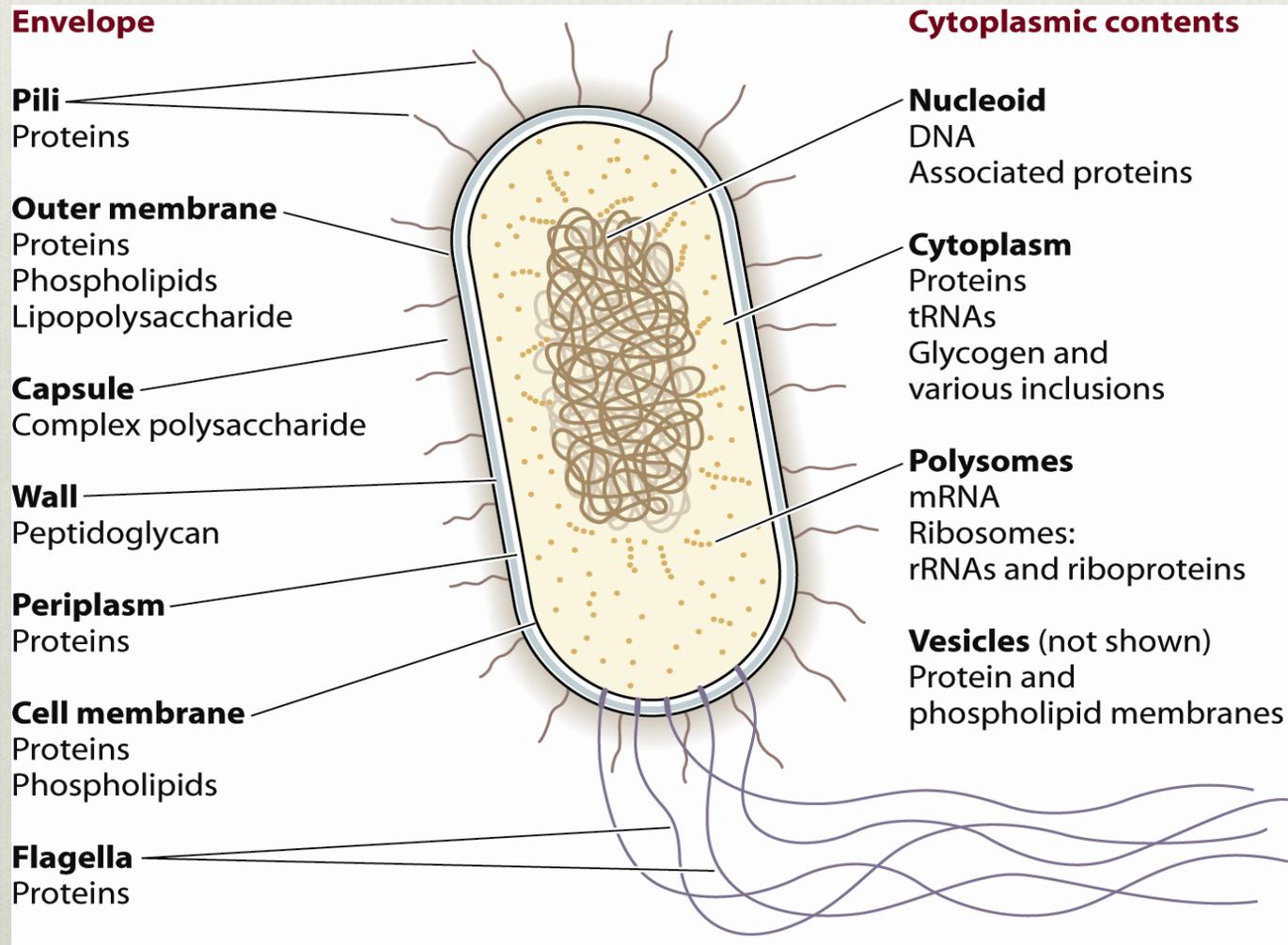
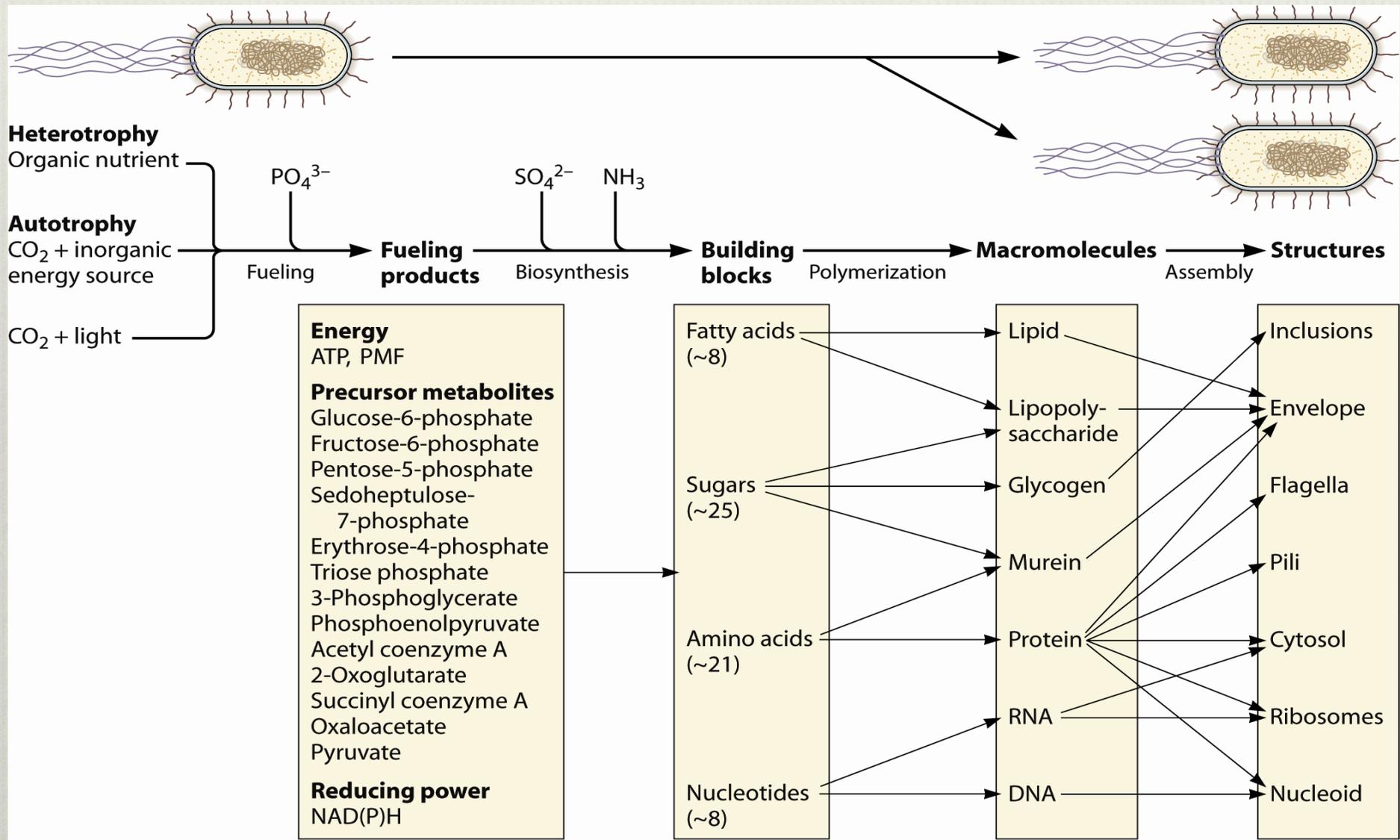


Metabolismo II

Metabolismo autotrófico

Como fazer uma célula bacteriana?

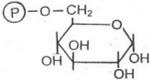
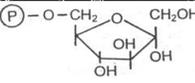
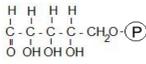
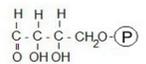
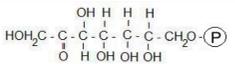
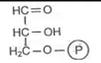
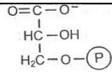
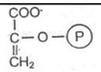
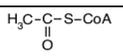
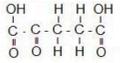
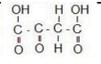
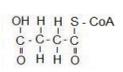


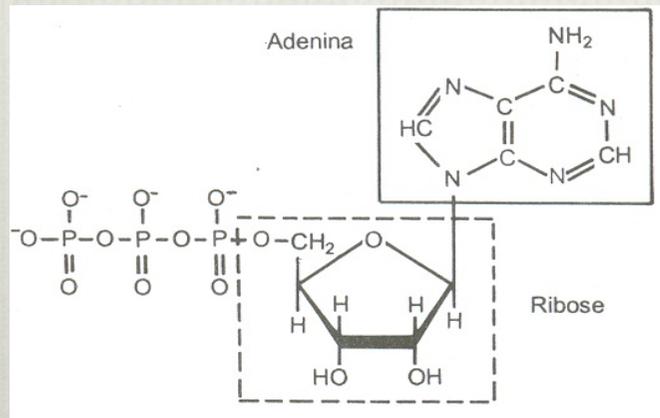


A célula bacteriana deve satisfazer três necessidades básicas:

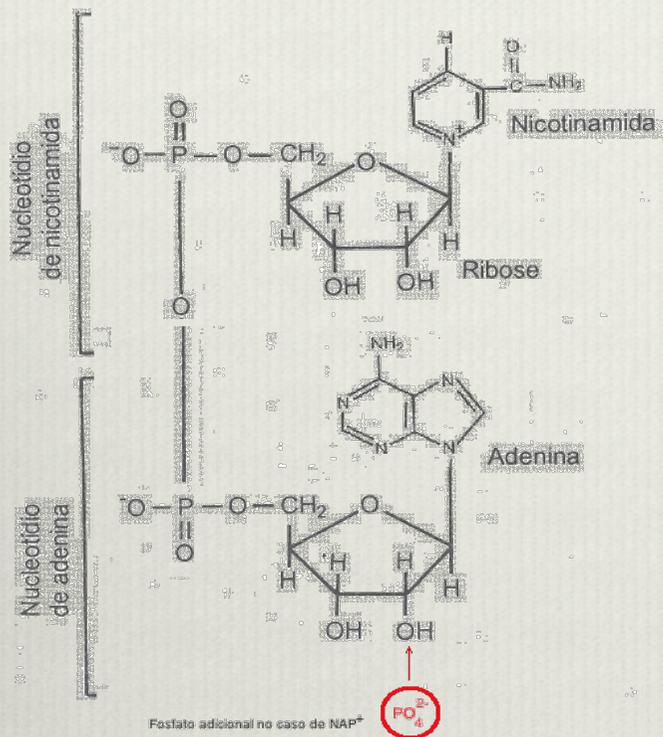
- Energia
- 13 precursores
- Poder redutor
- ATP
- Intermediários do metabolismo de Carbono
- NADPH

Destino dos precursores

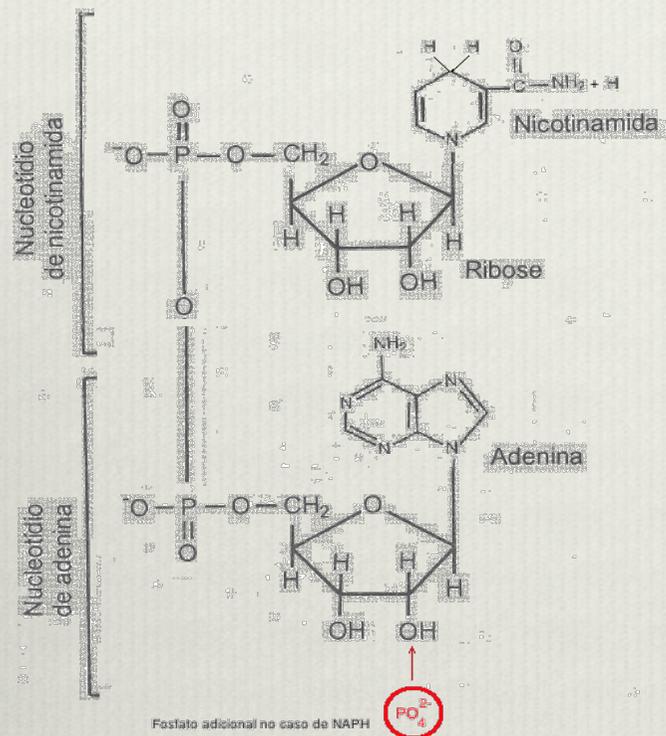
Nome	Estrutura	Precusores de:
1. Glicose-6-fosfato		Polímeros de carboidratos
2. Frutose-6-fosfato		<i>N</i> -acetilglicosamina, ácido <i>N</i> -acetilmurâmico, mureína
3. Ribose-5-fosfato		Ácidos nucléicos, histidina
4. Eritrose-4-fosfato		Aminoácidos aromáticos
5. Sedoheptulose-7-fosfato		Polímeros de carboidratos/polissacarídeos
6. Triose-fosfato		Precursor de dihidroxiacetona, lipídios
7. 3-fosfoglicerato		Aminoácidos da família da serina
8. Fosfoenolpiruvato		Aminoácidos aromáticos
9. Piruvato		Aminoácidos
10. Acetil-CoA		Lipídios
11. α-cetoglutarato		Aminoácidos da família do glutamato
12. Oxaloacetato		Aminoácidos da família do aspartato
13. Succinil-CoA		Heme



ATP

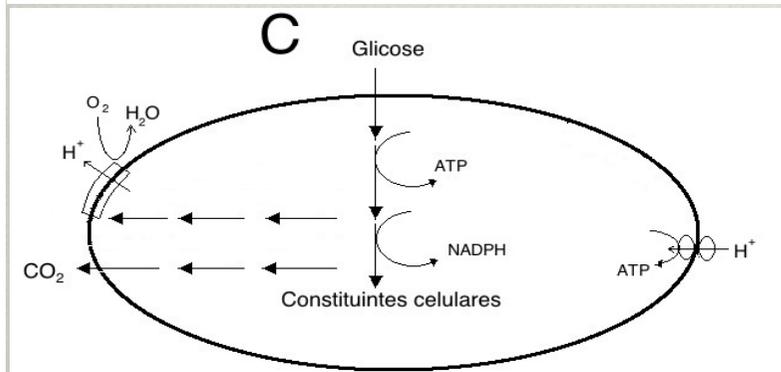
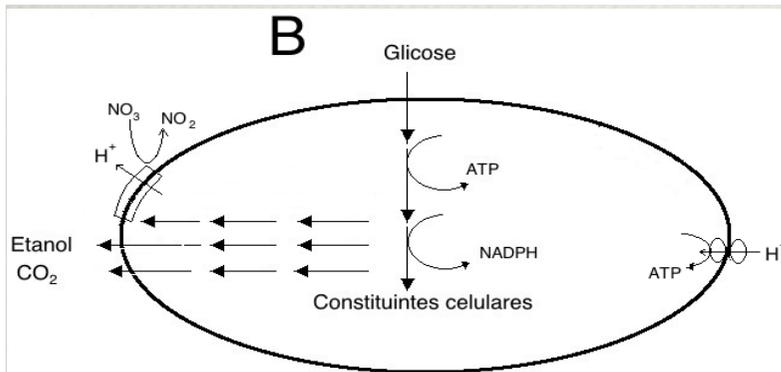
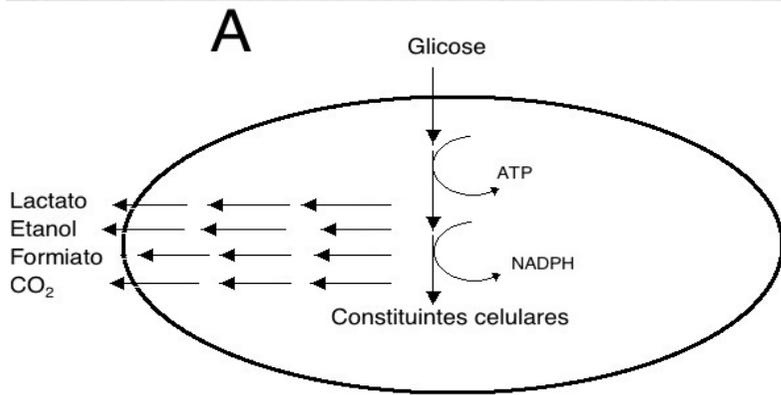


NADP⁺

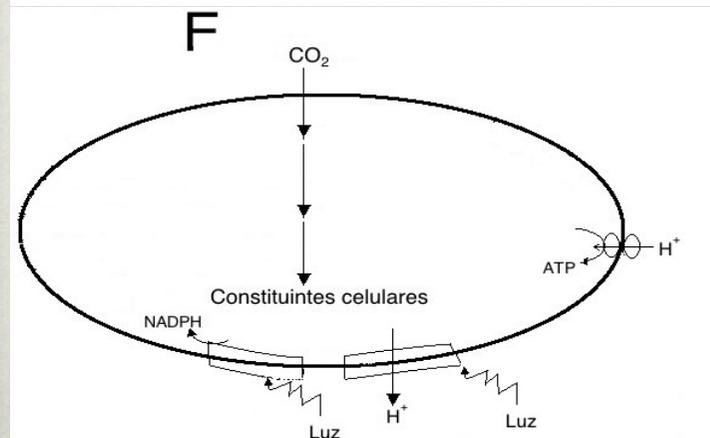
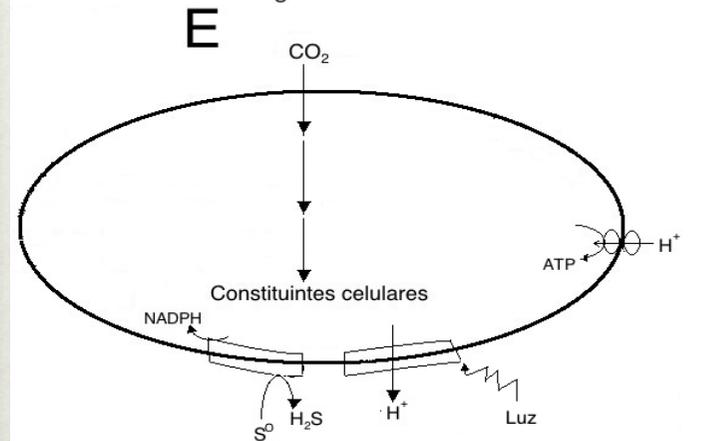
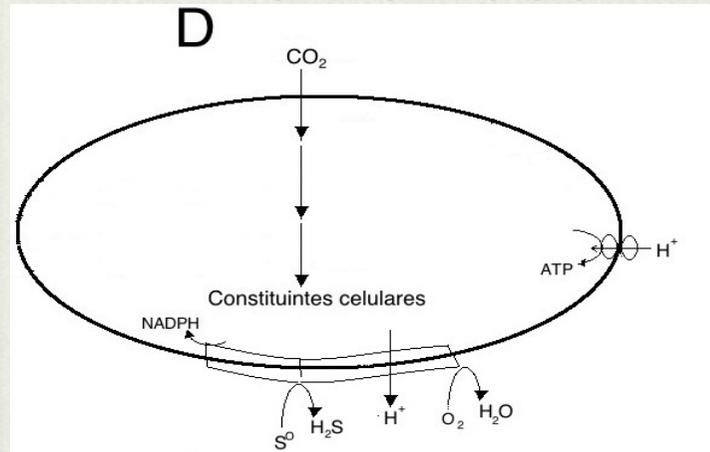


NADPH

Heterotróficos

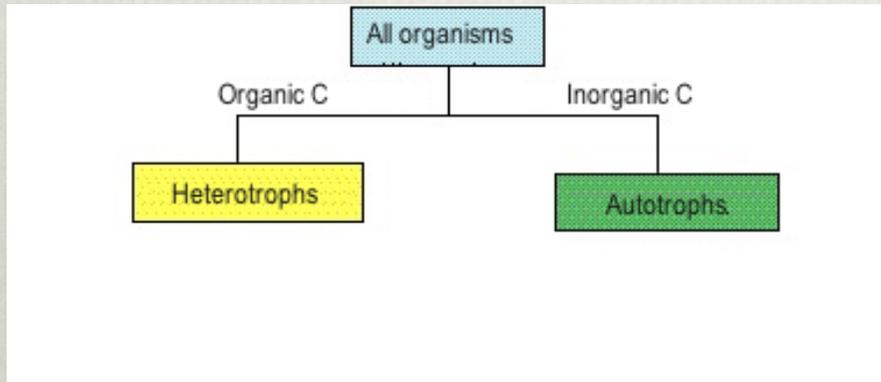


Autotróficos

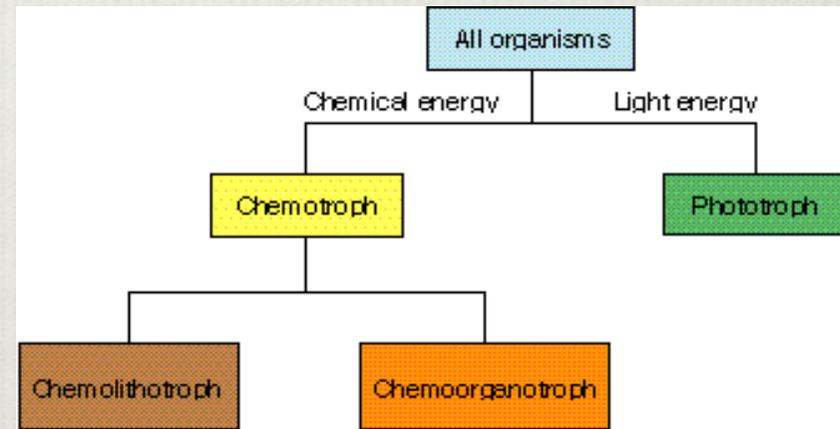


Fonte de carbono

Fonte de energia



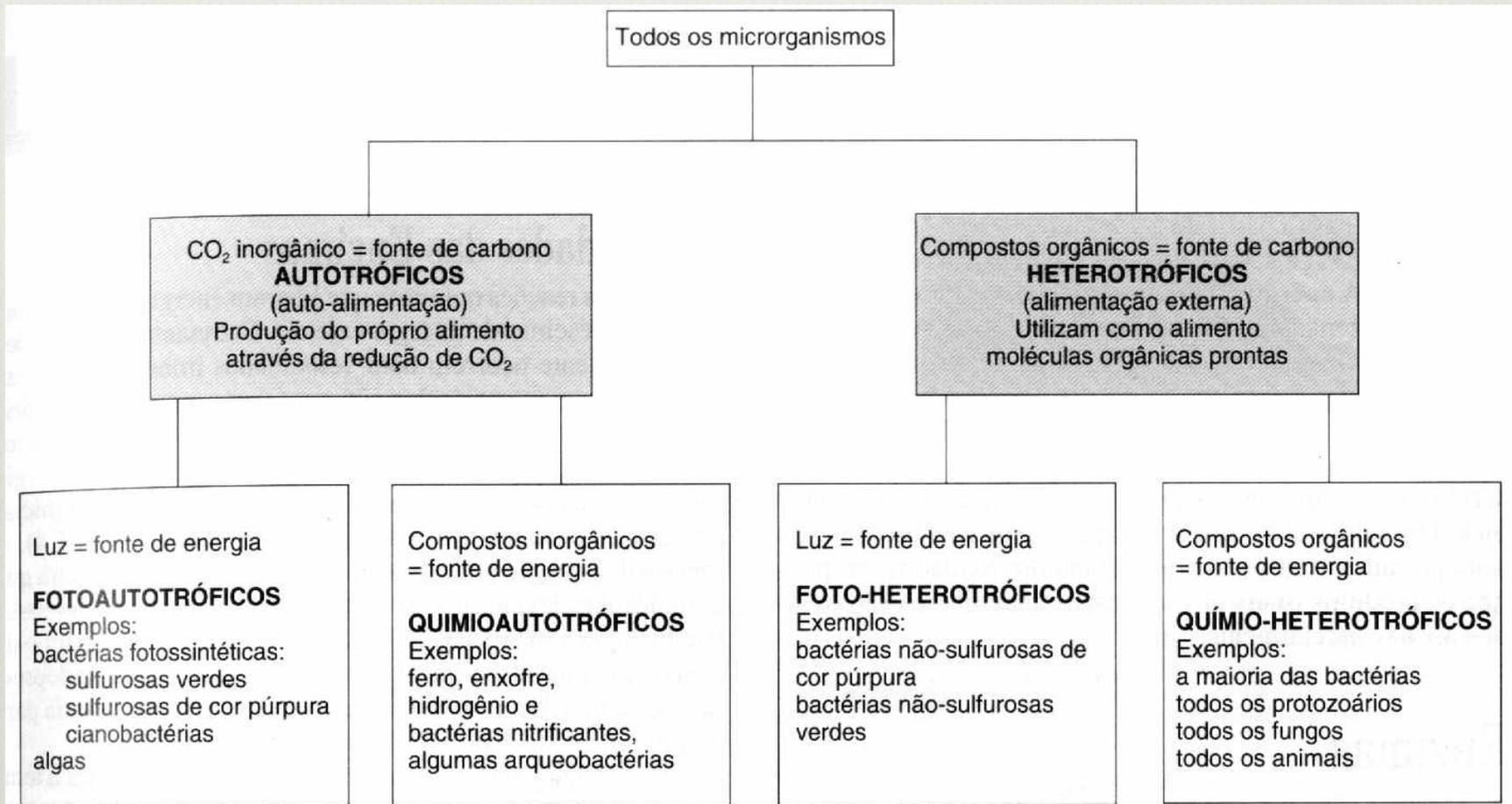
Carbon source



Energy source

Carbono

Energia



Os principais tipos de metabolismo que captam energia.

Energia

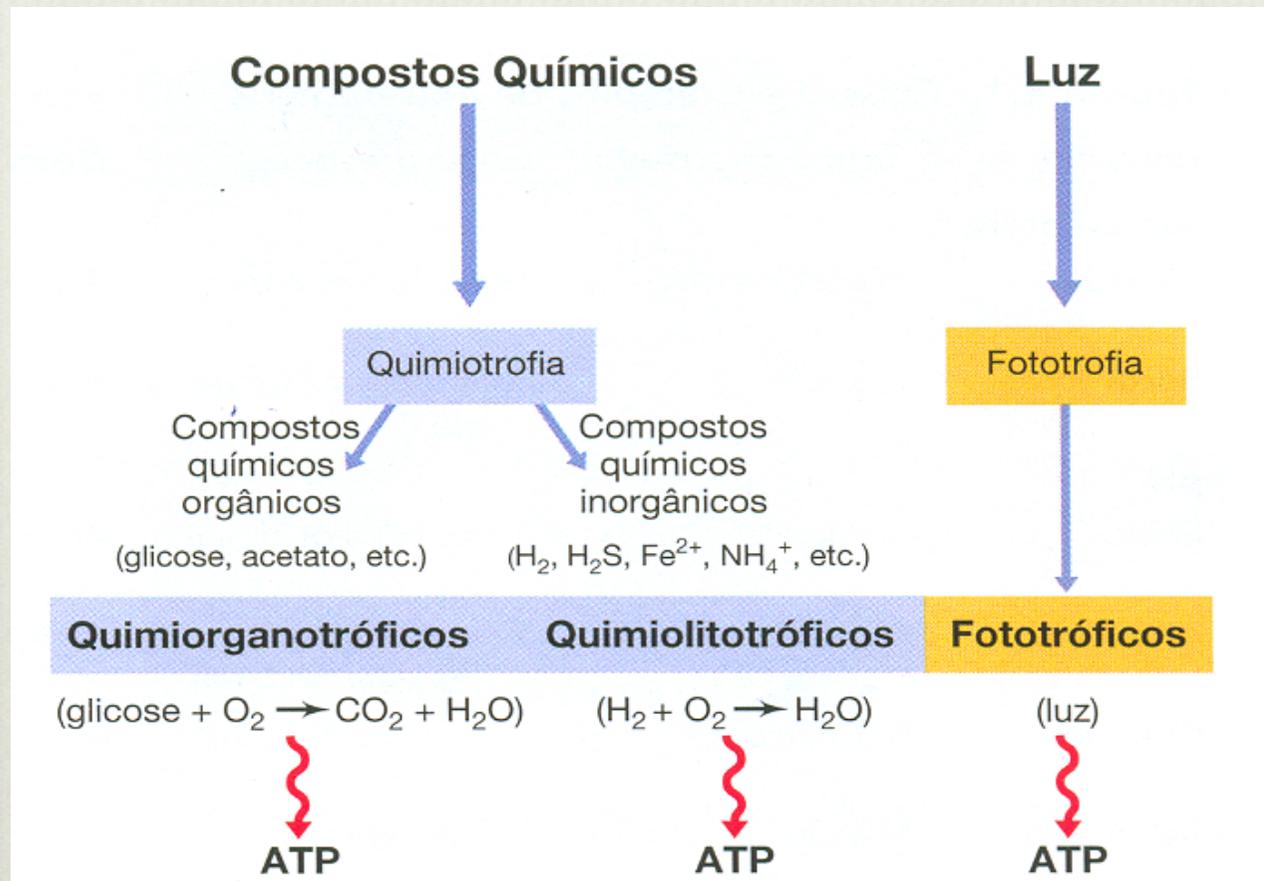


Figura 2.18 Opções metabólicas para a conservação de energia. Os compostos químicos orgânicos e inorgânicos listados acima correspondem apenas a alguns poucos dentre os vários utilizados por diferentes organismos quimiotróficos. Os organismos quimiotróficos oxidam compostos químicos orgânicos ou inorgânicos, gerando ATP. Os organismos fototróficos convertem a energia solar em energia química, na forma de ATP.

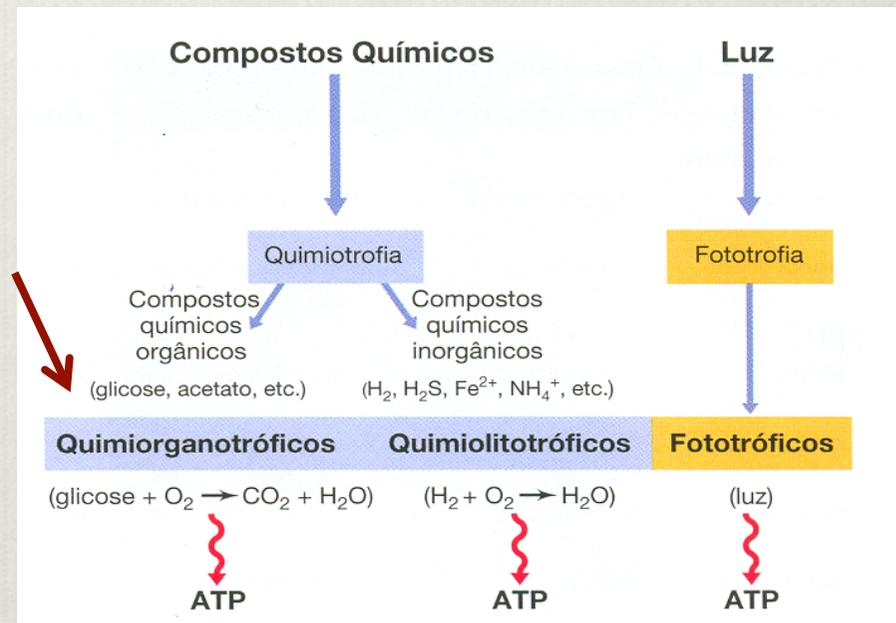
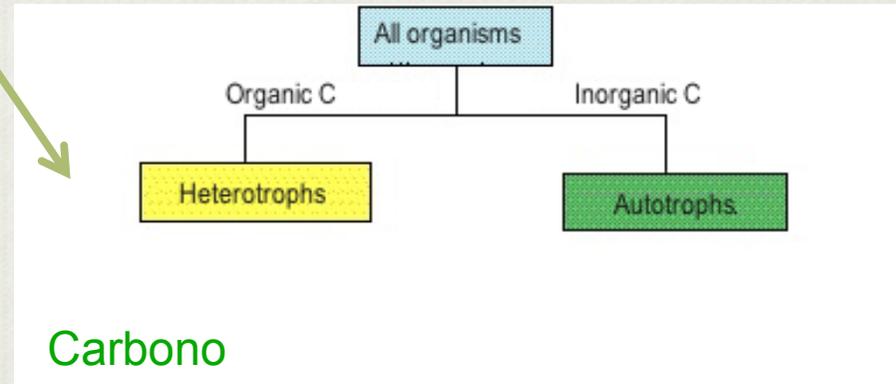
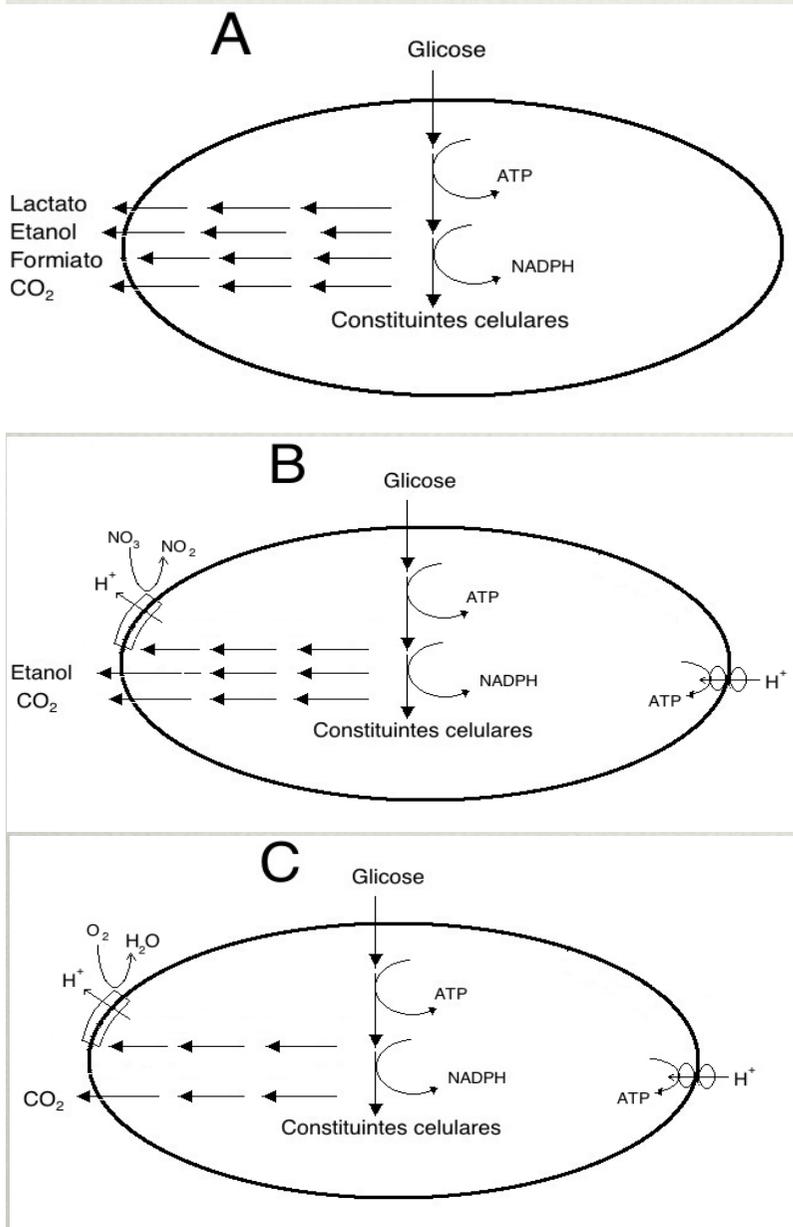
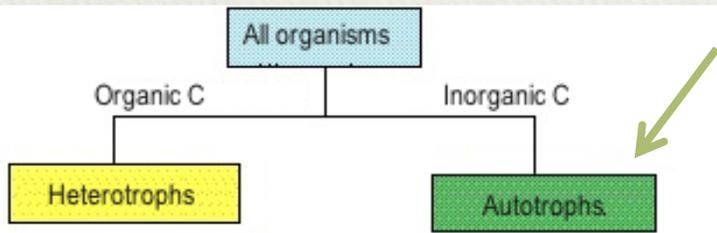


Figura 2.18 Opções metabólicas para a conservação de energia. Os compostos químicos orgânicos e inorgânicos listados acima correspondem apenas a alguns poucos dentre os vários utilizados por diferentes organismos quimiotróficos. Os organismos quimiotróficos oxidam compostos químicos orgânicos ou inorgânicos, gerando ATP. Os organismos fototróficos convertem a energia solar em energia química, na forma de ATP.

Energia

Quimiorganotróficos são
heterotróficos



Carbono

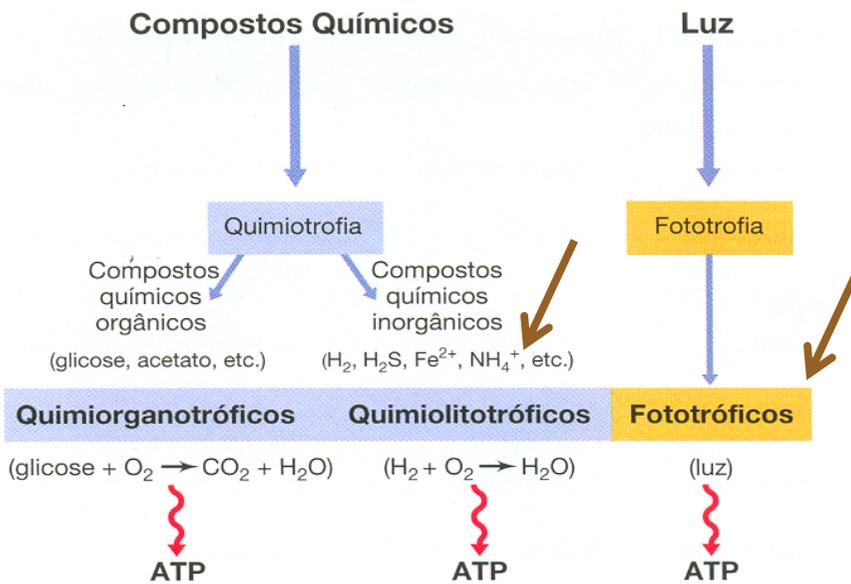
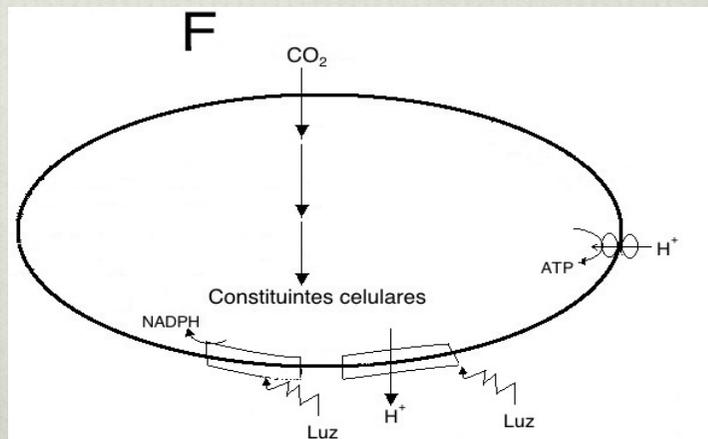
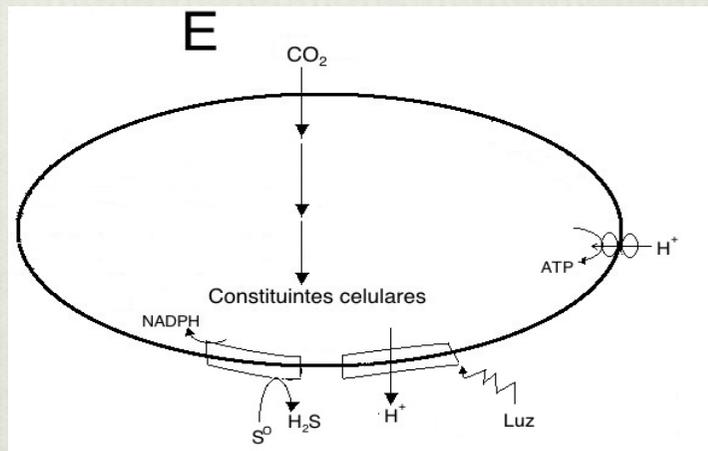
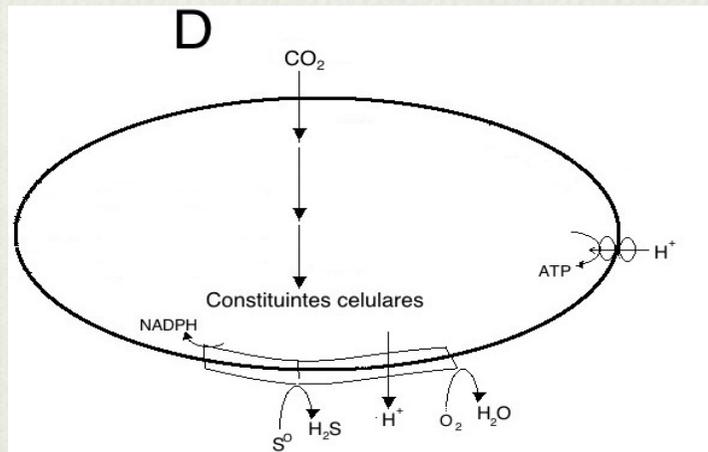
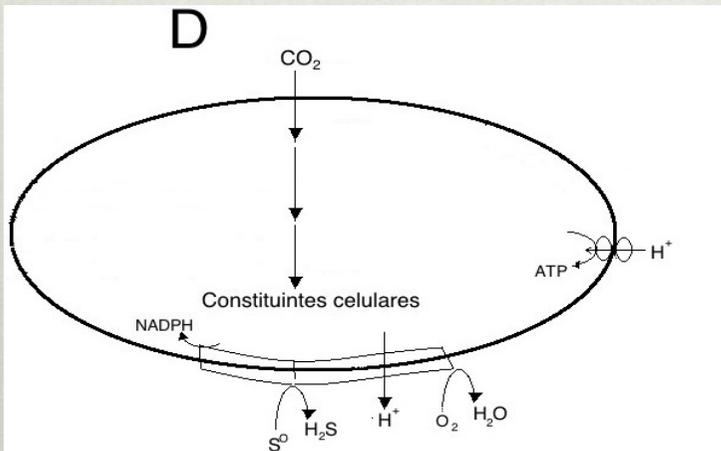


Figura 2.18 Opções metabólicas para a conservação de energia. Os compostos químicos orgânicos e inorgânicos listados acima correspondem apenas a alguns poucos dentre os vários utilizados por diferentes organismos quimiotróficos. Os organismos quimiotróficos oxidam compostos químicos orgânicos ou inorgânicos, gerando ATP. Os organismos fototróficos convertem a energia solar em energia química, na forma de ATP.

Energia



Obtenção de energia



Alguns doadores inorgânicos de elétrons :
 H_2S , H_2 , Fe^{2+} , NH_3

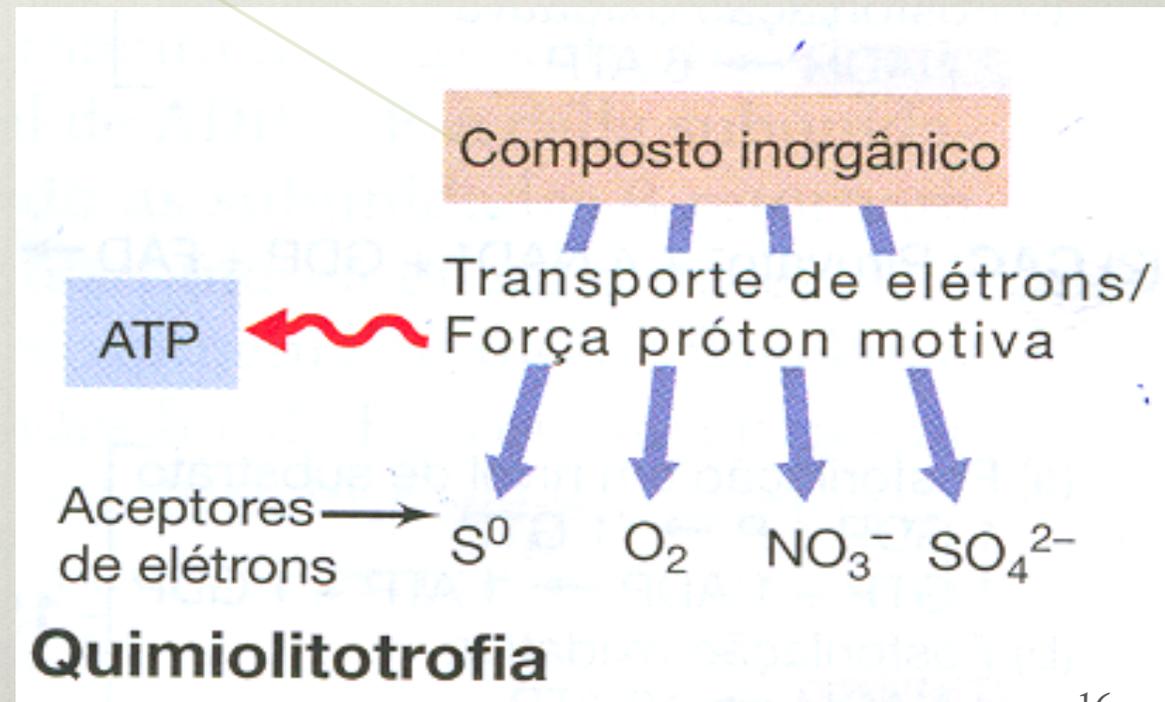


Tabela 15.5 Características fisiológicas de procariotos quimiolitotróficos oxidantes de enxofre

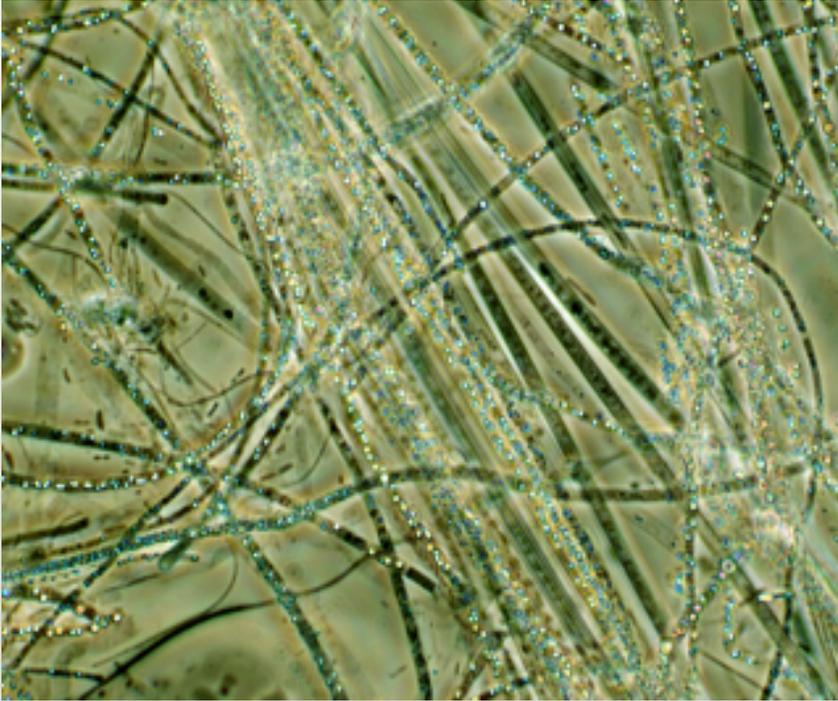
Gênero e espécies	Doador inorgânico de elétrons	Faixa de pH para o crescimento
Espécies com crescimento pobre, ou ausente, em meios orgânicos:		
<i>Thiobacillus thioparus</i>	H ₂ S, sulfetos, S ⁰ , S ₂ O ₃ ²⁻	6-8
<i>Thiobacillus denitrificans</i> ^b	H ₂ S, S ⁰ , S ₂ O ₃ ²⁻	6-8
<i>Halothiobacillus neapolitanus</i>	S ⁰ , S ₂ O ₃ ²⁻	6-8
<i>Acidithiobacillus thiooxidans</i>	S ⁰	2-4
<i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i>	S ⁰ , sulfetos metálicos, Fe ²⁺	2-4
Espécies com crescimento exuberante em meios orgânicos:		
<i>Starkeya novella</i>	S ₂ O ₃ ²⁻	6-8
<i>Thiomonas intermedia</i>	S ₂ O ₃ ²⁻	3-7
Quimiolitotróficos sulfurosos filamentosos:		
<i>Beggiatoa</i>	H ₂ S, S ₂ O ₃ ²⁻	6-8
<i>Thiothrix</i>	H ₂ S	6-8
<i>Thioploca</i> ^c	H ₂ S, S ⁰	—
Outros gêneros:		
<i>Achromatium</i>	H ₂ S	—
<i>Thiomicrospira</i>	S ₂ O ₃ ²⁻ , H ₂ S	6-8
<i>Thiosphaera</i> ^d	H ₂ S, S ₂ O ₃ ²⁻ , H ₂	6-8
<i>Thermothrix</i>	H ₂ S, S ₂ O ₃ ²⁻ , SO ₃ ⁻	6,5-7,5
<i>Thiovulum</i>	H ₂ S, S ⁰	6-8

^aTodas são *Proteobacteria*.

^bAeróbios facultativos; utilizam NO₃⁻ comoceptor de elétrons de forma anaeróbia.

^cCulturas puras ainda não disponíveis.

^d*Thiosphaera pantotropa* apresenta a mesma sequência do gene de rRNA 16S que *Paracoccus denitrificans*.



*Sulfur-oxidizing bacteria. Bright spots are intracellular sulfur globules.
Photo by A.S. Engel.*

Exemplos de reações realizadas por quimiolitotrofos para obter energia.

Bactéria exemplo	Reação	ΔG
<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>Thiobacillus 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>Thiobacillus 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

Importância ambiental da atividade metabólica microbiana

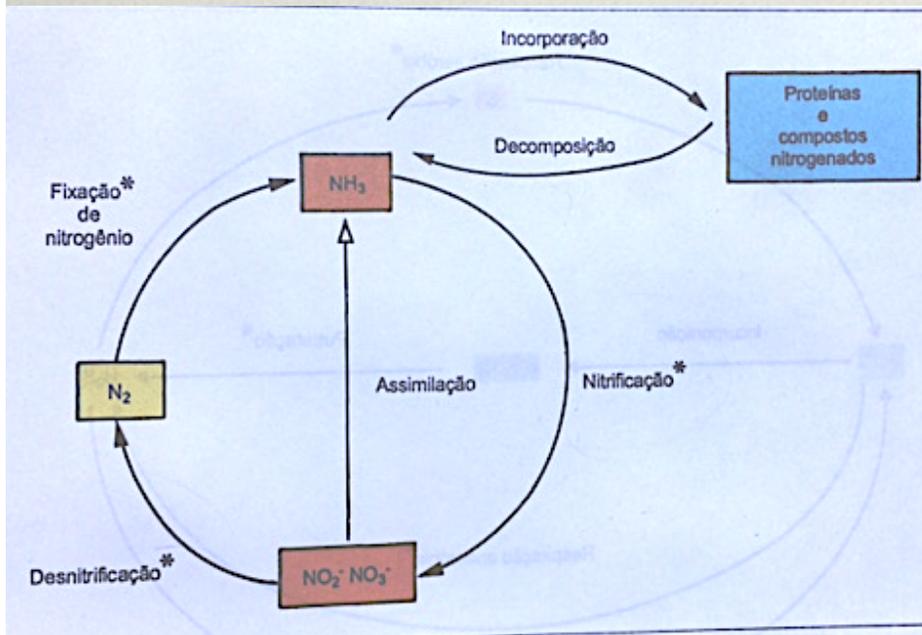
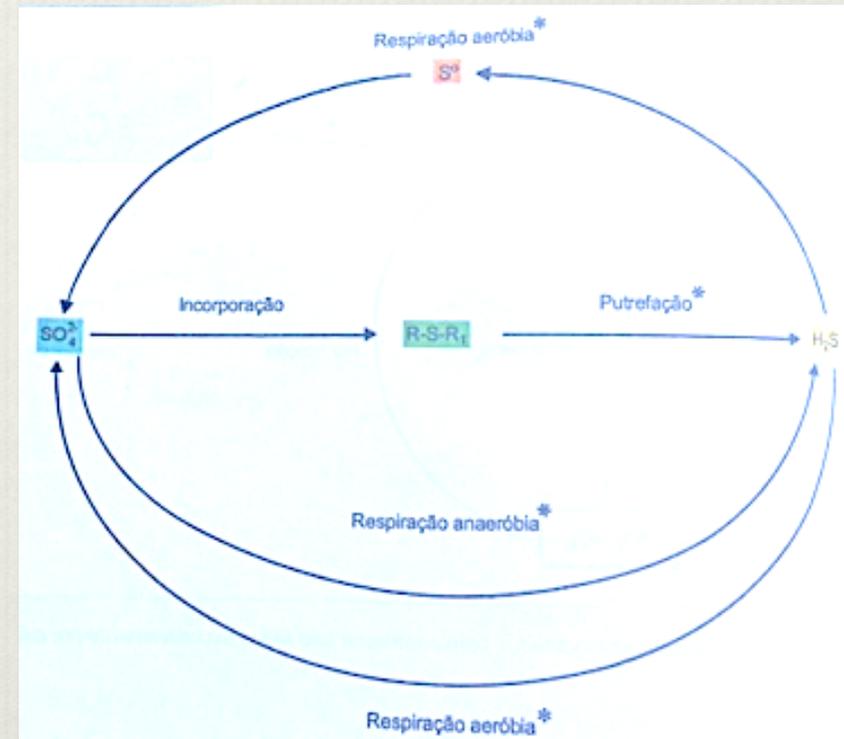


Tabela A1.2 Potenciais de redução importantes em microbiologia^a

Par redox	E ₀ ' (V)
SO ₄ ²⁻ /HSO ₃ ⁻	-0,52
CO ₂ /formato	-0,43
2H ⁺ /H ₂	-0,41
S ₂ O ₃ ²⁻ /HS ⁻ + HSO ₃ ⁻	-0,40
Ferredoxina ox/red	-0,39
Flavodoxina ox/red ^b	-0,37
NAD ⁺ /NADH	-0,32
Citocromo c ₃ ox/red	-0,29
CO ₂ /acetato ⁻	-0,29
S ⁰ /HS ⁻	-0,27
CO ₂ /CH ₄	-0,24
FAD/FADH	-0,22
SO ₄ ²⁻ /HS ⁻	-0,217
Acetaldeído/etanol	-0,197
Piruvato ⁻ /lactato ⁻	-0,19
FMN/FMNH	-0,19
Di-hidroxiacetona fosfato/glicerolfosfato	-0,19
HSO ₃ ⁻ /S ₃ O ₆ ²⁻	-0,17
Flavodoxina ox/red ^b	-0,12
HSO ₃ ⁻ /HS ⁻	-0,116
Menaquinona ox/red	-0,075
APS/AMP + HSO ₃ ⁻	-0,060
Rubredoxina ox/red	-0,057

Tabela A1.2 Potenciais de redução importantes em microbiologia^a

Par redox	E ₀ ' (V)
Acirilil-CoA/propionil-CoA	-0,015
Glicina/acetato ⁻ + NH ₄ ⁺	-0,010
S ₄ O ₆ ²⁻ /S ₂ O ₃ ²⁻	+0,024
Fumarato ²⁻ /succinato ²⁻	+0,033
Citocromo b ox/red	+0,035
Ubiquinona ox/red	+0,113
AsO ₄ ³⁻ /AsO ₃ ³⁻	+0,139
Dimetil sulfóxido (DMSO)/dimetilsulfeto (DMS)	+0,16
Fe(OH) ₃ + HCO ₃ ⁻ /FeCO ₃ (Fe ³⁺ /Fe ²⁺ , pH 7)	+0,20
S ₃ O ₆ ²⁻ /S ₂ O ₃ ²⁻ + HSO ₃ ⁻	+0,225
Citocromo c ₁ ox/red	+0,23
NO ₂ ⁻ /NO	+0,36
Citocromo a ₃ ox/red	+0,385
Clorobenzoato ⁻ /benzoato ⁻ + HCl	+0,297
NO ₃ ⁻ /NO ₂ ⁻	+0,43
SeO ₄ ²⁻ /SeO ₃ ²⁻	+0,475
Fe ³⁺ /Fe ²⁺ (pH 2)	+0,77
Mn ⁴⁺ /Mn ²⁺	+0,798
O ₂ /H ₂ O	+0,82
ClO ₃ ⁻ /Cl ⁻	+1,03
NO/N ₂ O	+1,18
N ₂ O/N ₂	+1,36

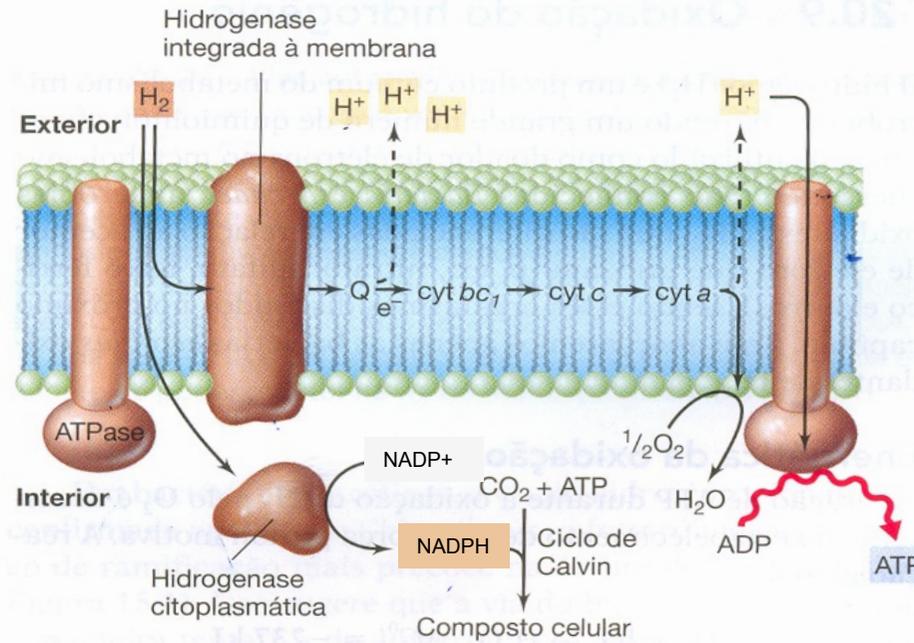


Figura 20.25 Bioenergética e função das duas hidrogenases de bactérias aeróbias do H_2 . Em *Ralstonia eutropha* existem duas hidrogenases; a hidrogenase ligada à membrana está envolvida na energética, enquanto a hidrogenase citoplasmática gera NADH para o ciclo de Calvin. Algumas bactérias do H_2 apresentam apenas a hidrogenase ligada à membrana e nestes organismos o poder reductor é sintetizado por meio do fluxo reverso de elétrons, a partir de Q para NAD $^+$, originando NADH. Cyt, citocromo; Q, quinona.

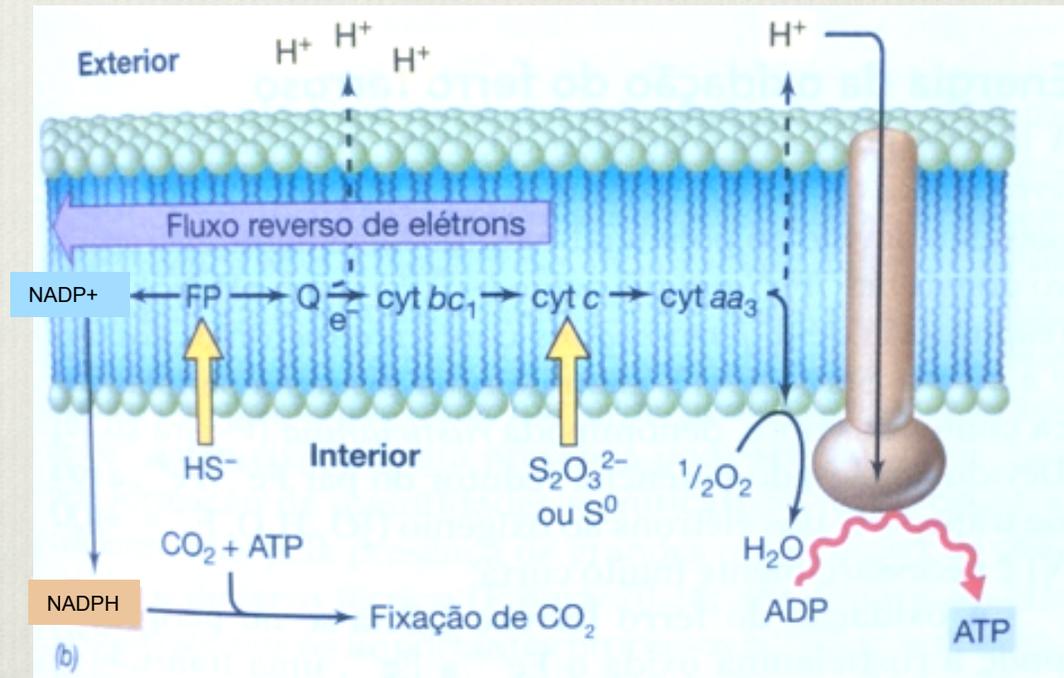
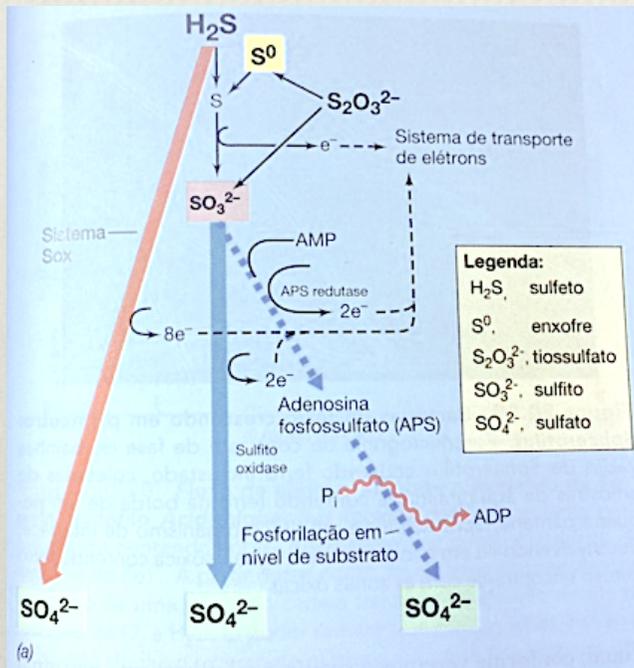


Figura 20.27 Oxidação de compostos reduzidos de enxofre, por quimiolitotróficos do enxofre. (a) Etapas da oxidação de diferentes compostos. São conhecidas três vias distintas. (b) Elétron de compostos sulfurados são introduzidos na cadeia de transporte para promover uma força próton motiva; os elétrons do tiosulfato e enxofre elementar são introduzidos em nível do citocromo c. O NADH deve ser formado pelas reações do fluxo reverso de elétrons, uma vez que os doadores de elétrons apresentam E_0' mais eletropositivo que NAD^+/NADH . Cyt, citocromo; FP, flavoproteína; Q, quinona. Ver, na Figura 21.15, a estrutura de APS.

$$E_o' \text{ Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+} = +0,77 \text{ V}$$

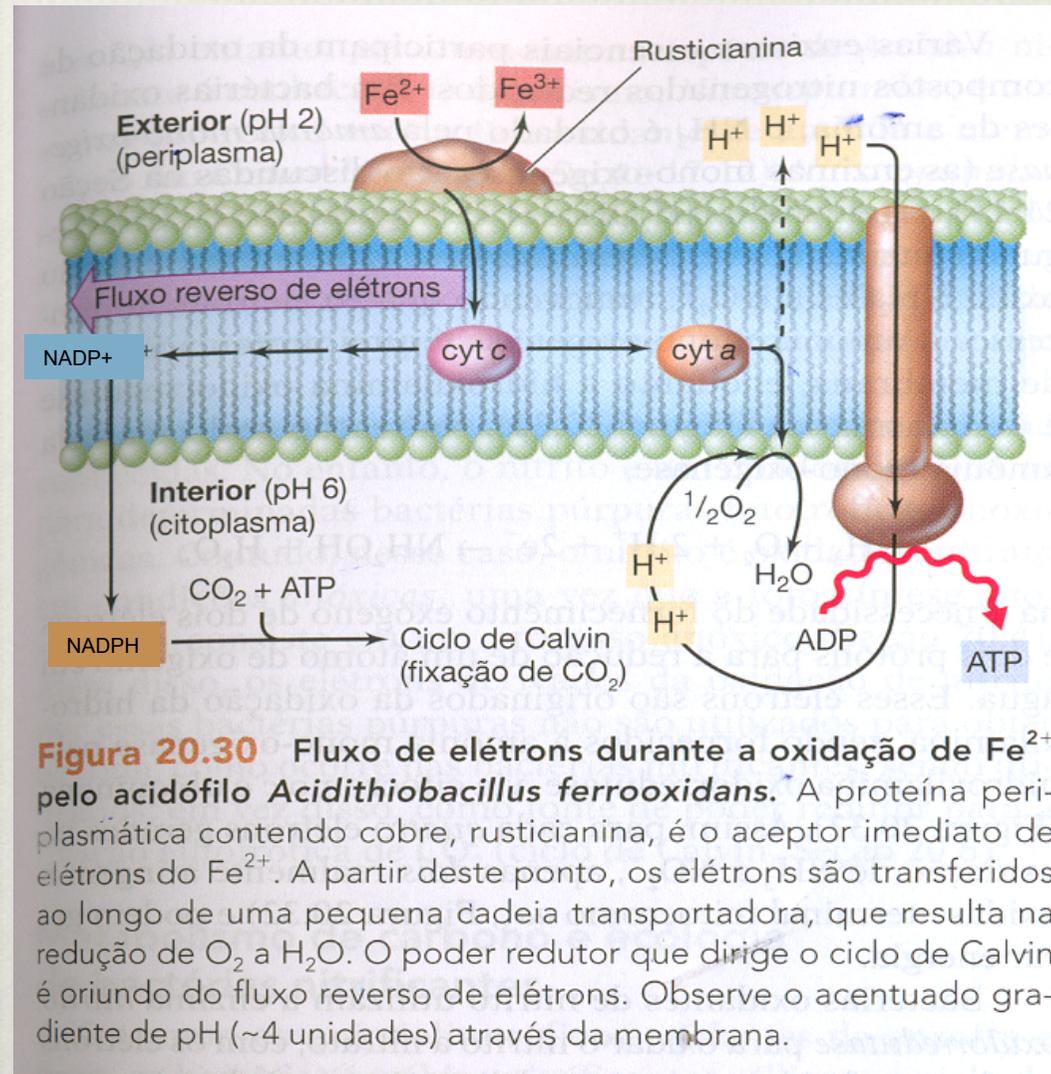
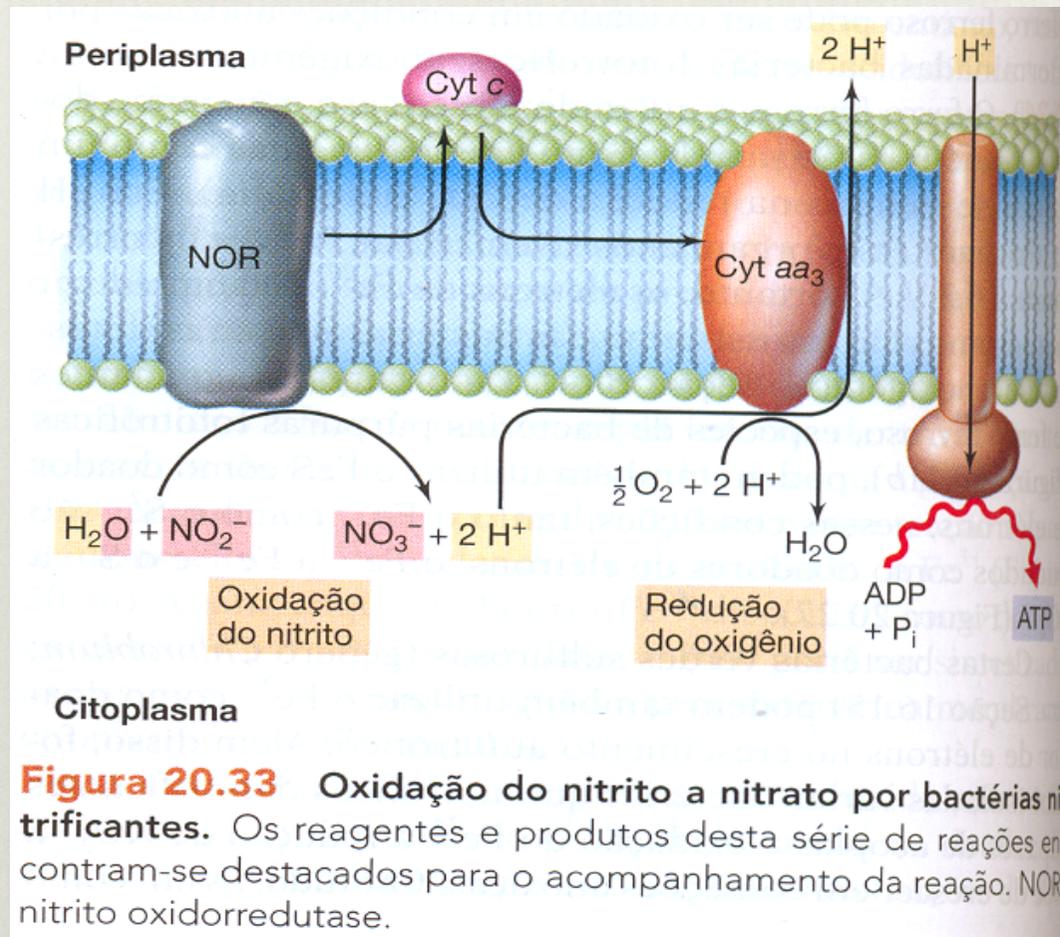


Figura 20.30 Fluxo de elétrons durante a oxidação de Fe^{2+} pelo acidófilo *Acidithiobacillus ferrooxidans*. A proteína periplasmática contendo cobre, rusticianina, é o receptor imediato de elétrons do Fe^{2+} . A partir deste ponto, os elétrons são transferidos ao longo de uma pequena cadeia transportadora, que resulta na redução de O_2 a H_2O . O poder redutor que dirige o ciclo de Calvin é oriundo do fluxo reverso de elétrons. Observe o acentuado gradiente de pH (~ 4 unidades) através da membrana.

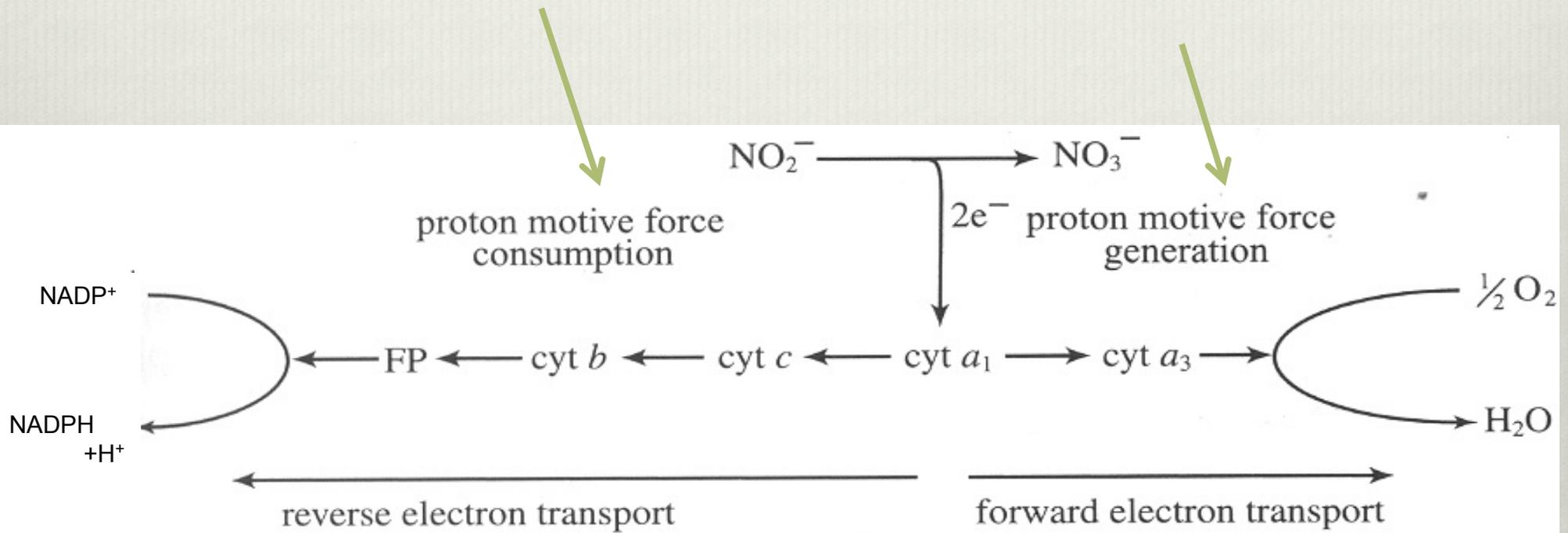
$$E_o' \text{ NADP}^+/\text{NADPH} = -0,32 \text{ V}$$

$$E_o' \text{ O}_2/\text{H}_2\text{O} = +0,82 \text{ V}$$



$$E_o' \text{ NO}_3^-/\text{NO}_2^- = +0,43 \text{ V}$$

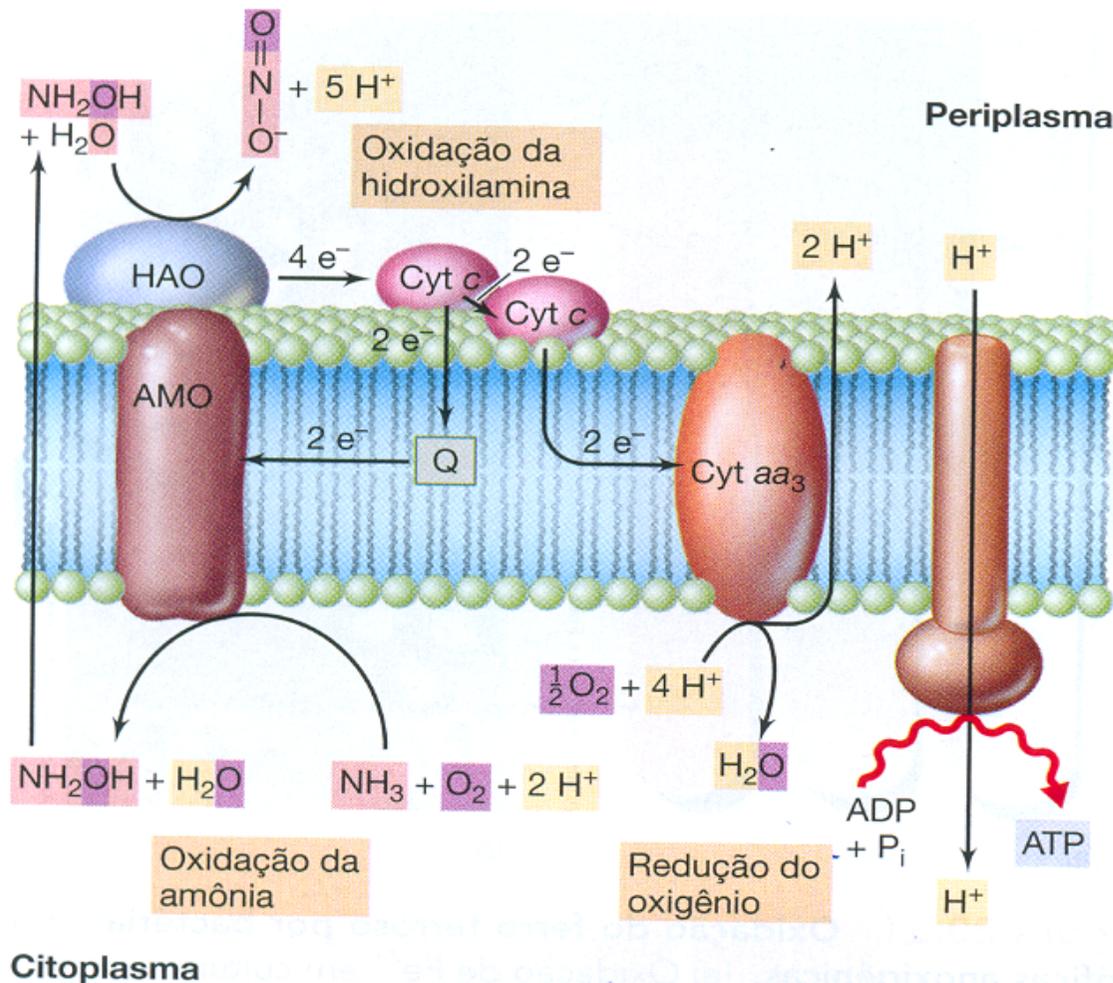
$$E_o' \text{ NO}_3^-/\text{NO}_2^- = +0,43 \text{ V}$$



Transporte reverso de elétrons para reduzir NADP^+ em *Nitrococcus mobilis*, oxidadora de nitrito

$$E_o' \text{ NADP}^+/\text{NADPH} = -0,32 \text{ V}$$

$$E_o' \text{ O}_2/\text{H}_2\text{O} = +0,82 \text{ V}$$



$$E_o' \text{NO}_2^- / \text{NH}_3 = +0,34 \text{ V}$$

Figura 20.32 Oxidação da amônia e fluxo de elétrons em bactérias oxidantes de amônia. Os reagentes e produtos desta série de reações encontram-se destacados. O citocromo c (Cyt c) no periplasma é uma forma diferente do Cyt c presente na membrana. AMO, amônia mono-oxigenase; HAO, hidroxilamina oxidorreductase; Q, ubiquinona.

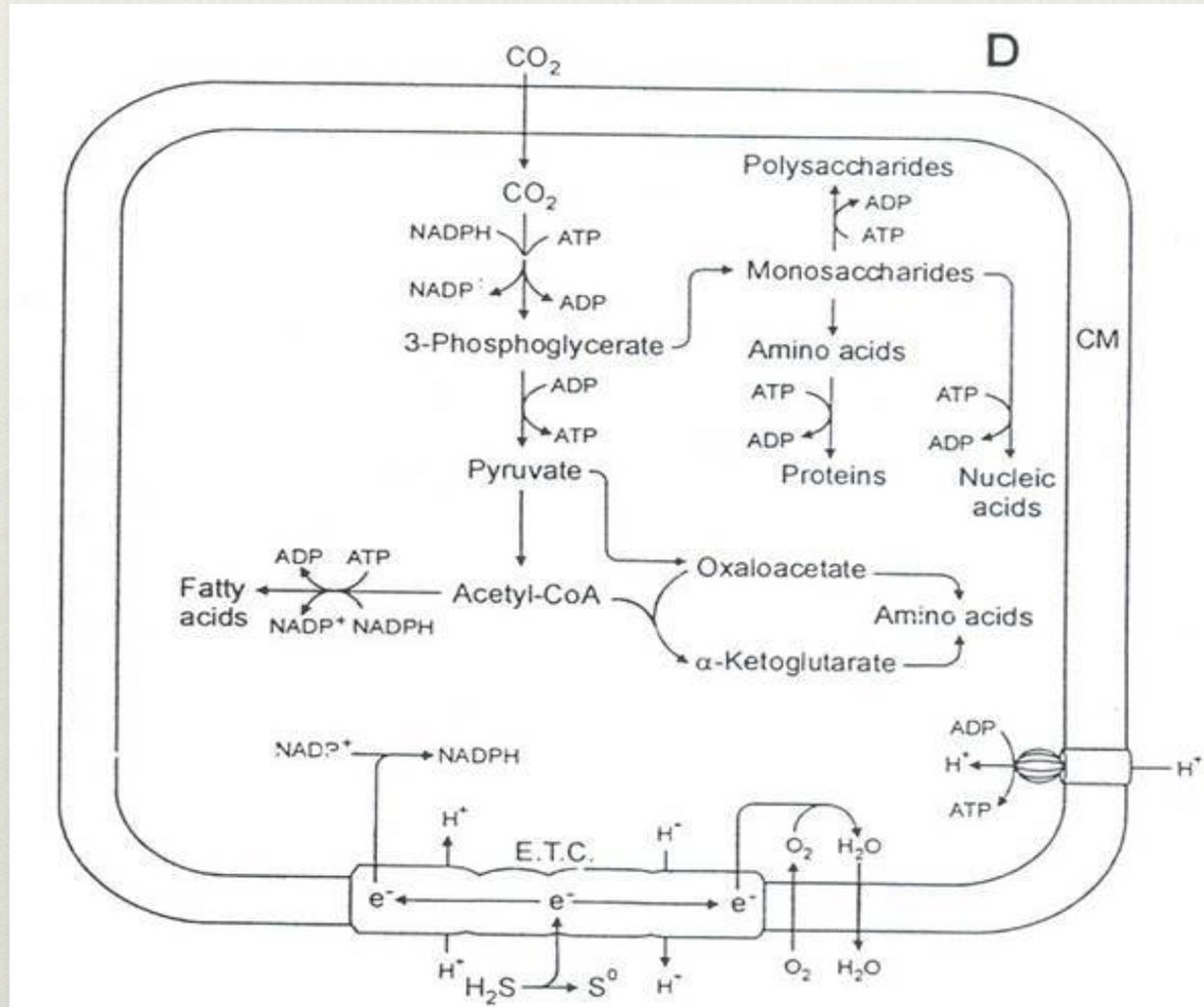
Tabela 20.1 Rendimento energético da oxidação de diferentes doadores inorgânicos de elétrons^a

Doador de elétrons	Reação quimiolitotrófica	Grupo de quimiolitotróficos	E_0' do par (V)	$\Delta G^{0'}$ (kJ/reação)	Número de elétrons/reação	ΔG^0 (kJ/2 e ⁻)
Fosfito ^b	$4 \text{HPO}_3^{2-} + \text{SO}_4^{2-} + \text{H}^+ \rightarrow 4 \text{HPO}_4^{2-} + \text{HS}^-$	Bactérias do fosfito	-0,69	-91	2	-91
Hidrogênio	$\text{H}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$	Bactérias do hidrogênio	-0,42	-237,2	2	-237,2
Sulfeto	$\text{HS}^- + \text{H}^+ + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{S}^0 + \text{H}_2\text{O}$	Bactérias do enxofre	-0,27	-209,4	2	-209,4
Enxofre	$\text{S}^0 + 1\frac{1}{2}\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}^+$	Bactérias do enxofre	-0,20	-587,1	6	-195,7
Amônio ^c	$\text{NH}_4^+ + 1\frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_2^- + 2\text{H}^+ + \text{H}_2\text{O}$	Bactérias nitrificantes	+0,34	-274,7	6	-91,6
Nitrito	$\text{NO}_2^- + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^-$	Bactérias nitrificantes	+0,43	-74,1	2	-74,1
Ferro ferroso	$\text{Fe}^{2+} + \text{H}^+ + \frac{1}{4}\text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}^{3+} + \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$	Bactérias do ferro	+0,77	-32,9	1	-65,8

^aDados calculados a partir dos valores de E_0' do Apêndice 1; os valores do Fe^{2+} são aqueles considerando-se pH 2, enquanto os demais, considerando-se pH 7. Em pH 7, o valor para o par $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ é de aproximadamente +0,2 V.

^bExceto no caso do fosfito, todas as reações são apresentadas acopladas ao O_2 como acceptor de elétrons. O único oxidante conhecido de fosfito forma um par com o SO_4^{2-} , como acceptor de elétrons.

^cO amônio também pode ser oxidado, utilizando NO_2^- como acceptor de elétrons, por organismos anamox (Seção 20.13).



Poder
reductor

*Fluxo eletrônico reverso ou
c.t.e. reversa*

Energia

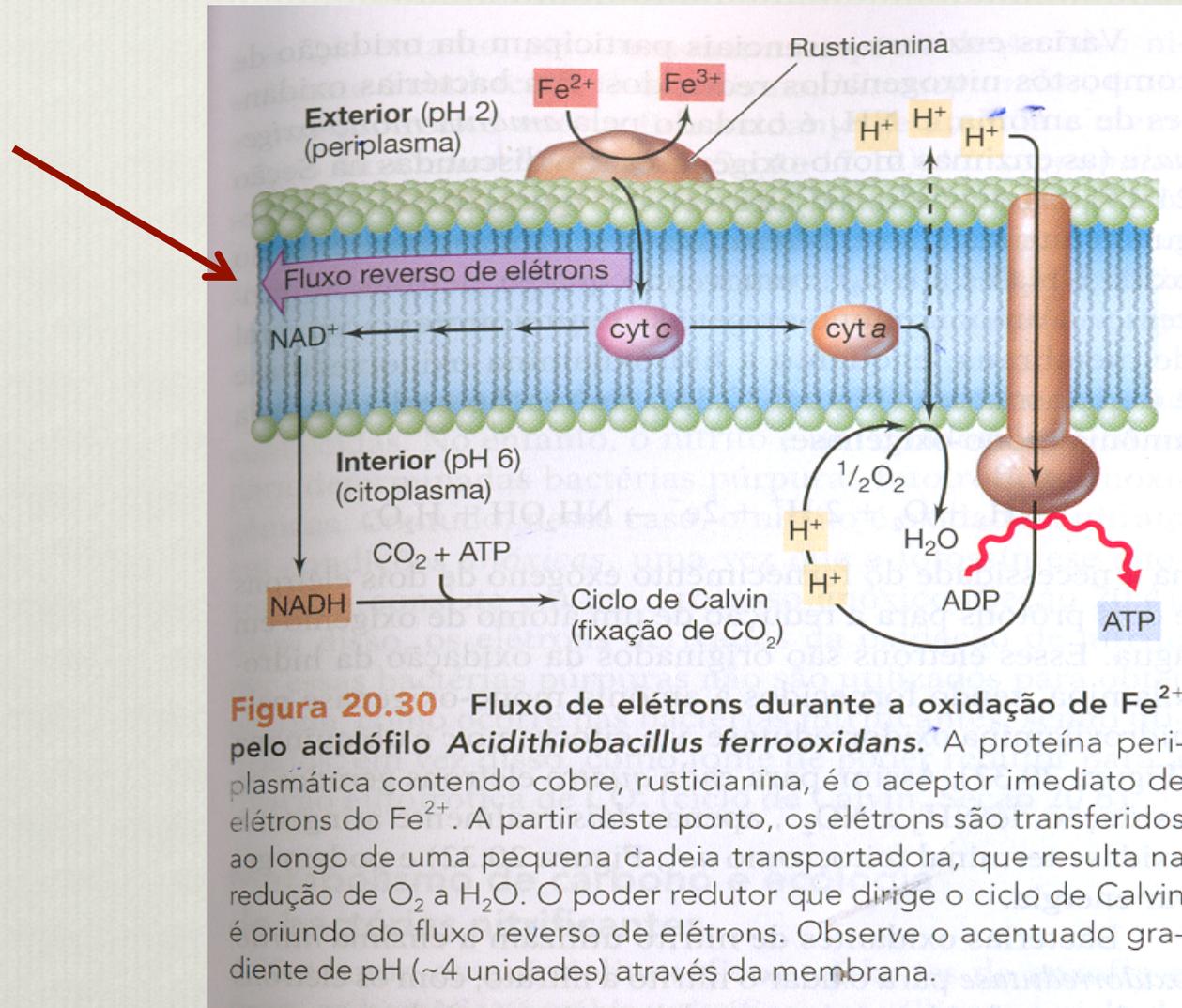
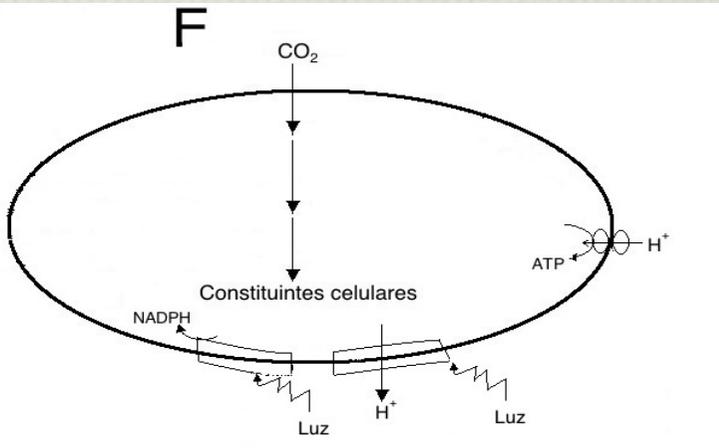
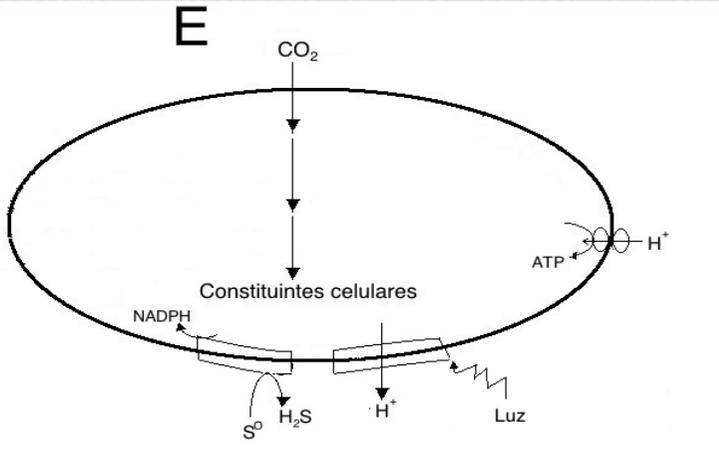
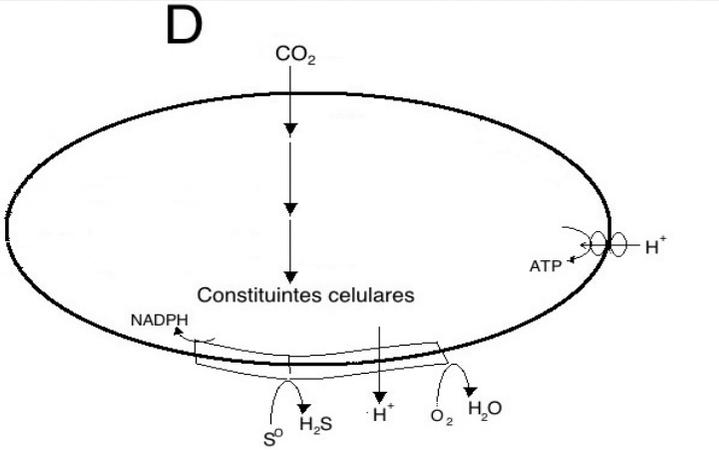


Figura 20.30 Fluxo de elétrons durante a oxidação de Fe^{2+} pelo acidófilo *Acidithiobacillus ferrooxidans*. A proteína periplasmática contendo cobre, rusticianina, é o receptor imediato de elétrons do Fe^{2+} . A partir deste ponto, os elétrons são transferidos ao longo de uma pequena cadeia transportadora, que resulta na redução de O_2 a H_2O . O poder redutor que dirige o ciclo de Calvin é oriundo do fluxo reverso de elétrons. Observe o acentuado gradiente de pH (~ 4 unidades) através da membrana.



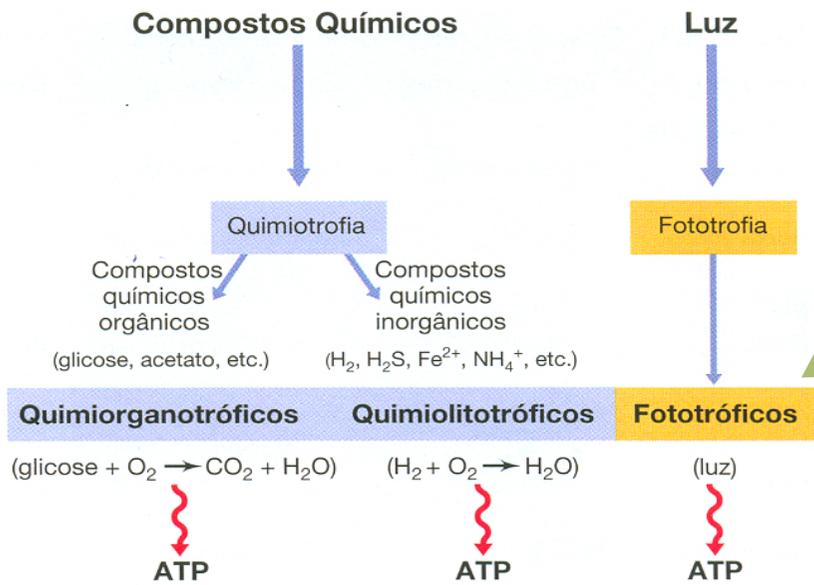
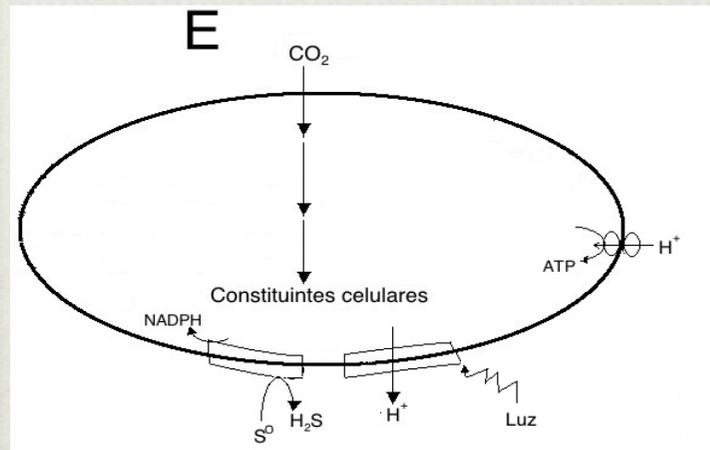


Figura 2.18 Opções metabólicas para a conservação de energia. Os compostos químicos orgânicos e inorgânicos listados acima correspondem apenas a alguns poucos dentre os vários utilizados por diferentes organismos quimiotróficos. Os organismos quimiotróficos oxidam compostos químicos orgânicos ou inorgânicos, gerando ATP. Os organismos fototróficos convertem a energia solar em energia química, na forma de ATP.



Fotossíntese

- ❖ Energia luminosa é convertida em energia química
- ❖ Requer pigmentos sensíveis à luz:
 - ❖ Clorofila
 - ❖ Bacterioclorofila
 - ❖ Carotenóides
 - ❖ Ficobiliproteínas
 - ❖ Feoftina

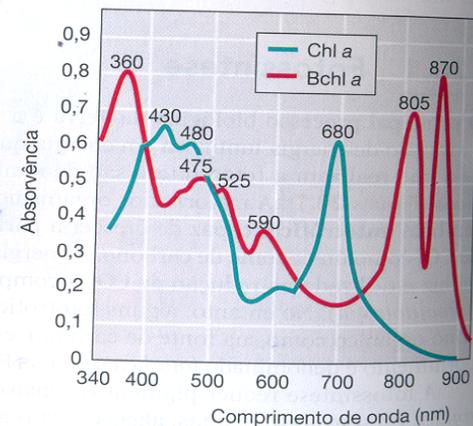
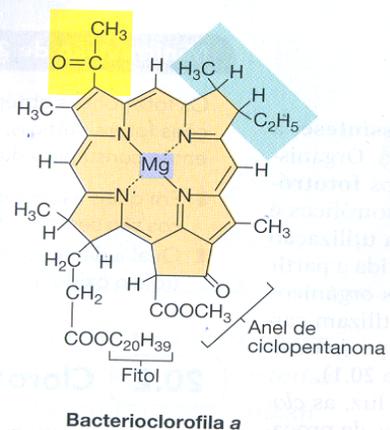
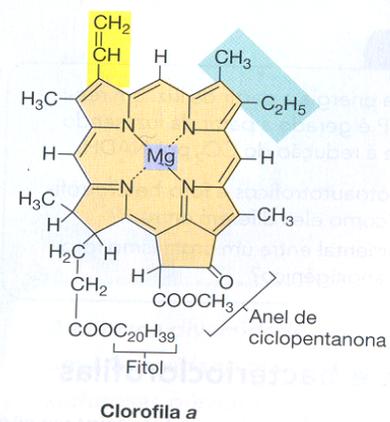


Figura 20.3 Estruturas e espectros da clorofila a e bacterioclorofila a. (a) As duas moléculas são idênticas, exceto pelas regiões sinaladas em amarelo e verde. (b) O espectro de absorção (curva verde), das células da alga verde *Chlamydomonas*. Os picos observados em 680 e 430 nm são decorrentes da presença de clorofila a, e o pico a 480 nm deve-se aos carotenoides. O espectro de absorção (curva vermelha) das células da bactéria fototrófica púrpura *Rhodospseudomonas palustris*. Os picos observados a 870, 805, 590 e 360 nm são decorrentes da presença de bacterioclorofila a, e os picos em 525 e 475 nm devem-se aos carotenoides.

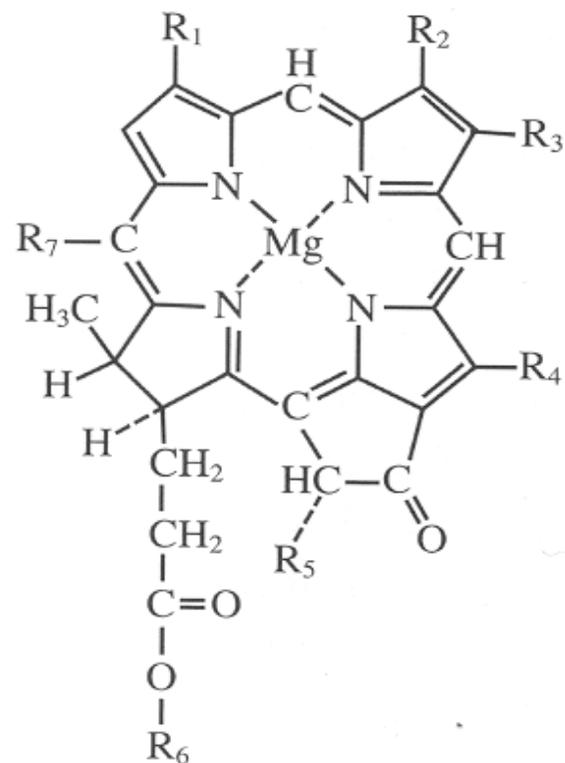
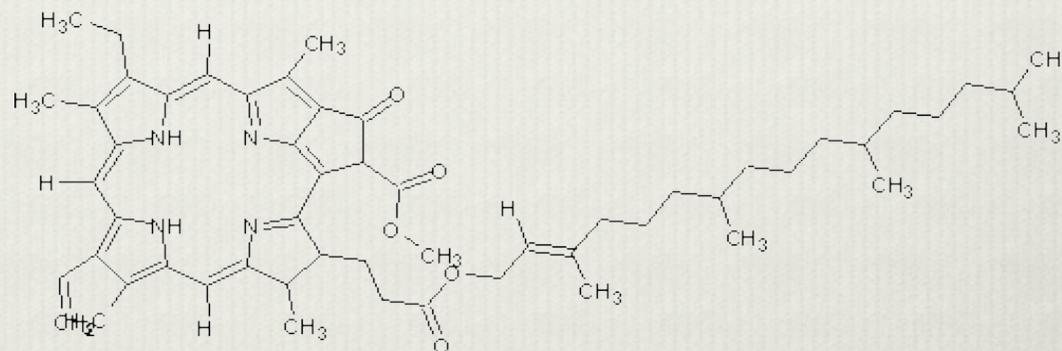


Figure 11.1 The structure of chlorophyll (see Table 11.4 for the side chains R1–R7).



Feoftina

Table 11.4. The structure and maximum absorbance of chlorophylls

Side chain ^a	CHL <i>a</i>	BCHL					
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>g</i>
R1	–CH=CH ₂	–CO–CH ₃	–CO–CH ₃	–CHOH–CH ₃	–CHOH–CH ₃	–CHOH–CH ₃	–CH=CH ₂
R2	–CH ₃	–CH ₃	–CH ₃	–CH ₃	–CH ₃	–CHO	–CH ₃
R3	–C ₂ H ₅	–C ₂ H ₅	=CH–CH ₃	–C ₂ H ₅	–C ₂ H ₅	–C ₂ H ₅	=CH–CH ₃
R4	–CH ₃	–CH ₃	–CH ₃	–C ₂ H ₅	–C ₂ H ₅	–C ₂ H ₅	–CH ₃
R5	–CO–OCH ₃	–CO–OCH ₃	–CO–OCH ₃	–H	–H	–H	–CO–OCH ₃
R6	phytyl	phytyl	phytyl	farnesyl	farnesyl	farnesyl	geranyl-geranyl
R7	–H	–H	–H	–CH ₃	–H	–CH ₃	–H
Maximum absorbance (nm)	680–685	850–910	1020–1035	745–760	725–745	715–725	788, 670

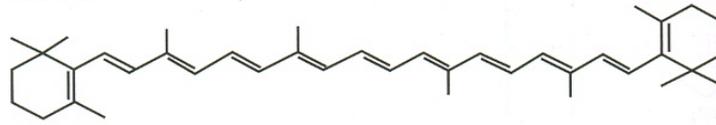
CHL, chlorophyll; BCHL, bacteriochlorophyll.

^aThe positions of side chains are shown in Figure 11.1.

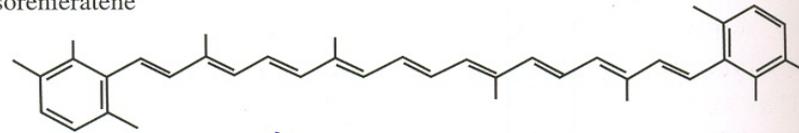
Figure 11.2 Common carotenoids in cyanobacteria and photosynthetic bacteria.

Main carotenoids in (a) cyanobacteria, (b) green bacteria, and (c) purple bacteria.

(a) β -carotene



(b) isorenieratene



(c) spirilloxanthin

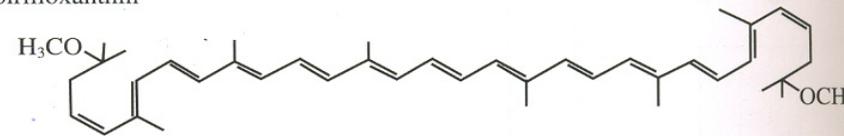
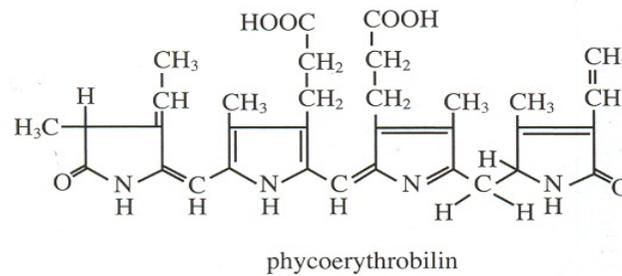
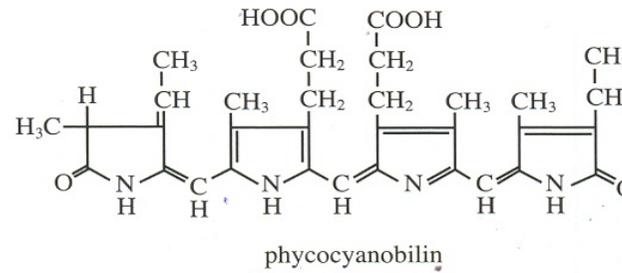


Figure 11.3 The structure of bilins in phycobiliproteins.



O aparato fotossintético

- ❖ Os pigmentos e as estruturas que os contêm variam com as espécies
- ❖ 25-30 unidades de pigmento se associam (antena)

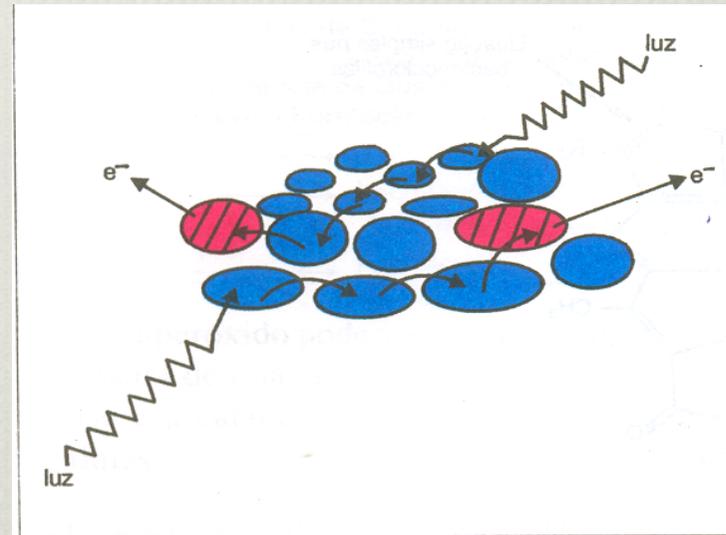
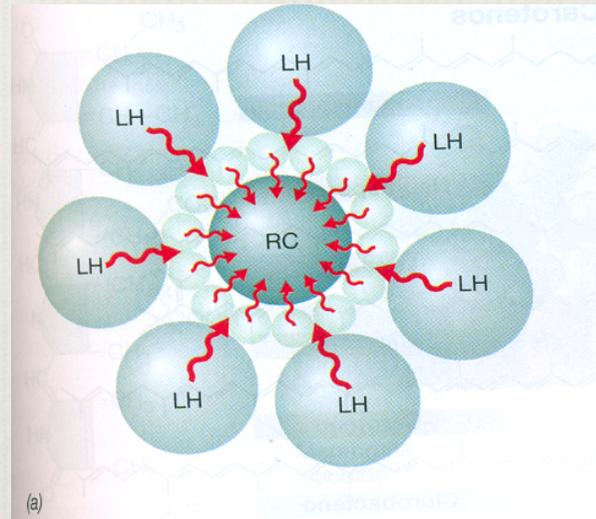
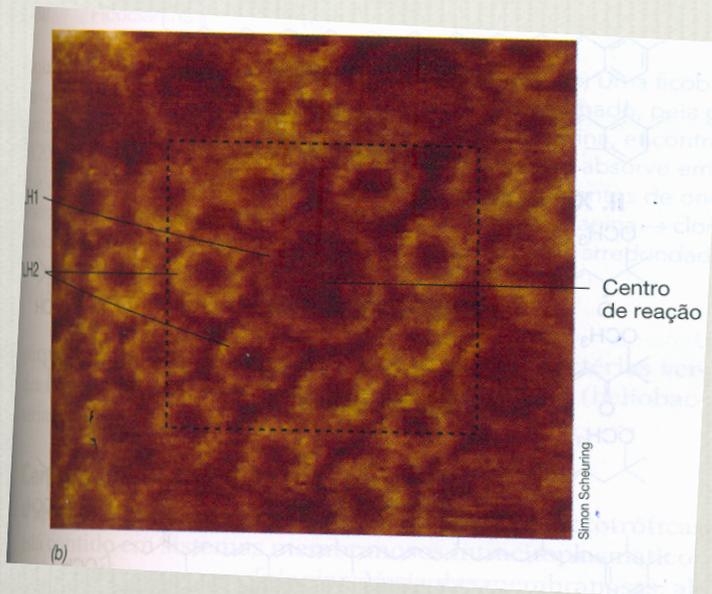
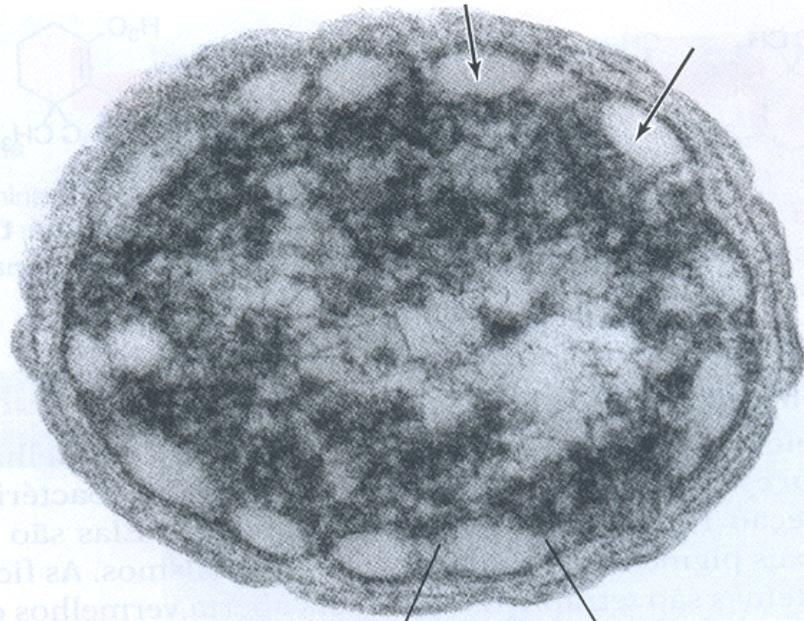


Fig. 3.22 — A energia luminosa absorvida pelas moléculas antena é transmitida até o centro de reação, onde ocorre a liberação de elétrons. No esquema estão representados dois centros de reação e várias moléculas de pigmentos antena.

O aparato fotossintético

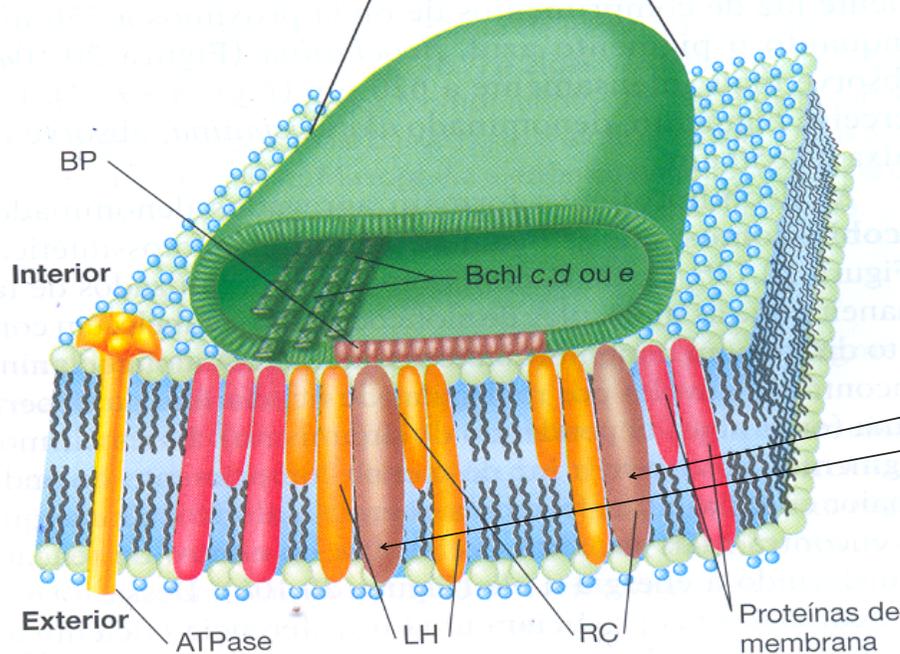


- ❖ Organização das clorofilas/bacterioclorofilas captadoras de luz e os centros de reação em uma membrana fotossintética. LH (light harvesting molecules) captam luz e transferem para os centros de reação (RC) iniciando as reações de transporte de elétrons fotossintéticos



Niels-Ulrik Frigaard

(a)



(b)

Figura 20.7 O clorossomo de bactérias verdes sulfurosas e verdes não sulfurosas. (a) Micrografia eletrônica de uma célula da bactéria verde sulfurosa, *Chlorobaculum tepidum*. Observe os clorossomos (setas). (b) Modelo da estrutura do clorossomo. O clorossomo (verde) encontra-se estreitamente associado à superfície interna da membrana citoplasmática. As moléculas de bacterioclorofila (Bchl) antena organizam-se em conjuntos tubulares no interior do clorossomo, sendo a energia transferida a partir dessas bacterioclorofilas, através das moléculas de Bchl a captadoras de luz (LH), para a Bchl a do centro de reação (RC), situado na membrana citoplasmática (azul). As proteínas da placa da base (BP, do inglês, base plate) atuam como conectores entre o clorossomo e a membrana citoplasmática.

Bchl a (estão localizadas no Centro de Reação

O pigmento contido no centro de reação é excitado pela luz após o fóton passar pela antena

Fotofosforilação cíclica ou anoxygenica

- ❖ Há produção de ATP
- ❖ Não há produção de O_2
- ❖ Não há produção de NADPH

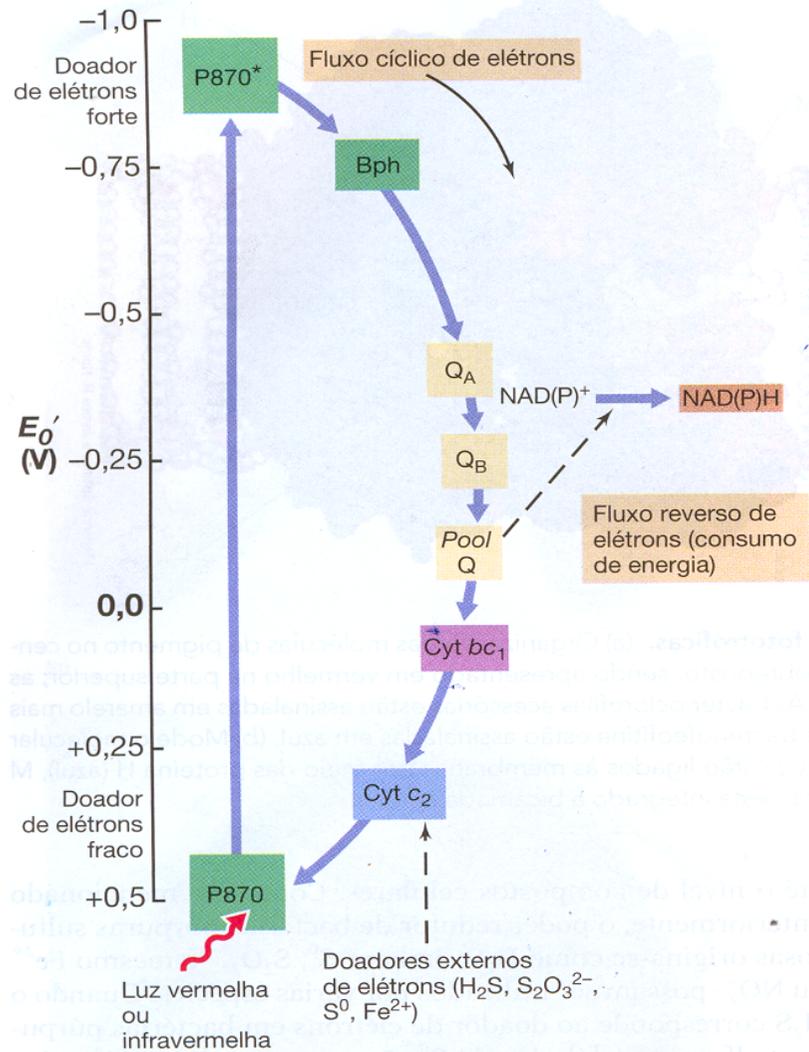
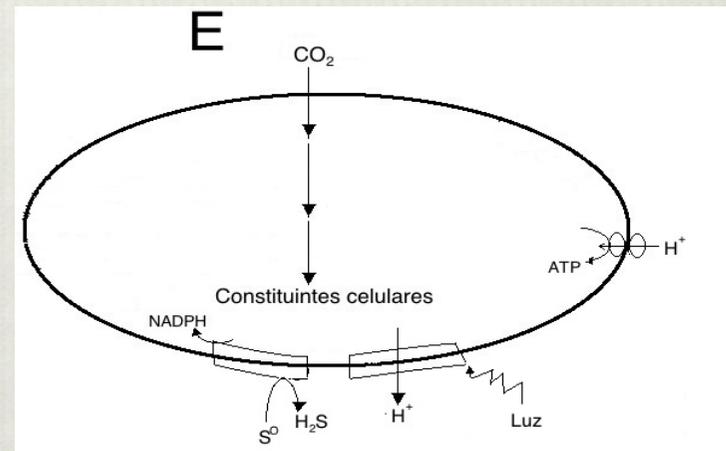


Figura 20.14 Fluxo de elétrons na fotossíntese anoxigênica de uma bactéria púrpura. Uma única reação luminosa ocorre. Observe como a energia luminosa converte um doador fraco de elétrons, P870, em um doador muito forte de elétrons, P870*, e que, após esse evento, as etapas restantes no fluxo de elétrons fotossintéticos são muito similares àsquelas observadas no fluxo de elétrons respiratórios (Figura 5.20). Bph, bacteriofeofitina; Q_A , Q_B , quinonas intermediárias; Pool Q, conjunto de quinonas na membrana; Cyt, citocromo. Compare esta figura com as Figuras 20.15 e 20.19.



NADPH é obtido a partir de um fluxo eletrônico reverso gerado por elétrons de doadores externos

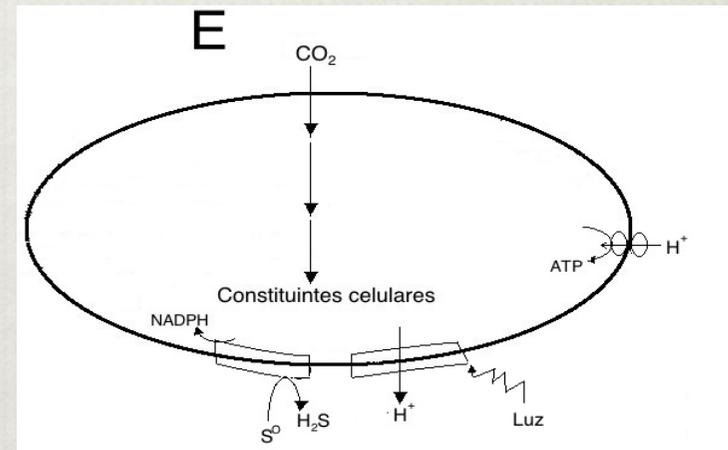
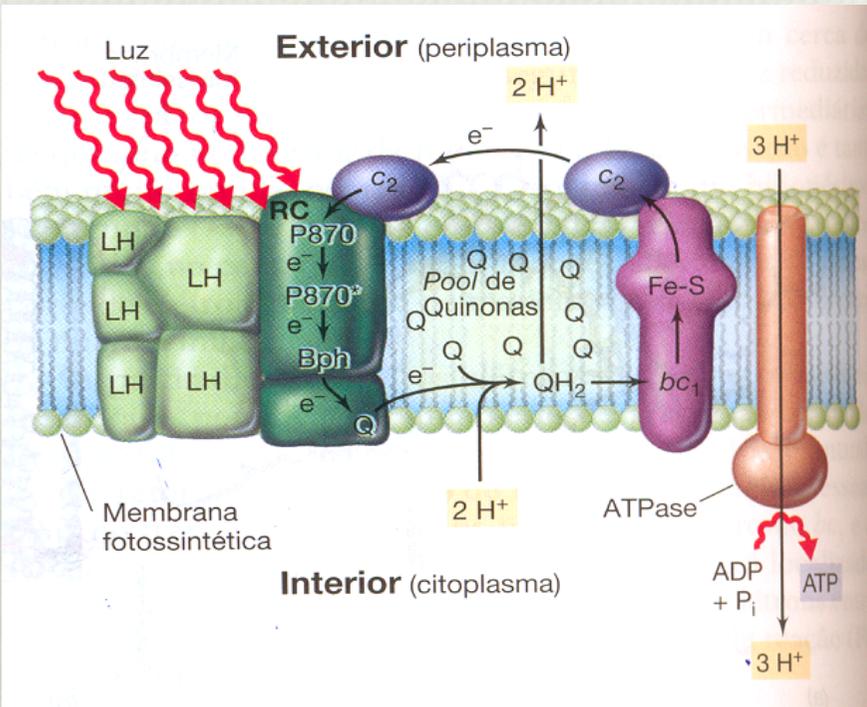
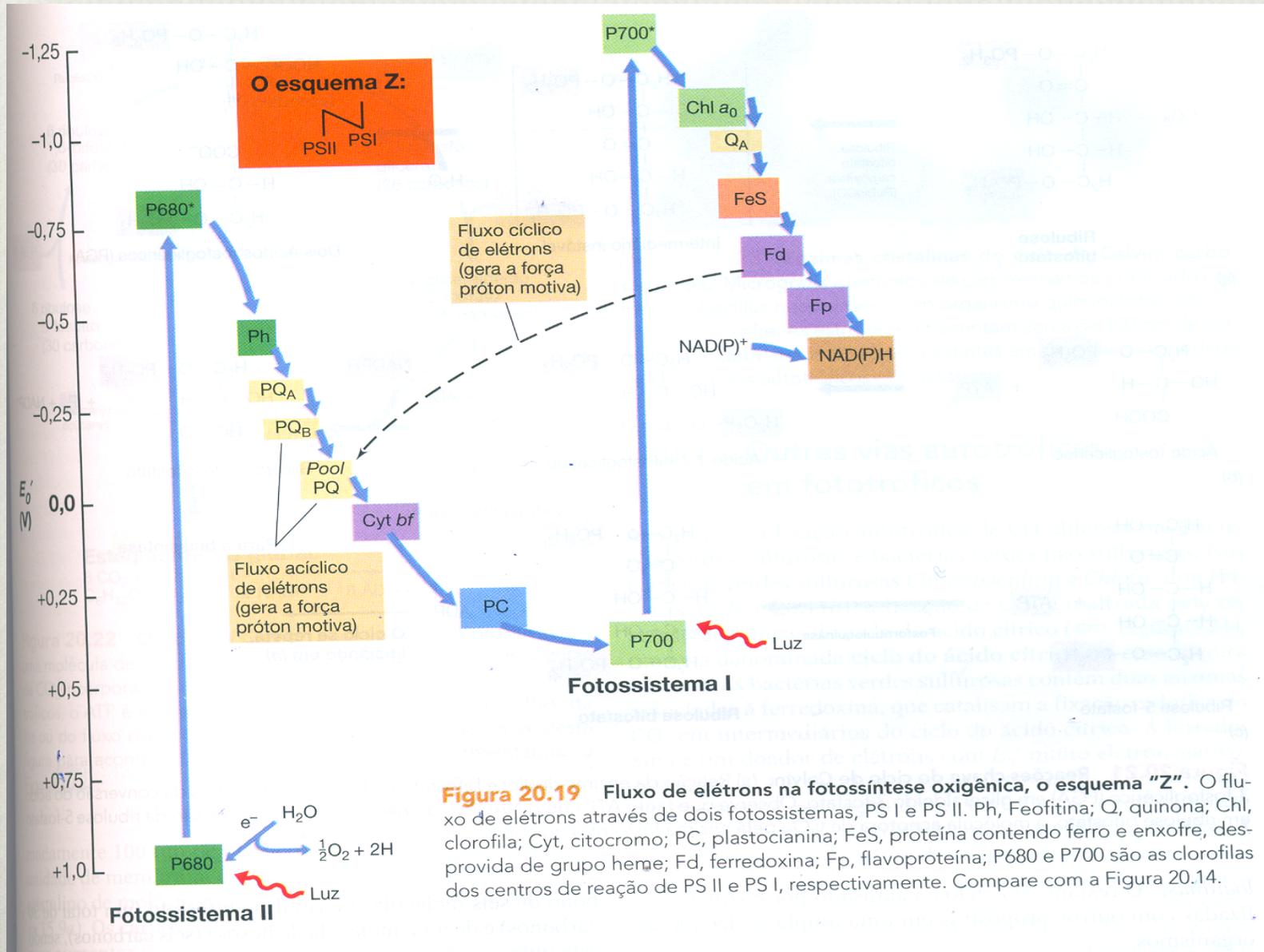


Figura 20.15 Organização dos complexos proteicos no centro de reação de uma bactéria púrpura. O gradiente de prótons gerado pela luz é utilizado na síntese de ATP pela ATP sintase (ATPase). LH, complexos de bacterioclorofila captadores de luz; RC, centro de reação; Bph, Bacteriofeofitina; Q, Quinona; FeS, proteína contendo ferro e enxofre; bc_1 , complexo citocromo bc_1 ; c_2 , citocromo c_2 . Para uma descrição sobre o funcionamento da ATPase, ver Figura 5.21.

Fotofosforilação não cíclica

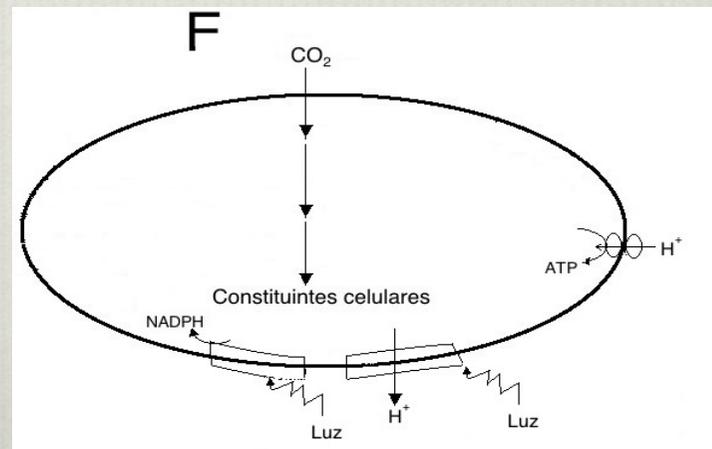


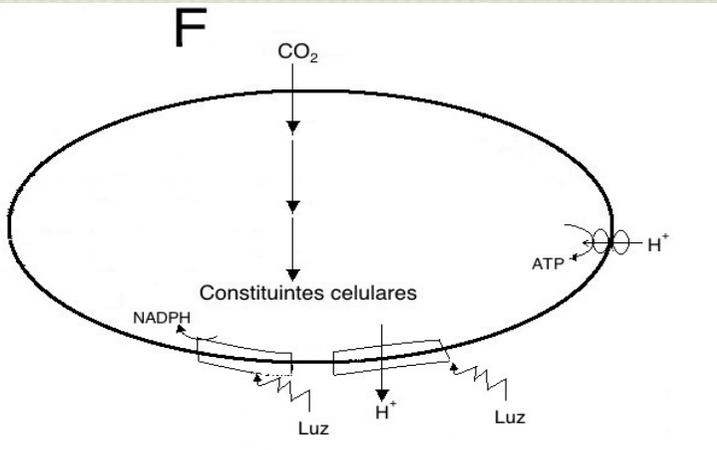
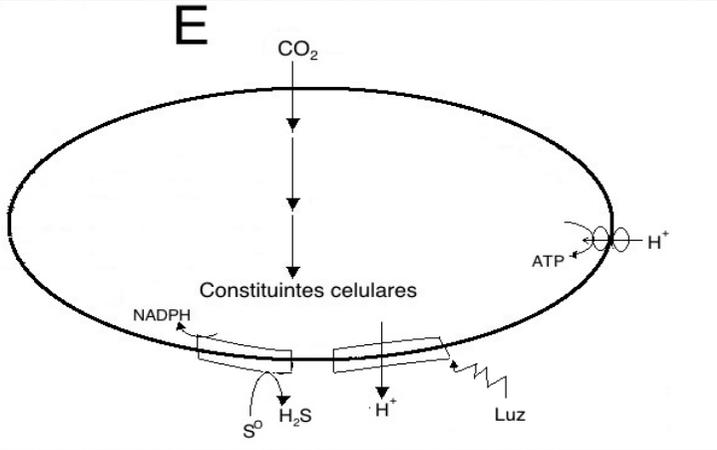
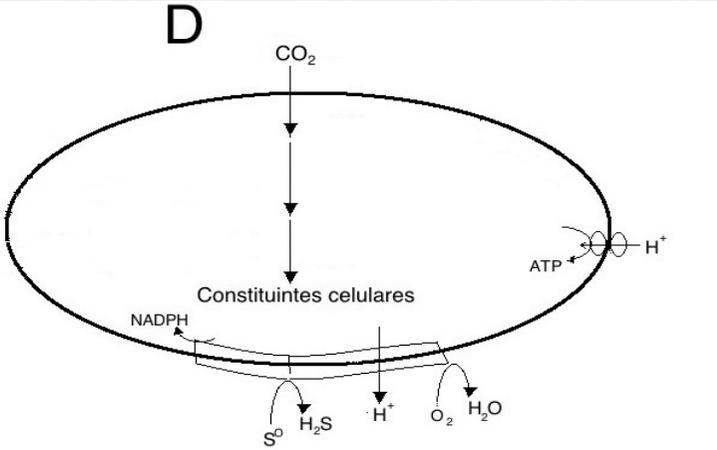
Fotofosforilação não cíclica

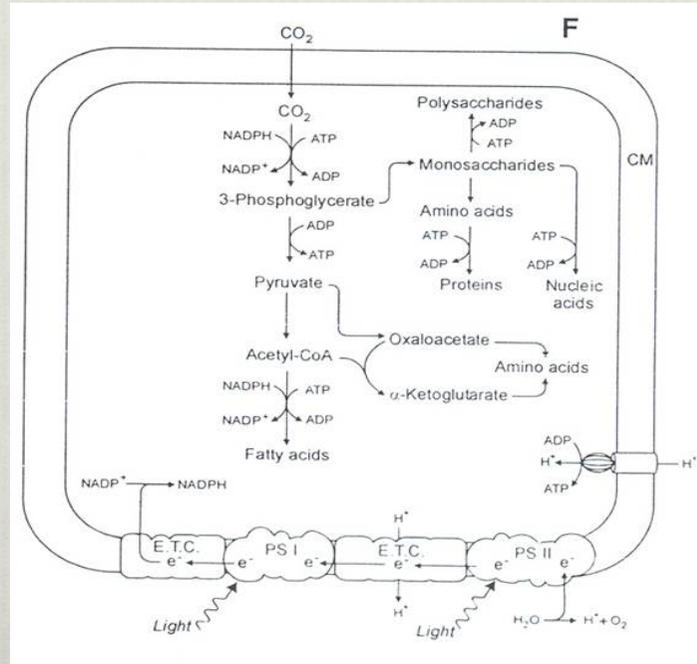
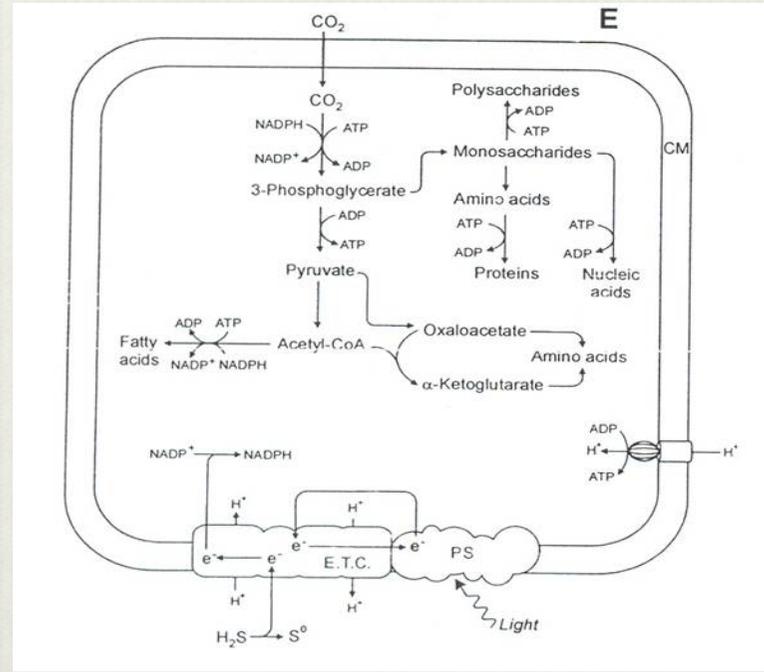
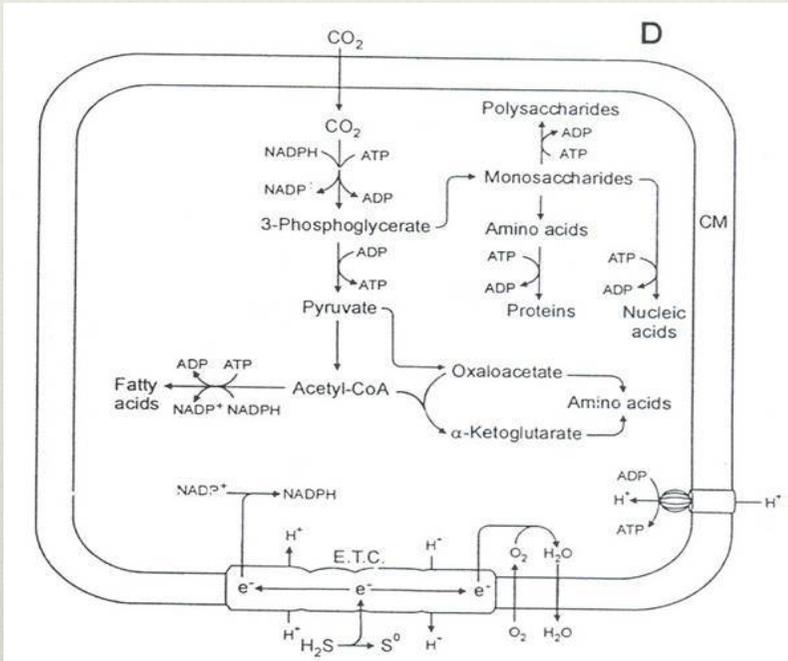
❖ Há formação de ATP

❖ Há formação de O_2

❖ Há formação de NADPH



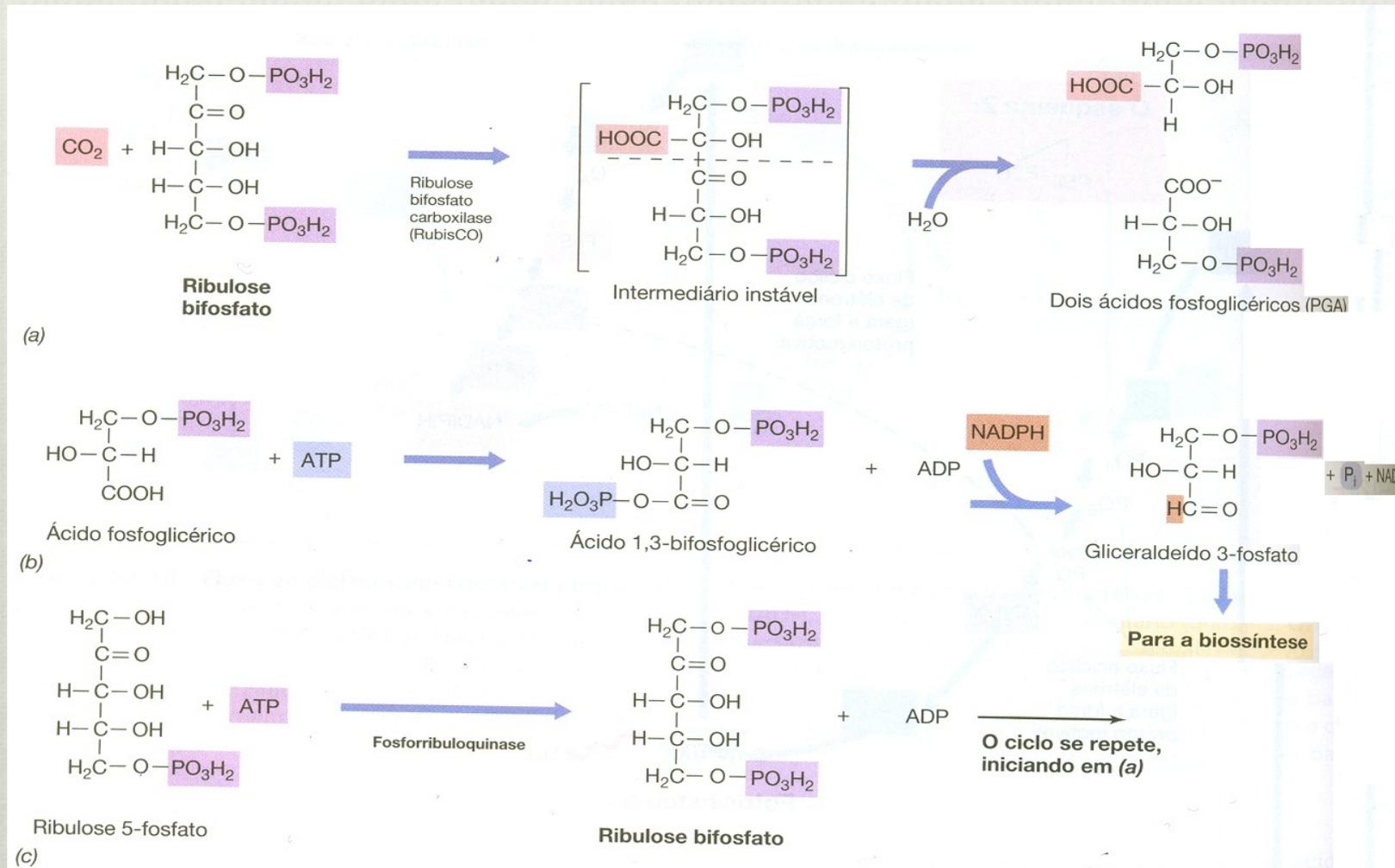




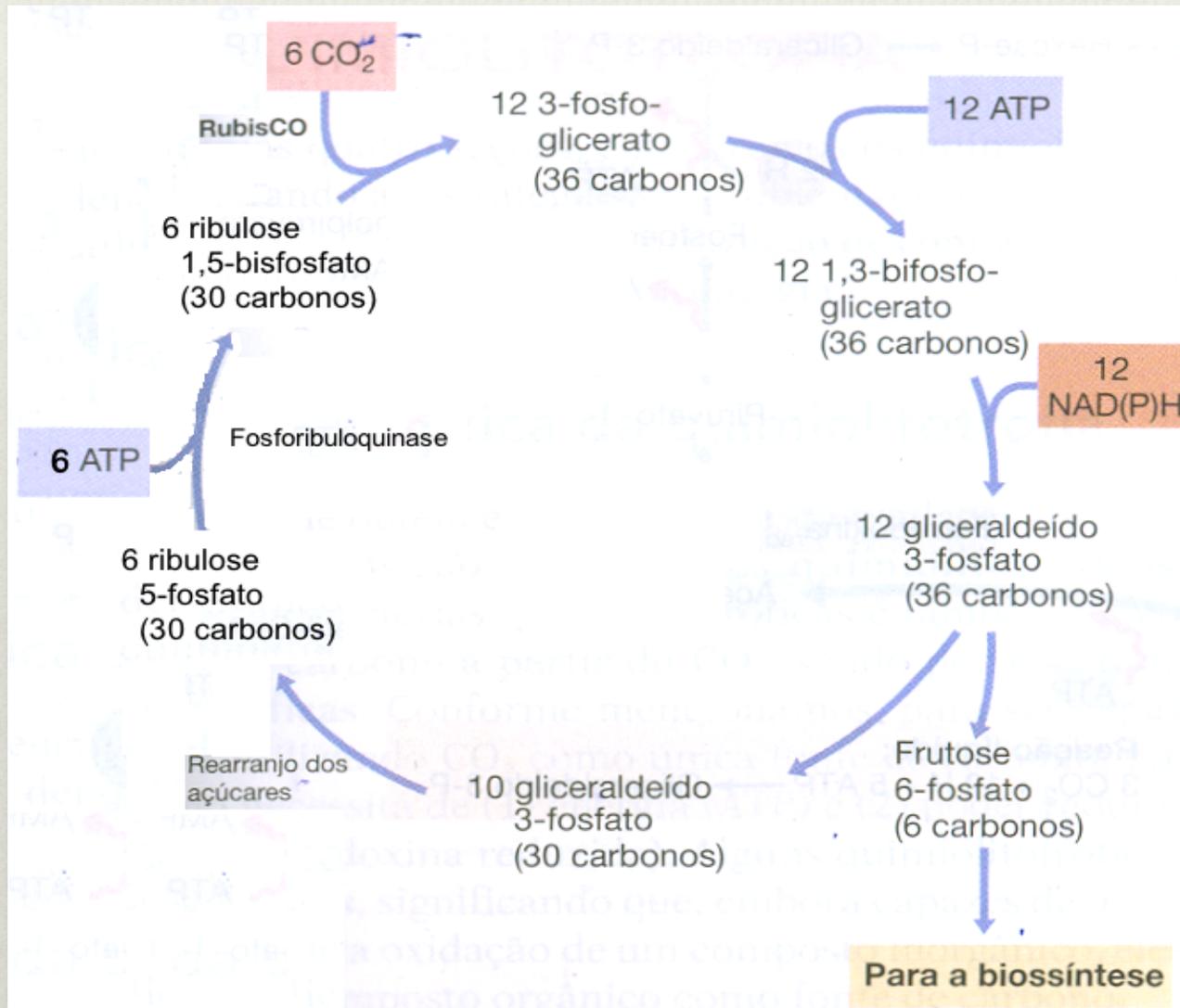
Fototróficas e Quimiolitotróficas

Obtenção de precursores do metabolismo

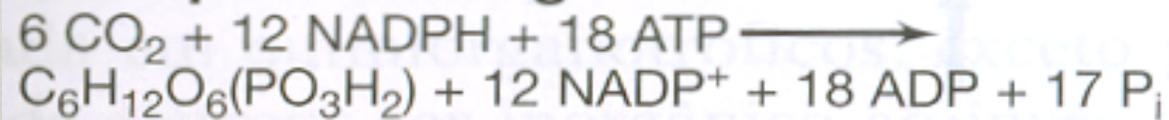
Ciclo de Calvin

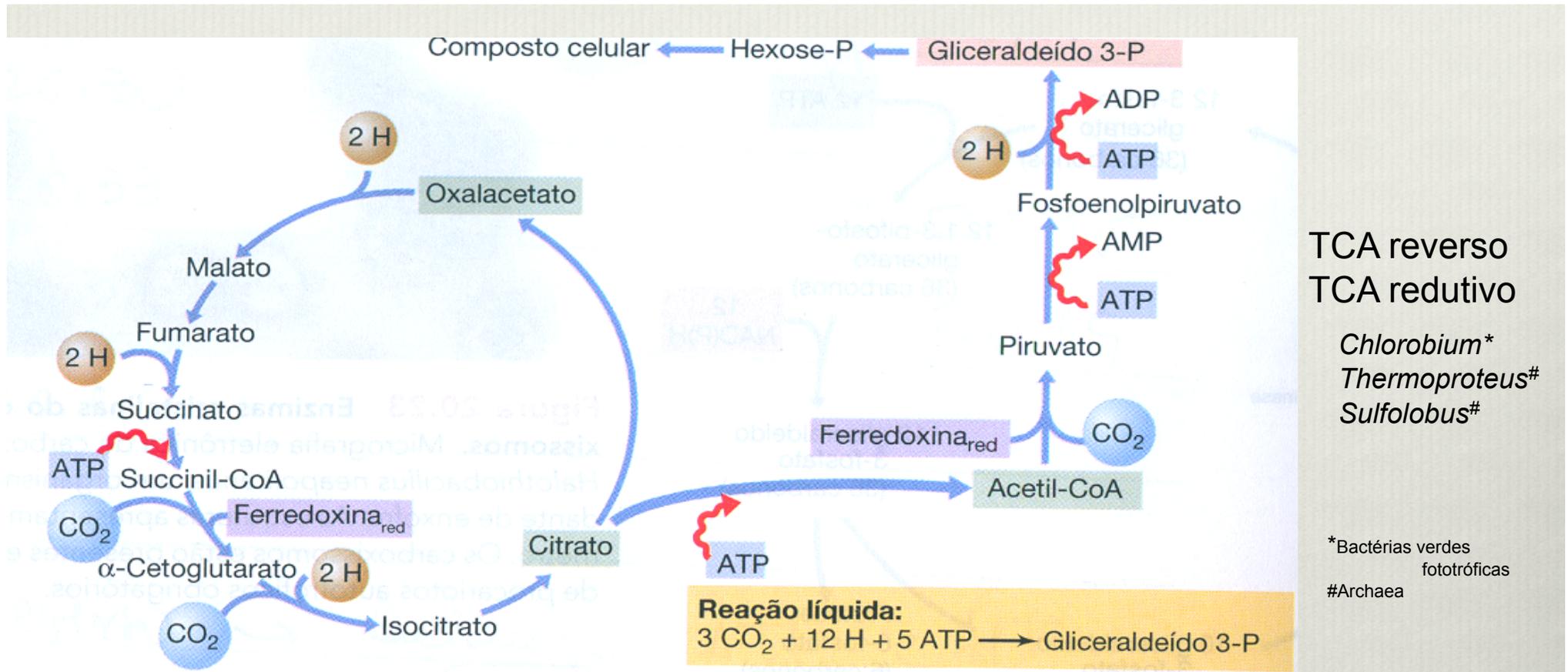


Reações chave do Ciclo de Calvin: (a) reação da enzima ribulose bisfosfato carboxilase, (b) etapas da conversão de ácido 3-bisfosfoglicérico (PGA) em gliceraldeído 3-fosfato. Tanto ATP como NADPH são necessários, (c) conversão da ribulose 5-fosfato na ribulose bisfosfato, a molécula receptora do CO₂.

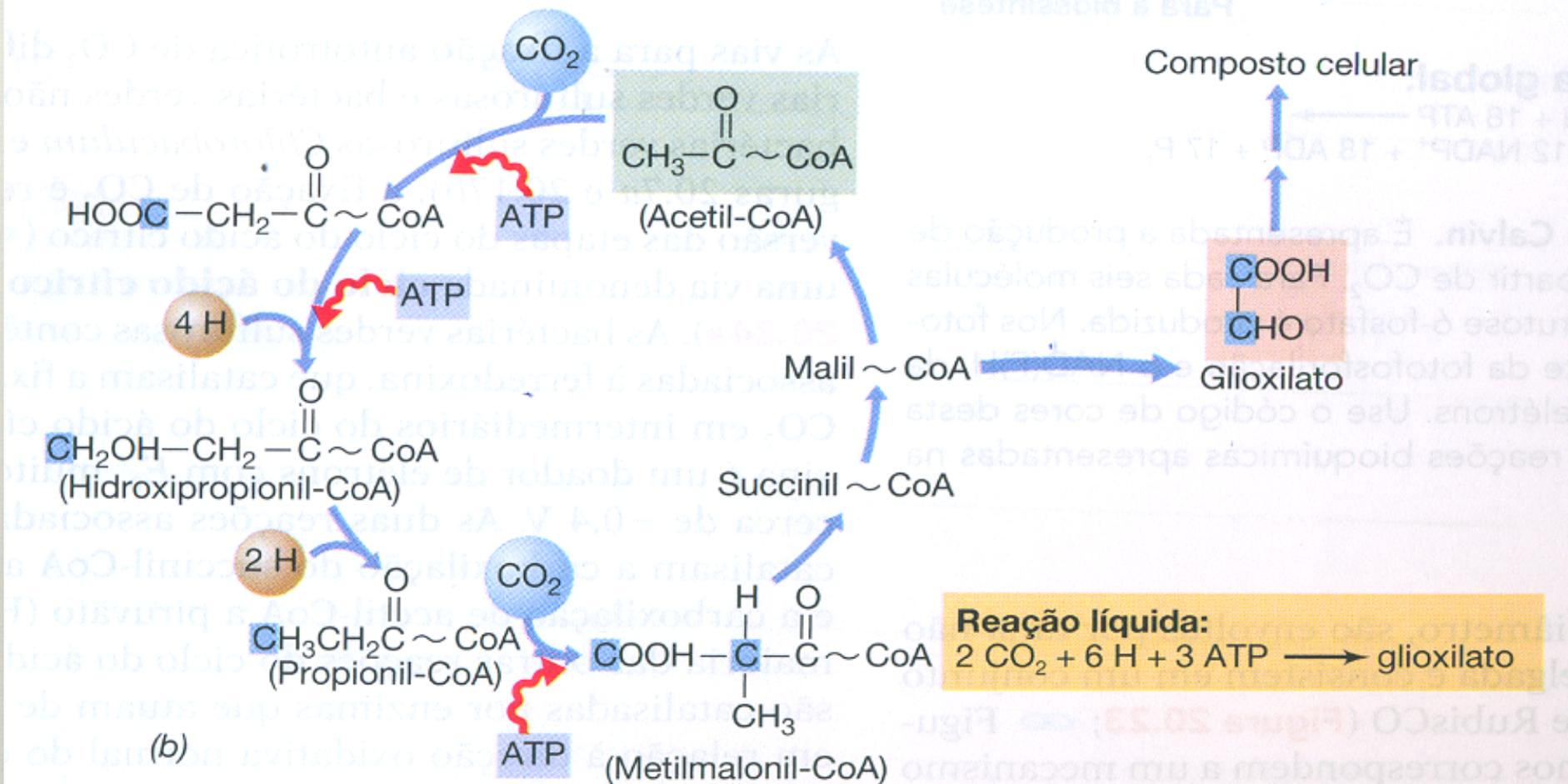


Estequiometria global:





O ciclo do ácido cítrico reverso é o mecanismo de fixação de CO_2 em bactérias verdes sulfurosas. A $\text{Ferredoxina}_{\text{red}}$ indica as reações de carboxilação que requerem ferredoxina reduzida (2H cada). Em *Chlorobium*, a ferredoxina reduzida é gerada a partir de reações dirigidas pela luz. Partindo de oxalacetato, cada ciclo completo resulta na incorporação de 3 moléculas de CO_2 , originando piruvato como produto. A clivagem do citrato, pela enzima ATP-dependente, citrato liase, regenera o acceptor C4, oxalacetato, e produz acetil-CoA utilizado na biossíntese. A conversão de piruvato a fosfoenolpiruvato, consome o equivalente a 2 reações fosfato ricas em energia. O NADH ou FADH suprem o poder redutor adicional necessário ao ciclo.



A via do hidroxipropionato é uma via autotrófica na bactéria verde não sulfurosa *Chloroflexus*. Acetil-CoA é carboxilada duas vezes, originando metilmalonil-CoA. Metilmalonil-CoA é rearranjada, gerando uma nova molécula acceptora de acetil-CoA e uma de glioxilato, que é convertida em compostos celulares. A fonte de poder redutor neste caso, é o NADH.

Via do hidroxipropionato
*Chloroflexus**

*Bactérias verdes fototróficas

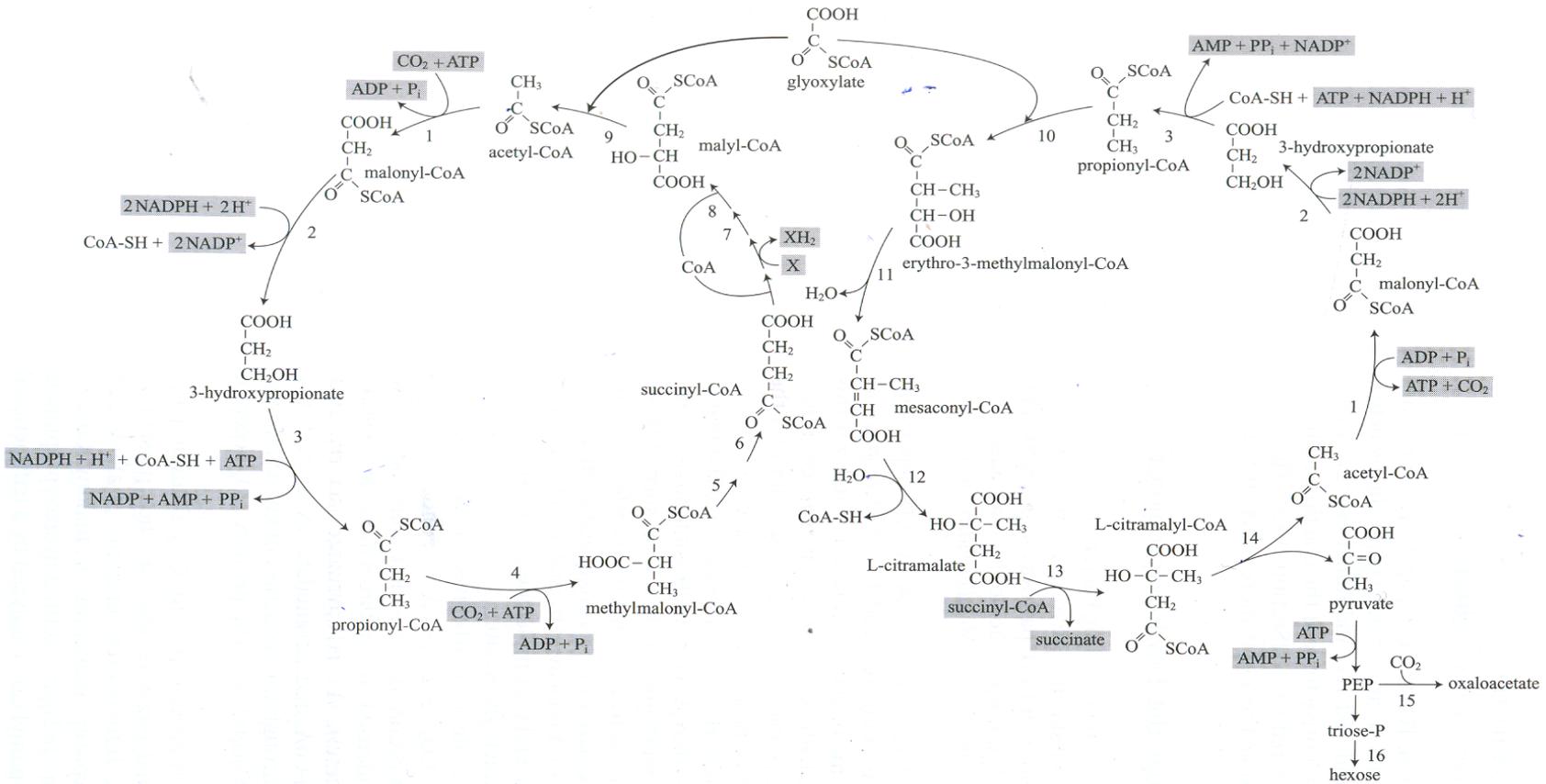


Figure 10.10 CO₂ fixation in photosynthetic *Chloroflexus aurantiacus* through the 3-hydroxypropionate cycle.

(*J. Bacteriol.* **184**:5999–6006, 2002)

(Left) The 3-hydroxypropionate cycle for CO₂ fixation with glyoxylate as the first net CO₂ fixation product. This pathway involves part of the TCA cycle. An intermediate, 3-hydroxypropionate, was isolated and the cyclic pathway was named after this intermediate. (Right) The glyoxylate assimilation cycle. This metabolism is known only in *Chloroflexus aurantiacus* and chemolithotrophic acidophilic archaea such as *Acidianus brierleyi*, *Acidianus ambivalens*, *Metallosphaera sedula*, and *Sulfolobus metallicus*.

1, acetyl-CoA carboxylase; 2, malonyl-CoA reductase (bifunctional); 3, propionyl-CoA synthase; 4, propionyl-CoA carboxylase; 5, methylmalonyl-CoA epimerase; 6, methylmalonyl-CoA mutase; 7, citrate cycle enzymes (succinate dehydrogenase, fumarate hydratase); 8, succinyl-CoA:L-malate CoA transferase; 9, L-malyl-CoA lyase; 10, erythro-3-methylmalyl-CoA lyase; 11, 3-methylmalyl-CoA dehydratase; 12, mesaconyl-CoA hydratase; 13, succinyl-CoA:L-citramalate CoA transferase; 14, citramalyl-CoA lyase; 15, phosphoenolpyruvate carboxylase; 16, gluconeogenesis enzymes.

Precursores

C Calvin

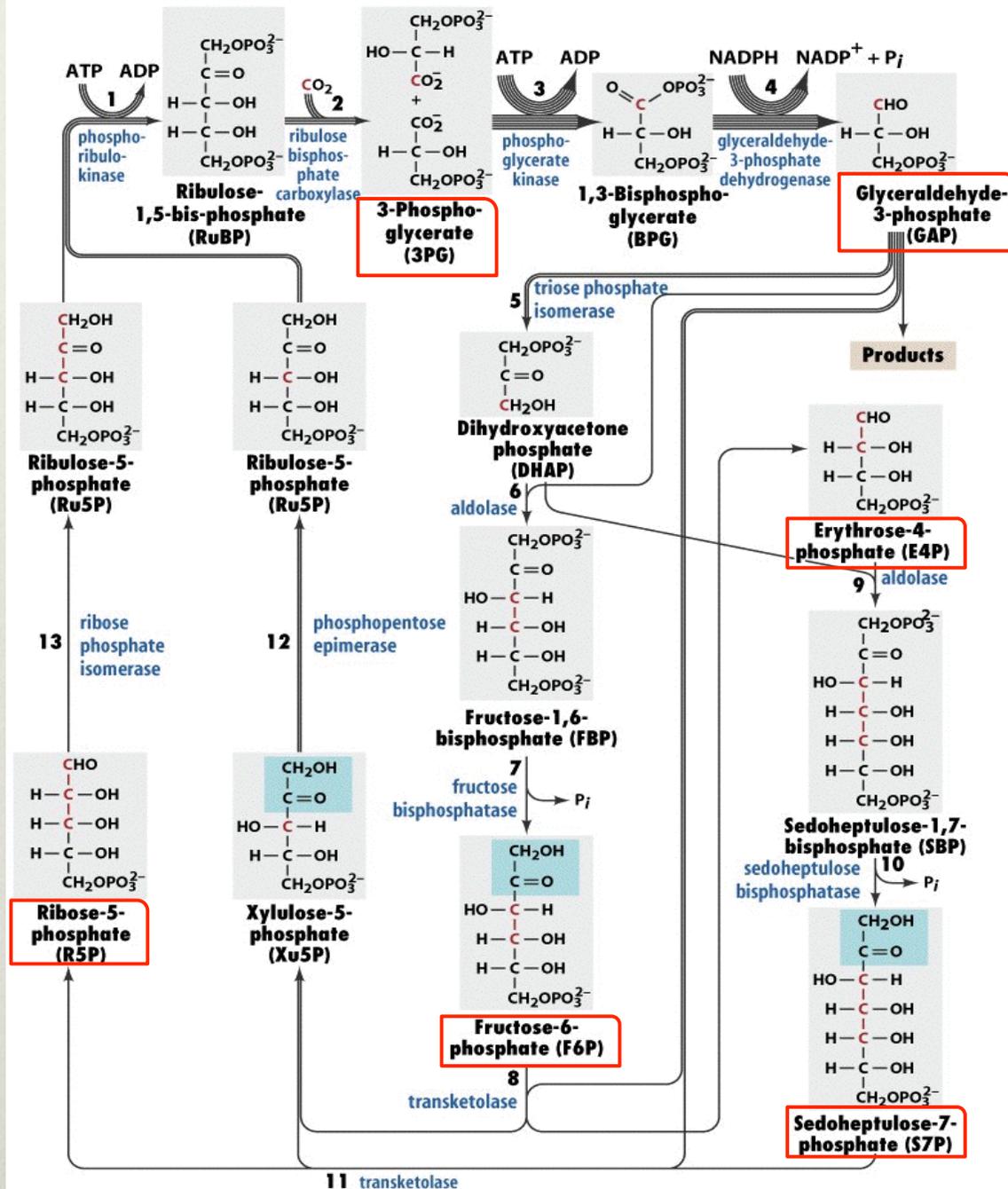
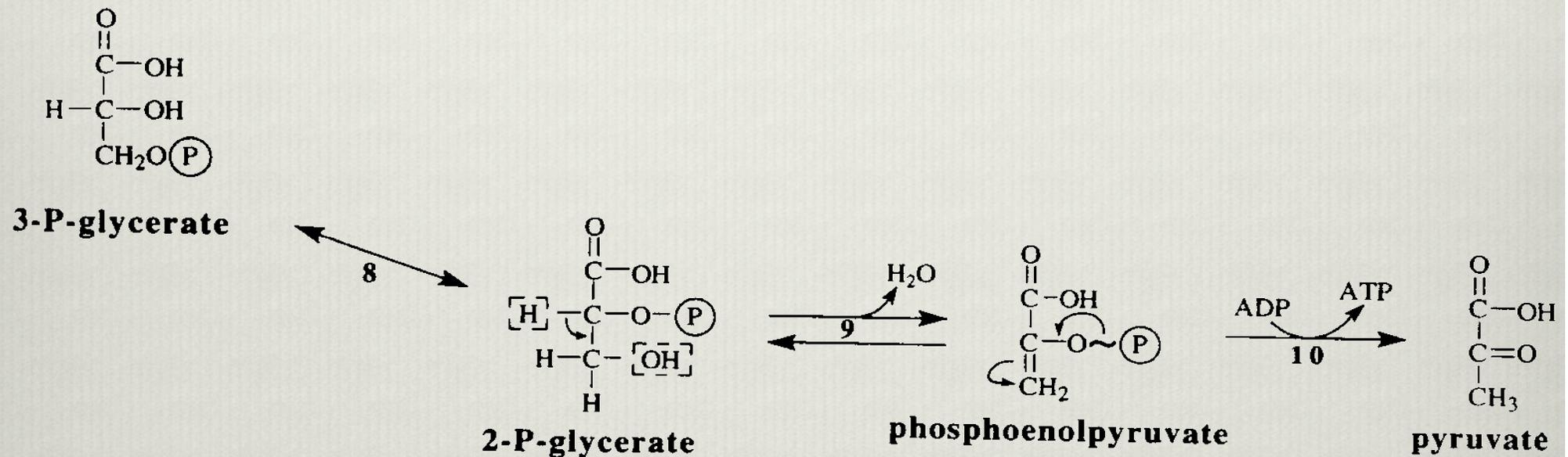


Figure 18-24 Fundamentals of Biochemistry, 2/e
© 2006 John Wiley & Sons

A partir de 3P glicerato gerado no ciclo de Calvin, fosfoenolpiruvato e piruvato são obtidos por meio de reações da EMP



(8) mutase; (9) enolase; (10) pyruvate kinase.

O TCA é incompleto – somente gera precursores

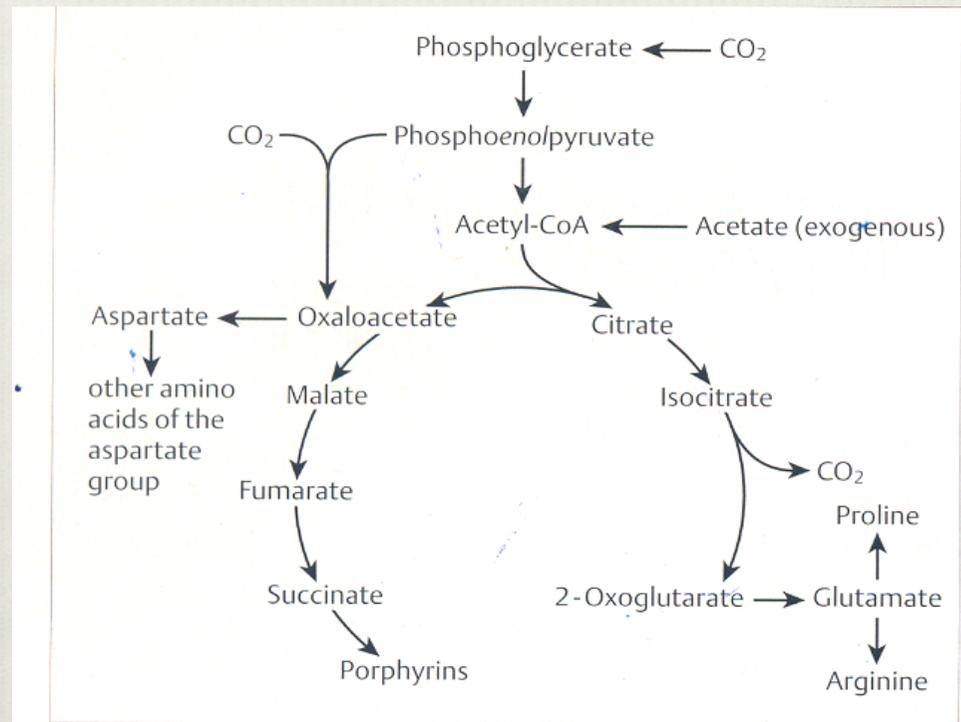


Fig. 10.3 **The “horseshoe”, an incomplete tricarboxylic acid cycle operating in obligate chemolithoautotrophs.** The biosynthetic roles of reactions normally associated with the operation of the tricarboxylic acid cycle in organisms that cannot convert α -ketoglutarate to succinate. Note that carbon from exogenous acetate can enter the amino acids of the glutamate family via citrate and α -ketoglutarate, but cannot enter those of the aspartate family via succinate and oxaloacetate, as it does in organisms with a functional tricarboxylic acid cycle.

Metabólito	Via predominante de origem do metabólito*			
	Calvin			
ATP	-			
NAD(P)H	-			
Glicose-6-fosfato	x			
Frutose-6-fosfato	x			
Ribose-5-fosfato ou ribulose-5-fosfato	x			
Eritrose-4-fosfato	x			
Sedoheptulose-7-fosfato	x			
Gliceraldeído-3-fosfato	x			
3-Fosfoglicerato	x			
Fosfoenolpiruvato	-	r EMP		
Piruvato	-	r EMP		
Acetil-CoA		CPD		
Oxaloacetato		RR/RO		
α -cetogluturato		RR/RO		
Succinil-CoA		RR/RO		58

