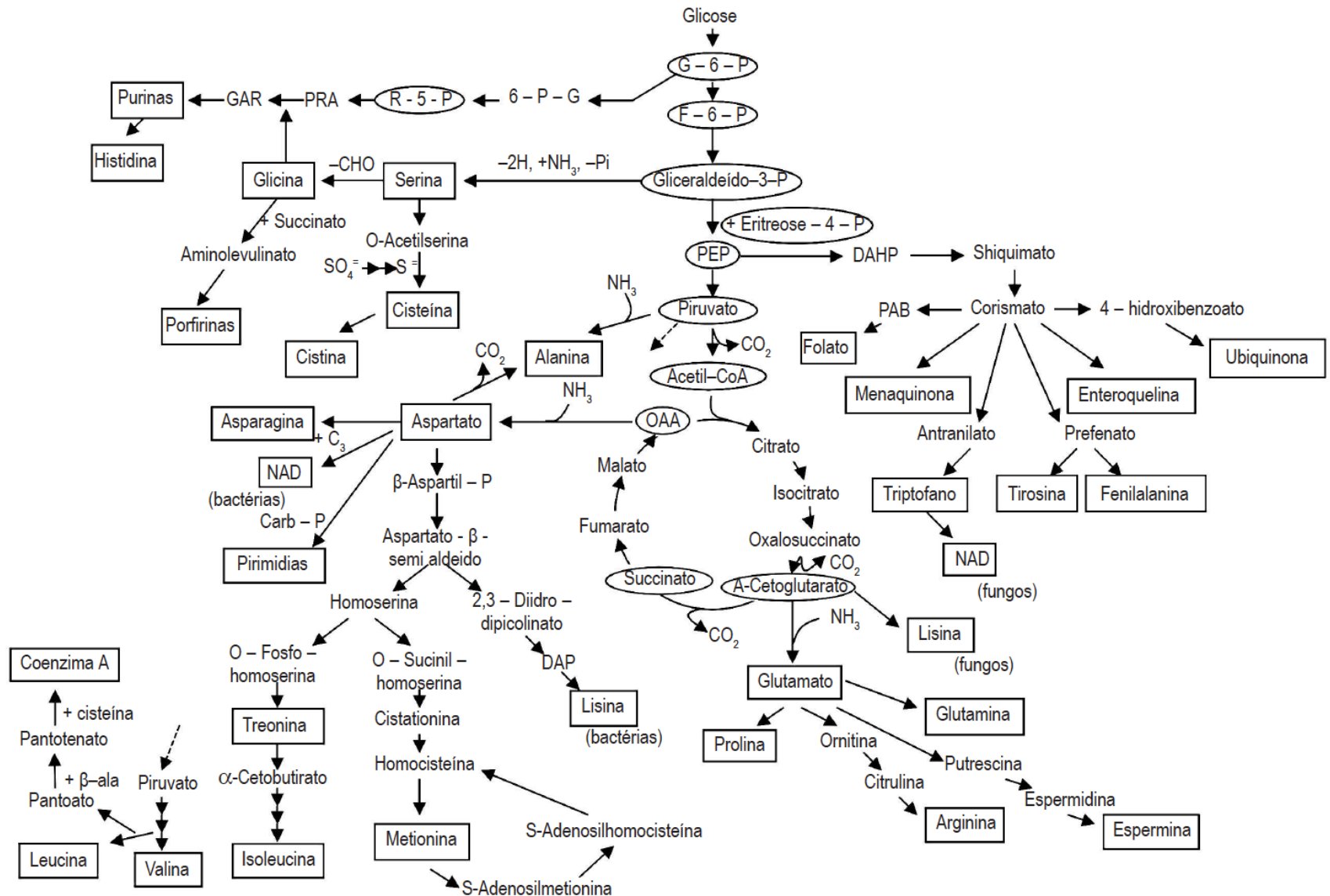
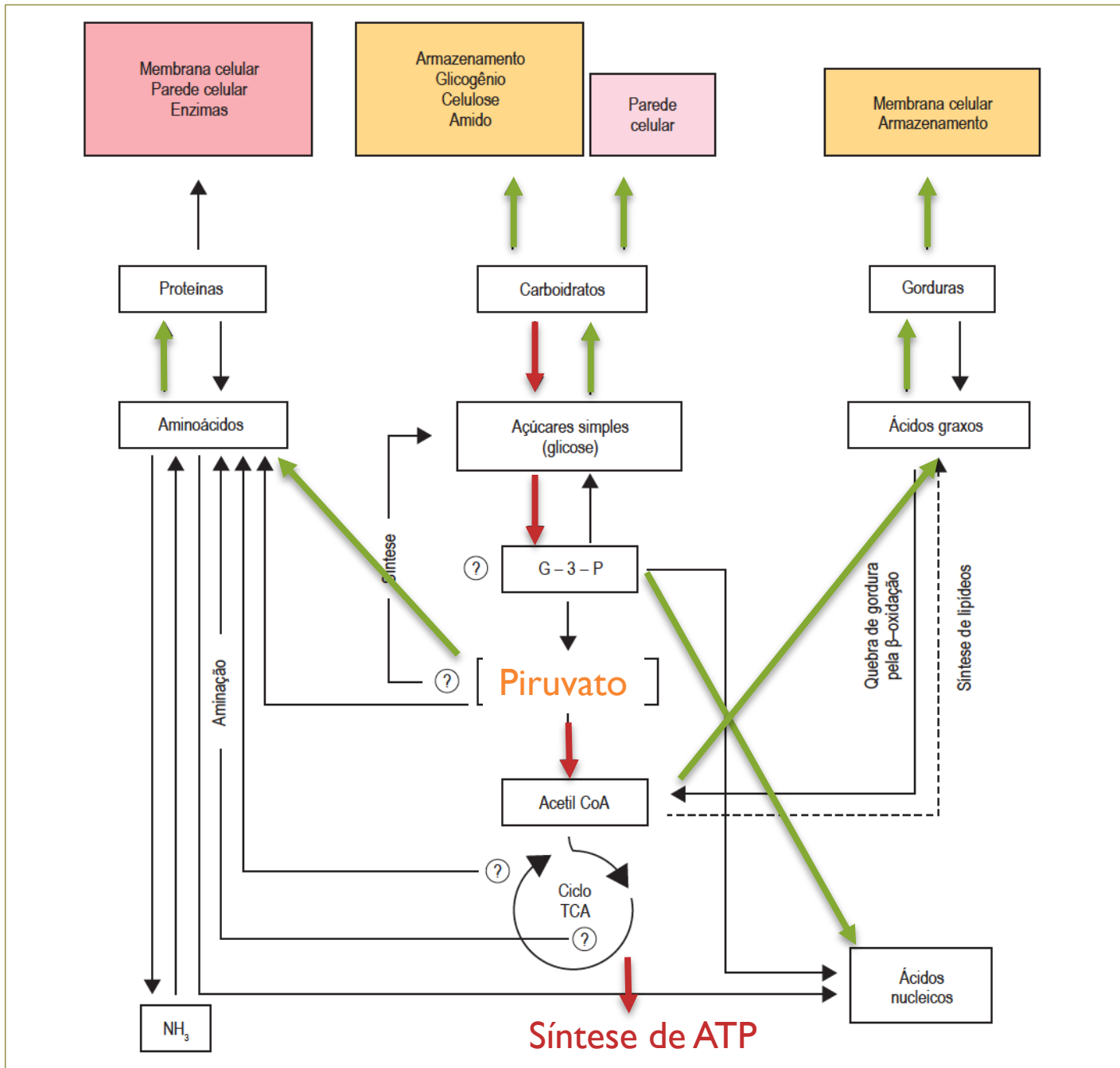


Figura 3.6 — Vias biossintéticas de produção de aminoácidos e compostos relacionados.



↓ Catabolismo de Açúcares (degradação) Produção de ATP

↑ Anabolismo (Síntese de aa, purinas, lipídeos ..) – Consumo de ATP

Figura 3.5 — Esquema genérico de integração do metabolismo.

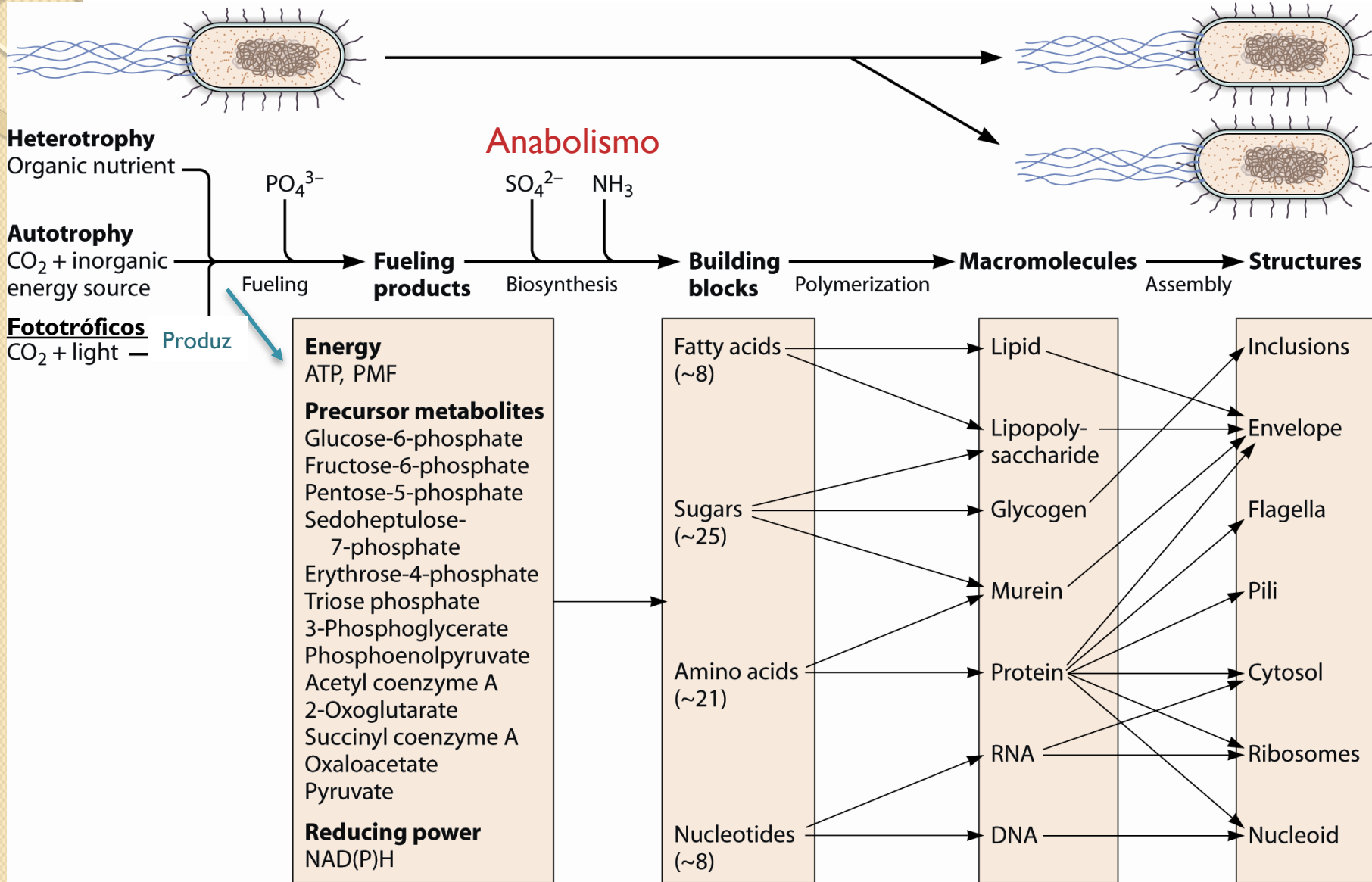
**Table 5.2** Gene products of *Escherichia coli* associated with various metabolic processes

<b>Functional category</b>	<b>No. of genes</b>
<b>Metabolism of small molecules</b>	
Degradation and energy metabolism	316
Central intermediary metabolism	78
Broad regulatory function	51
Biosynthesis	
Amino acids and polyamines	60
Purines, pyrimidines, nucleosides, and nucleotides	98
Fatty acids	26
<b>Metabolism of macromolecules</b>	
Synthesis and modification	406
Degradation	69
Cell envelopes	168
Cell processes	
Transport	253
Other, e.g., cell division, chemotaxis, mobility, osmotic adaptation, detoxification, and cell killing	118
Miscellaneous	107
<b>Total</b>	<b>1,894</b>

Em torno de 40 %  
das proteínas  
produzidas por um  
microorganismo

# Metabolismo & Anabolismo Microbiano

Fonte de Energia



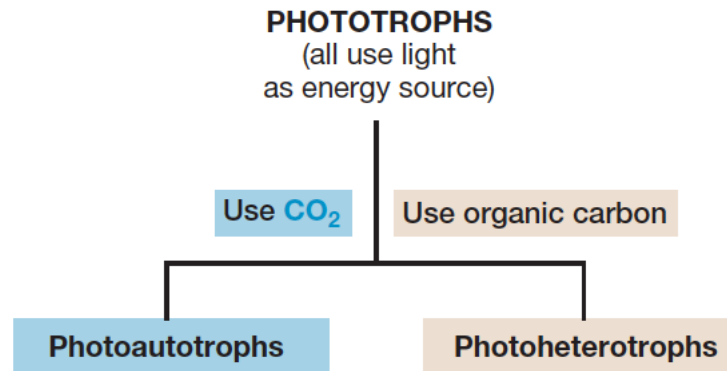


O que é Fotossíntese?

# Fotossíntese

- ❖ Energia luminosa (elétrons) excita elétrons de pigmentos;
- ❖ Como se a luz fosse oxidada e o pigmento fosse reduzido;
- ❖ Transferida para outros pigmentos ou outras proteínas;
- ❖ O elétron é transferido por uma cadeia de transporte de elétrons até um receptor final.
- ❖ As transferências de elétrons causa um gradiente de prótons que permite a síntese de ATP.
- ❖ Dependendo do receptor final, o tipo de **fotossíntese é cíclico** ou **não cíclico**.
  - Doador de elétrons: Luz
  - Receptor intermediário de elétrons: pigmentos
  - Receptor final de elétrons: podem ser vários

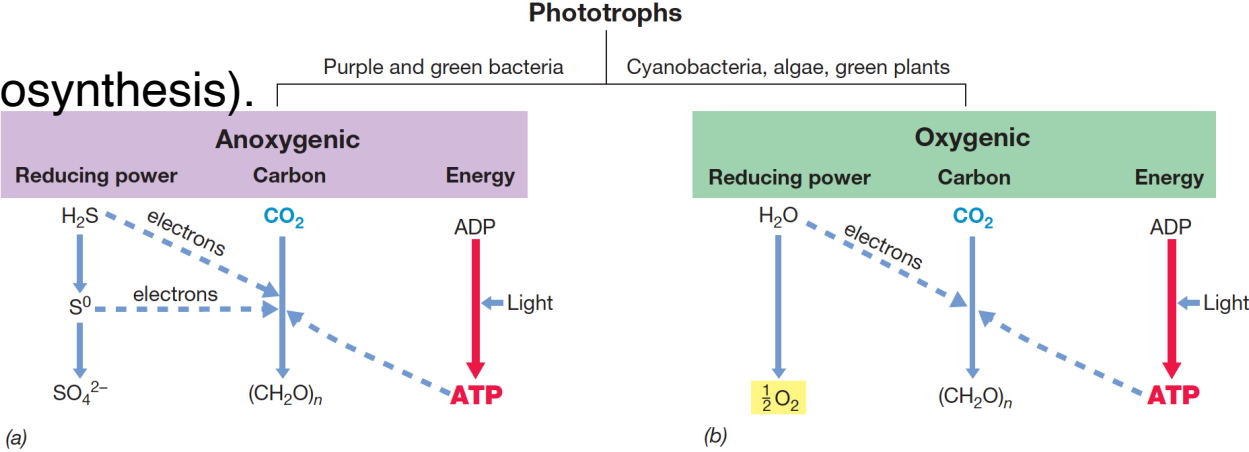




**Figure 13.1** Classification of phototrophic organisms in terms of energy and carbon sources. Some photoautotrophs can also grow as photoheterotrophs when the opportunity arises.

cyanobacteria use electrons from water (H<sub>2</sub>O) as reducing power.

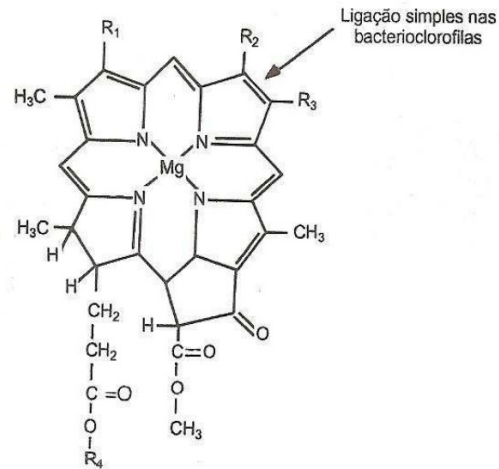
The oxidation of H<sub>2</sub>O produces molecular oxygen (O<sub>2</sub>) as a by-product (oxygenic photosynthesis).



**Figure 13.2** Patterns of photosynthesis. Energy and reducing power synthesis in (a) anoxygenic and (b) oxygenic phototrophs. Note that oxygenic phototrophs produce O<sub>2</sub>, while anoxygenic phototrophs do not.

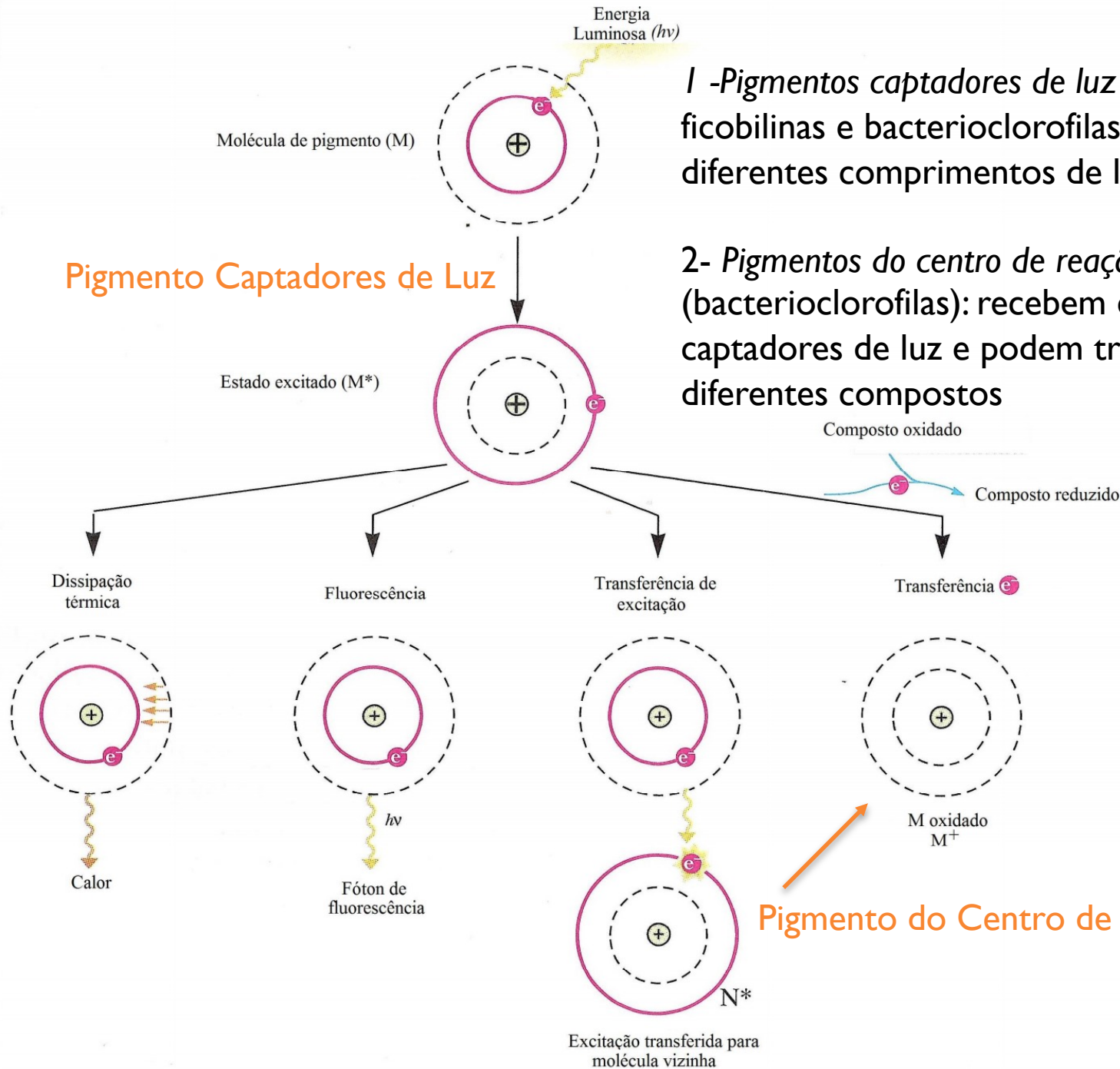
# Pigmentos Fotossensíveis

- Clorofila-a e Feofitinas encontradas apenas nas cianobactérias;
- Bacterioclorofilas e Bacteriofeofitinas, encontradas nas bactérias.



	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>
Clorofila a	-CH=CH <sub>2</sub>	-CH <sub>3</sub>	-CH <sub>2</sub> -CH <sub>3</sub>	 CH <sub>2</sub>
Clorofila b	-CH=CH <sub>2</sub>	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ -\text{C}-\text{H} \end{array}$	-CH <sub>2</sub> -CH <sub>3</sub>	
Bacterioclorofila a	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ -\text{C}-\text{CH}_3 \end{array}$	-CH <sub>3</sub>	-CH <sub>2</sub> -CH <sub>3</sub>	
Bacterioclorofila b	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ -\text{C}-\text{CH}_3 \end{array}$	-CH <sub>3</sub>	=CH-CH <sub>3</sub>	fitil

Feofitinas: o átomo de Mg é substituído por dois prótons



## Pigmento Captadores de Luz

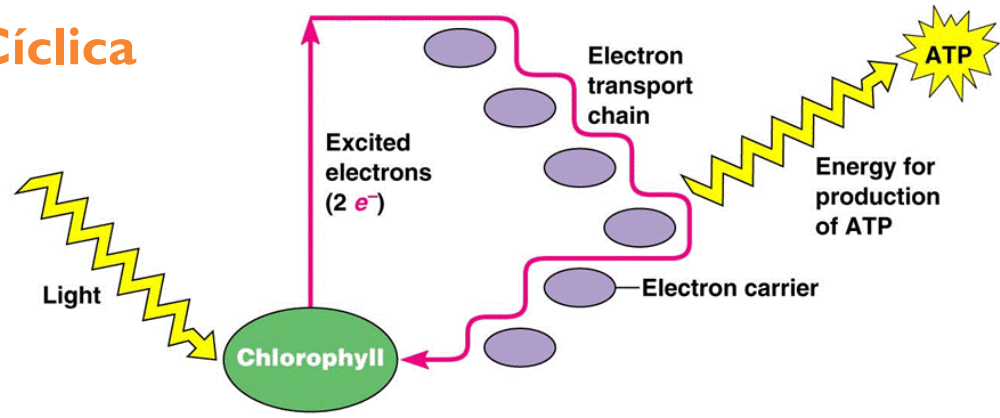
1- Pigmentos captadores de luz (carotenoides, ficobilinas e bacterioclorofilas), absorvem luz em diferentes comprimentos de luz;

2- Pigmentos do centro de reação (bacterioclorofilas): recebem  $e^-$  dos pigmentos captadores de luz e podem transferir  $e^-$  e reduzir diferentes compostos

## Pigmento do Centro de reação

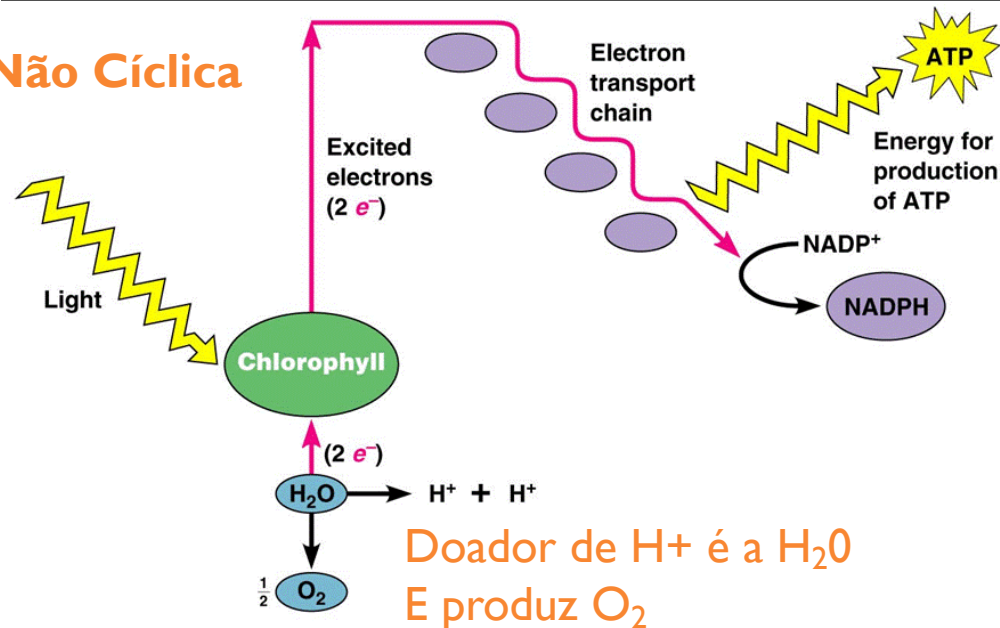
# Fotossíntese: Cadeia de transporte de elétrons na membrana, Respiração:

## Cíclica



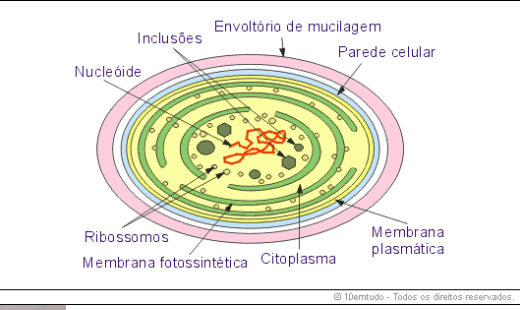
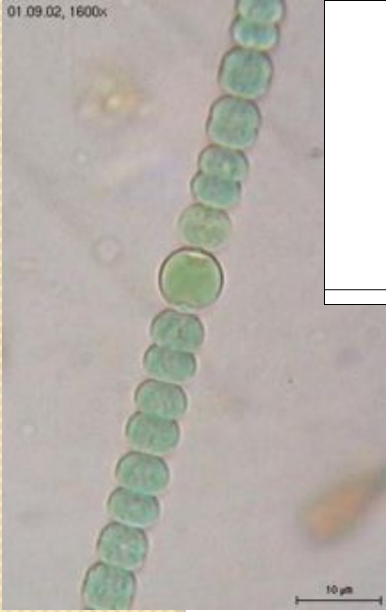
(a) Cyclic photophosphorylation

## Não Cíclica



(b) Noncyclic photophosphorylation

01.09.02, 1600x

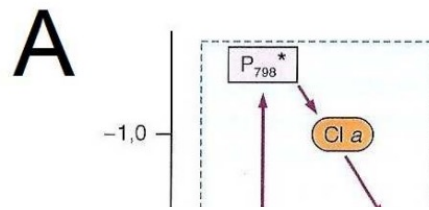


Cianobactérias

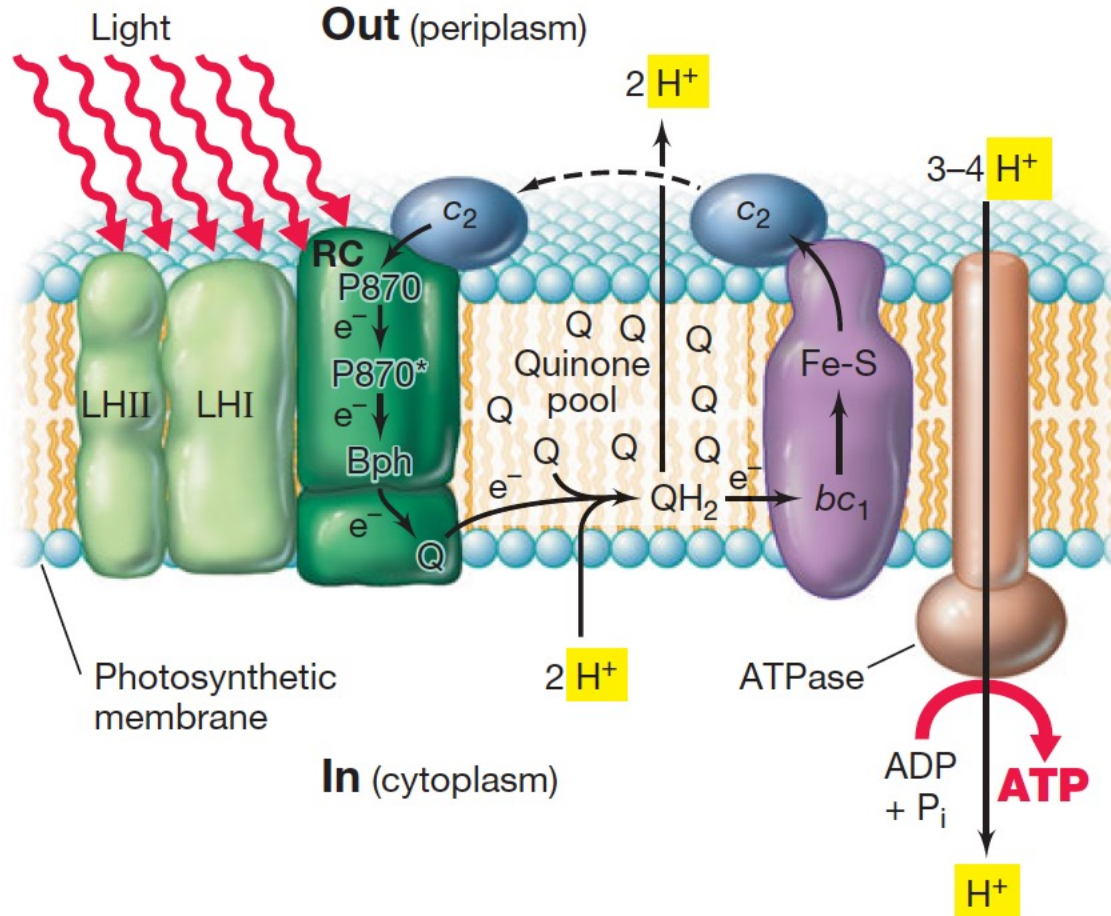
10  $\mu m$

# Fotossíntese: Fosforilação cíclica

Pigmento da reação é um clorofila final de elétrons excitado.

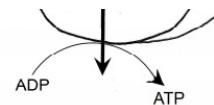


Apenas a participação do sistema I



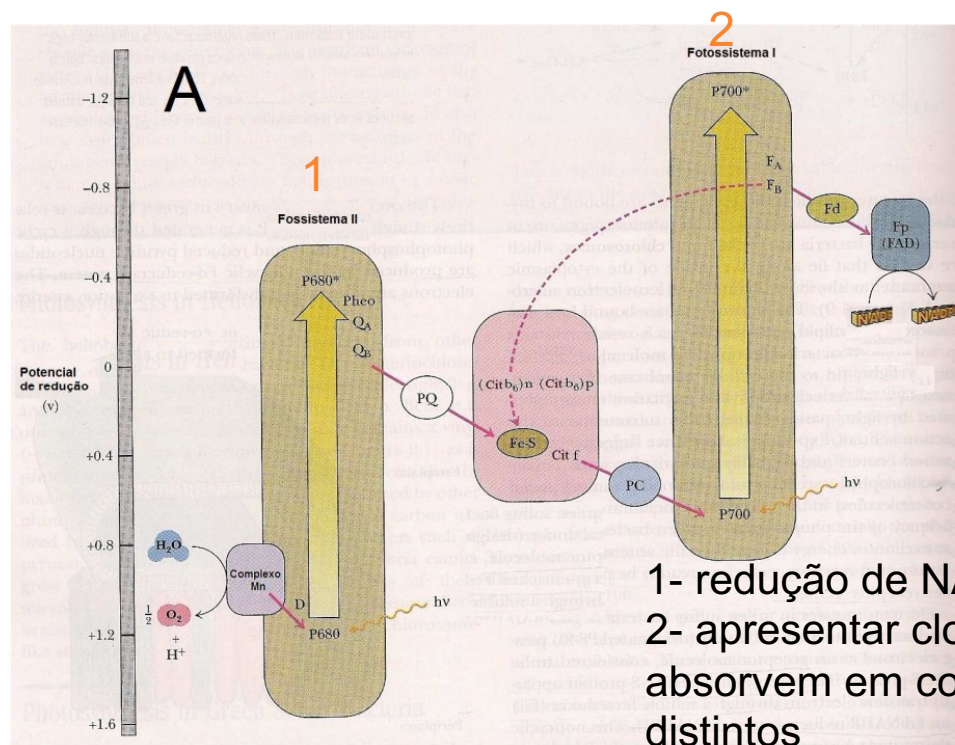
- Par especial
- Clorofila a
- Proteína FeS
- citocromo  $c_2$

- $e^-$  elétron excitado
- $e^-$  elétron de reposição
- Coenzima Q



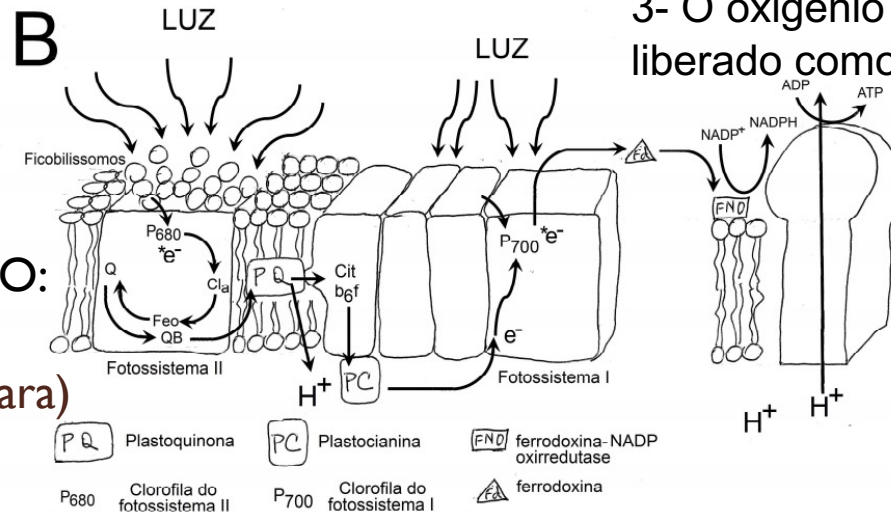
# Fotossíntese: Fosforilação não cíclica

Cianobactérias e  
semelhante à das algas



1- redução de NADP+ para NADPH ;  
2- apresentar clorofilas diferentes, que  
absorvem em comprimentos de onda  
distintos

3- O oxigênio da molécula de água é  
liberado como O<sub>2</sub> (fotossíntese oxigênica)



Protons provindos de H<sub>2</sub>O:  
Formação de H<sup>+</sup> e O<sub>2</sub>  
Fotólise da Água (fase Clara)  
2 H<sub>2</sub>O + 2NADP  
Resultam  
2NADPH<sub>2</sub> + O<sub>2</sub>

**Figura 3.22.** Fotossíntese não cíclica. A. Esquema de transferência de elétrons considerando os potenciais de redução. B. Disposição na membrana plasmática de componentes da cadeia de transporte de elétrons.

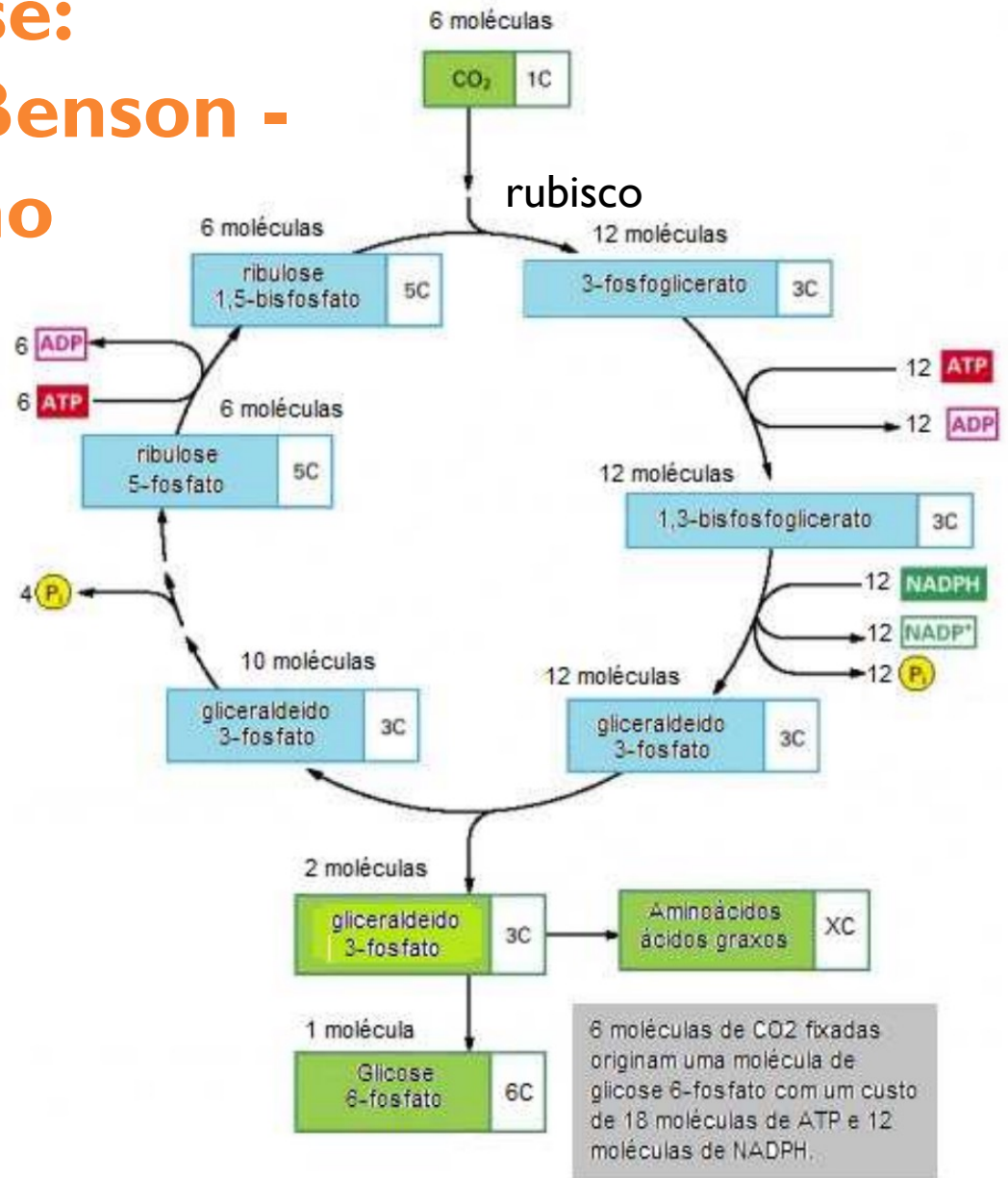


Como ocorre a transformação de  $\text{CO}_2$  para compostos mais complexos?



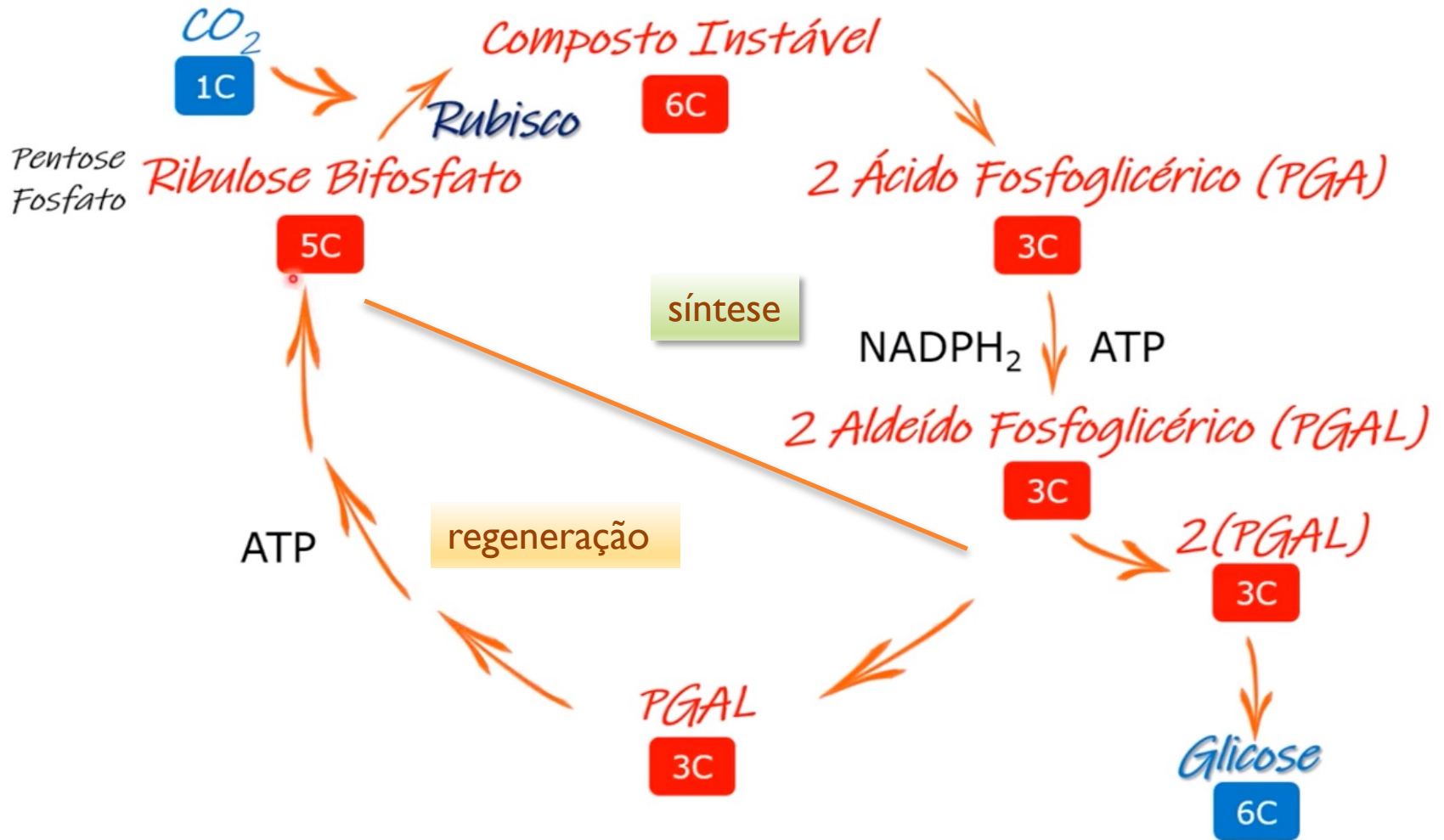
# Fotossíntese: Ciclo de Kelvin-Benson - Anabolismo

ribulose 1,5- bisfosfato  
carboxilase/oxigenase (rubisco)



**Figura 3.24.** Fixação de CO<sub>2</sub> pelo Ciclo de Calvin

# CICLO DE CALVIN



# Fotossíntese

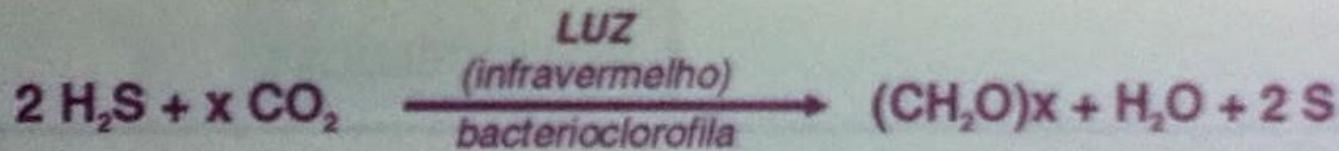
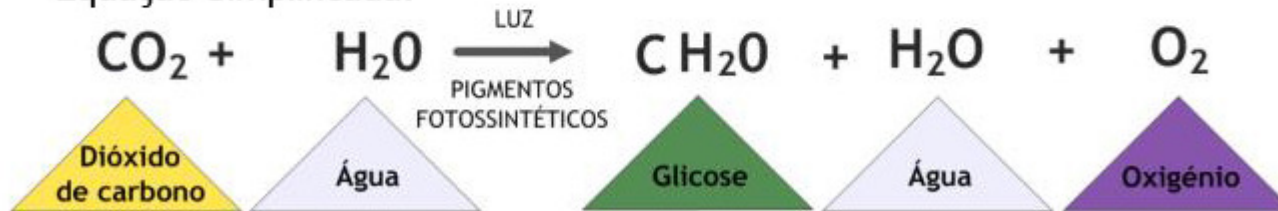
## Plantas, algas e algumas bactérias

Equação Geral:



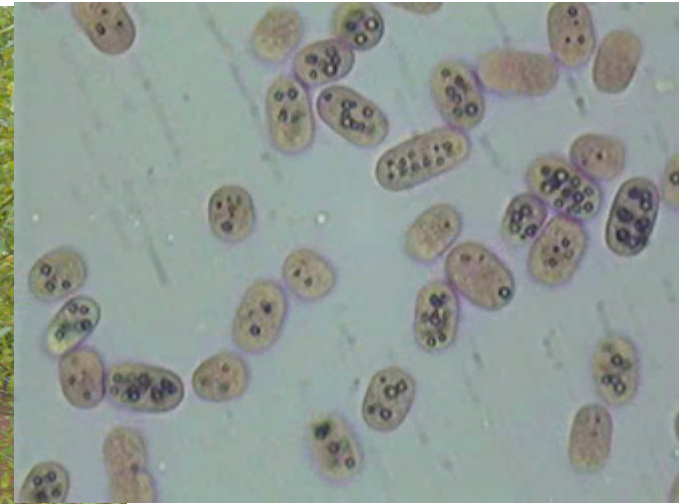
Plantas,  
Algas e  
cianobactérias

Equação Simplificada:



Bactérias  
púrpuras e  
verdes do  
enxofre

# Bactérias púrpuras: proteobactérias



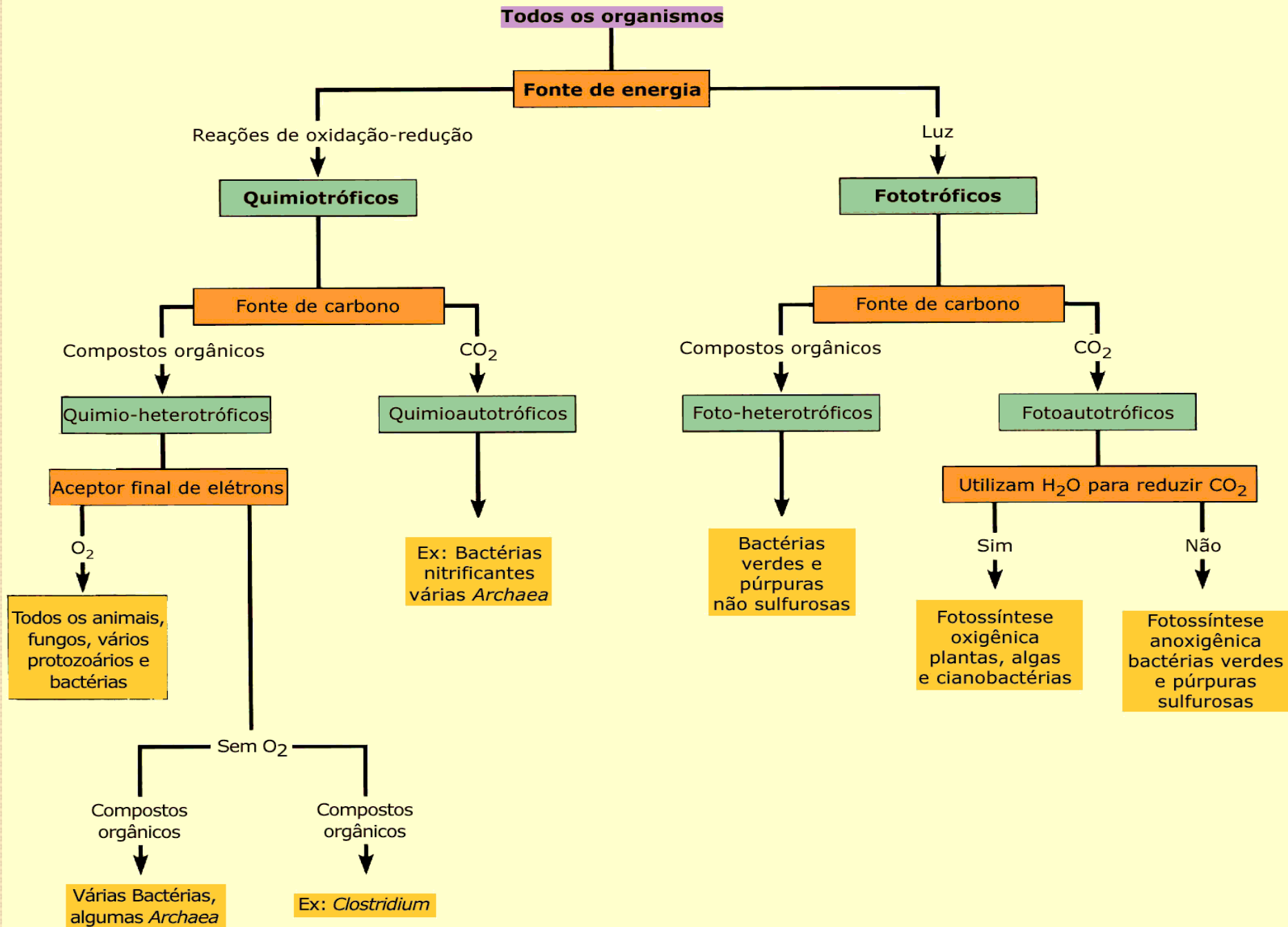
(*Chromatium okenii*)  
fotoheterotrófico



↓  
Não utilizam água  
como substrato  
doador de H

↓  
Não liberam  
oxigênio

# Classificação dos organismos de acordo com os padrões Nutricionais



# Diversidade Catabólica em Microrganismos

