

Respiração Aeróbia:

(Glicose) $C_6H_{12}O_6 + 6 O_2 \Rightarrow 6 CO_2 + 6 H_2O + 36 ATP + \text{caloria}$

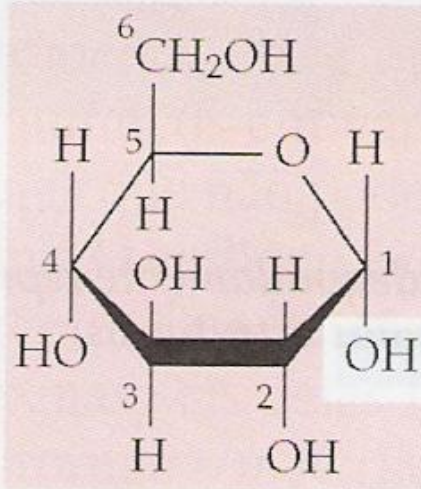
(Sacarose) $C_{12}H_{22}O_{11} + 12 O_2 \Rightarrow 12 CO_2 + 11 H_2O + 60 ATP + \text{caloria}$

“Processo em que compostos orgânicos reduzidos são oxidados de maneira controlada e a energia livre produzida é utilizada para síntese de energia (ATP e calor)”

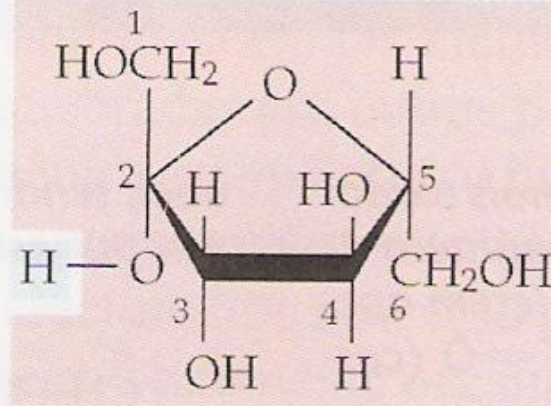
Quadro 3.2 *Quatro importantes classes de moléculas orgânicas*

Moléculas Orgânicas	Funções	Componentes	Composição por Elementos
Carboidratos	Fonte de energia, material estrutural, unidades formadoras de outras moléculas	Açúcares simples	Carbono, hidrogênio e oxigênio
Lipídios	Fonte de energia, componentes estruturais de membranas, barreira contra a perda de água	Ácidos graxos e glicerol nas gorduras e óleos	Carbono, hidrogênio e oxigênio
Proteínas	Material estrutural, enzimas	Aminoácidos	Carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio e enxofre
Ácidos nucleicos	Armazenamento, transmissão, tradução da informação genética; síntese de proteínas	Nucleotídeos (bases nitrogenadas, açúcares e fosfato)	Carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio e fósforo

alfa-Glicose



beta-Frutose

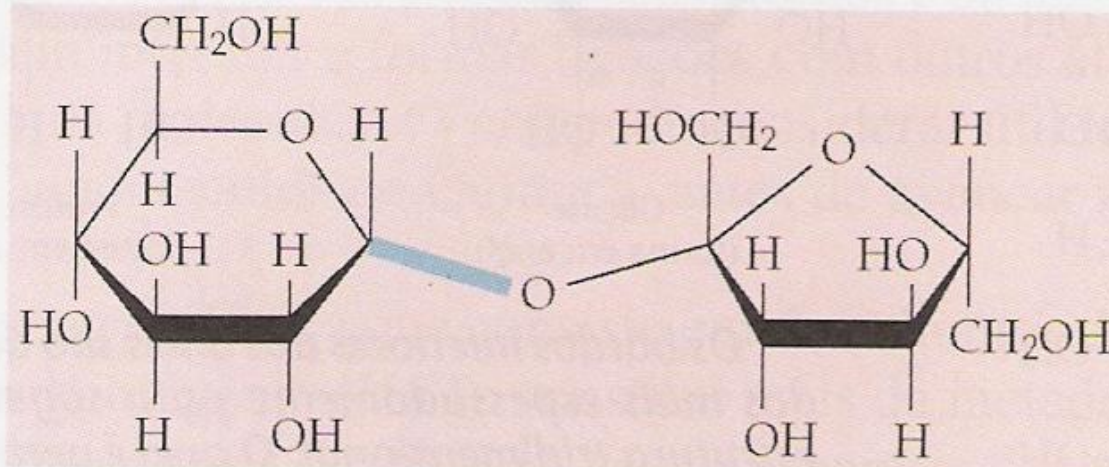
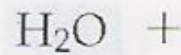


+

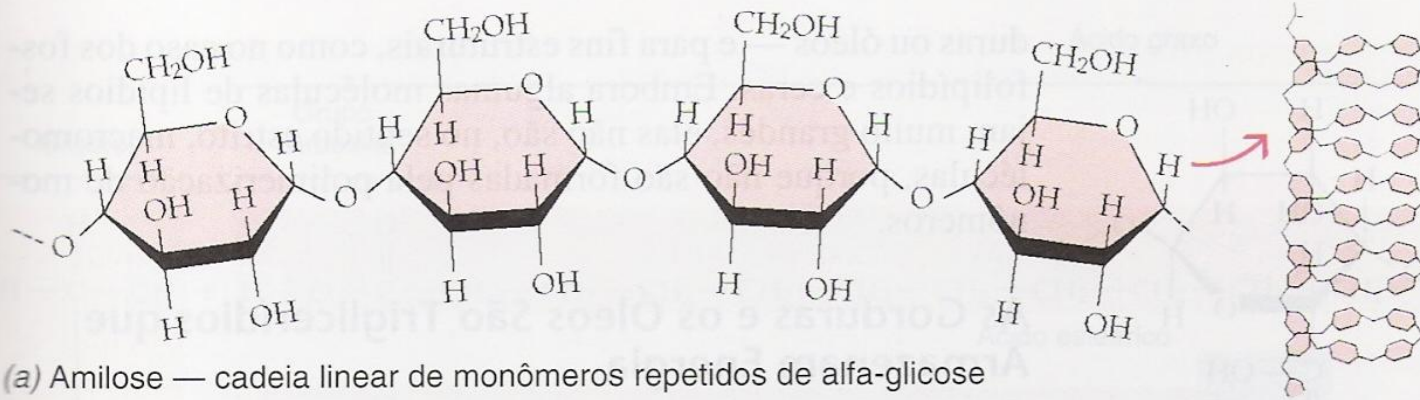
Síntese por desidratação



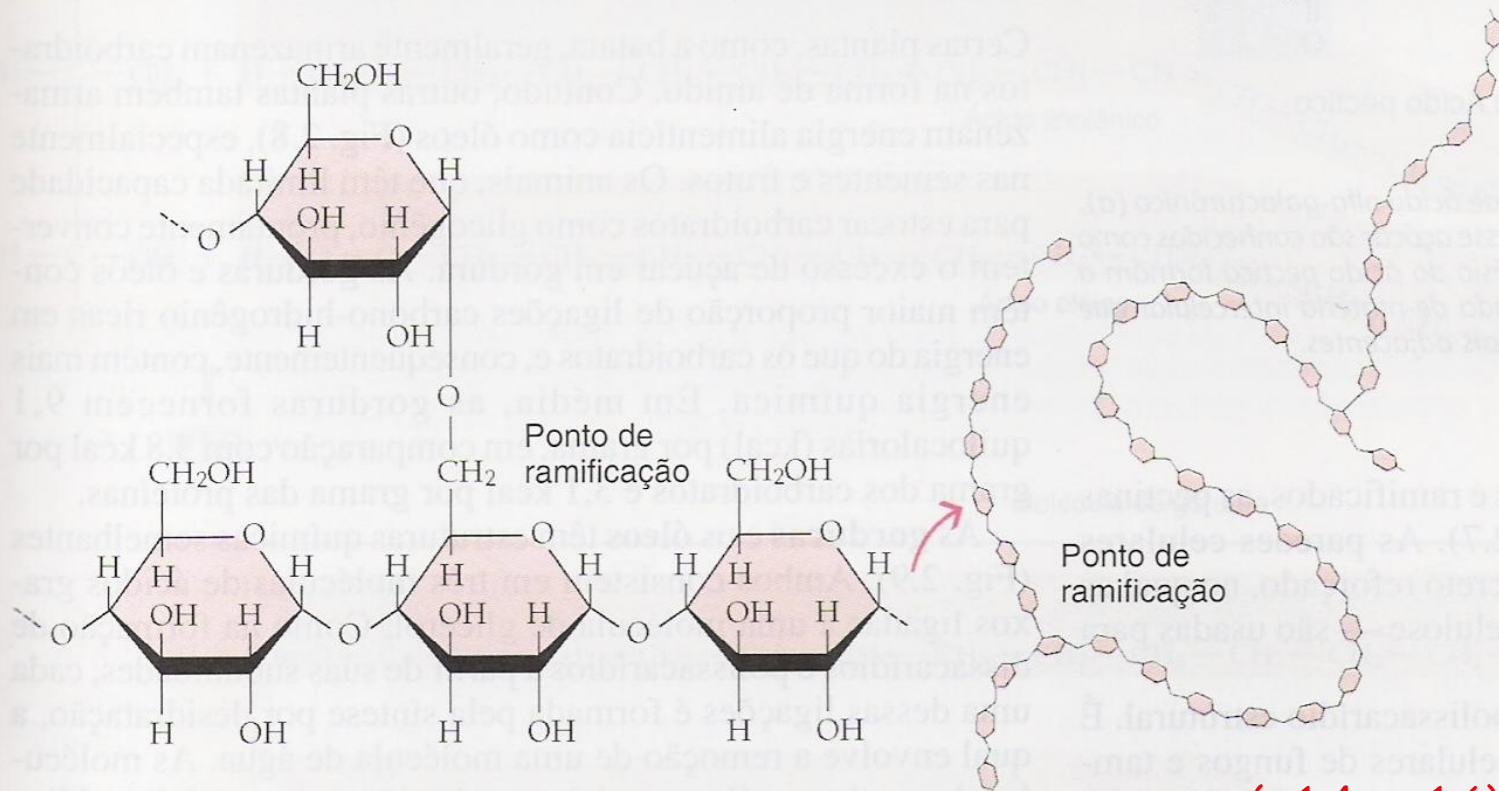
Hidrólise



Sacarose ($\alpha 1 \beta 2$)



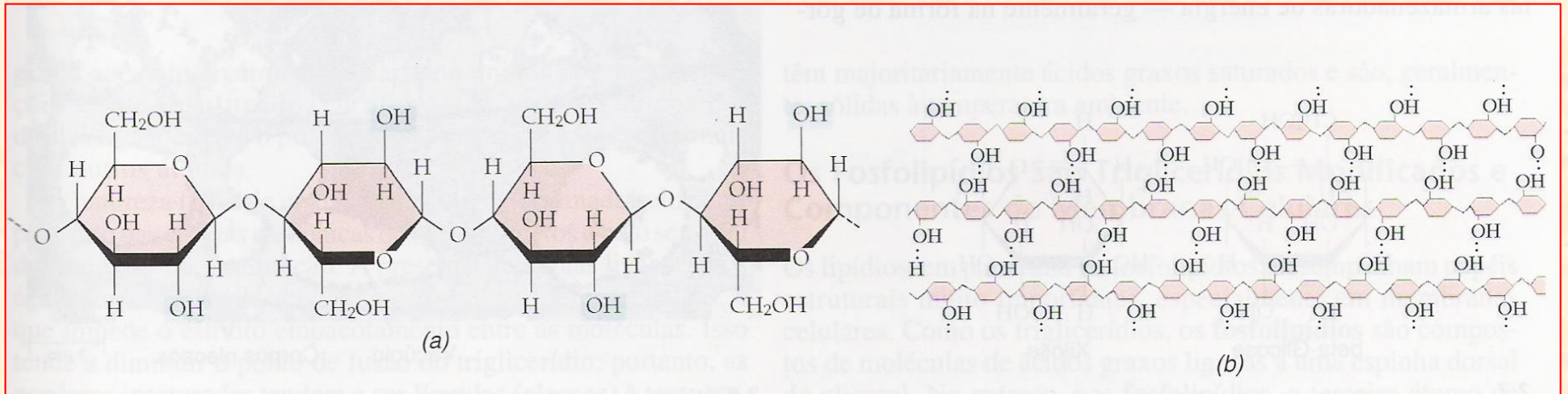
(a) Amilose — cadeia linear de monômeros repetidos de alfa-glicose



(b) Amilopectina — cadeia ramificada de monômeros repetidos de alfa-glicose

(α 1-4 e α 1-6)

Estrutura da Celulose

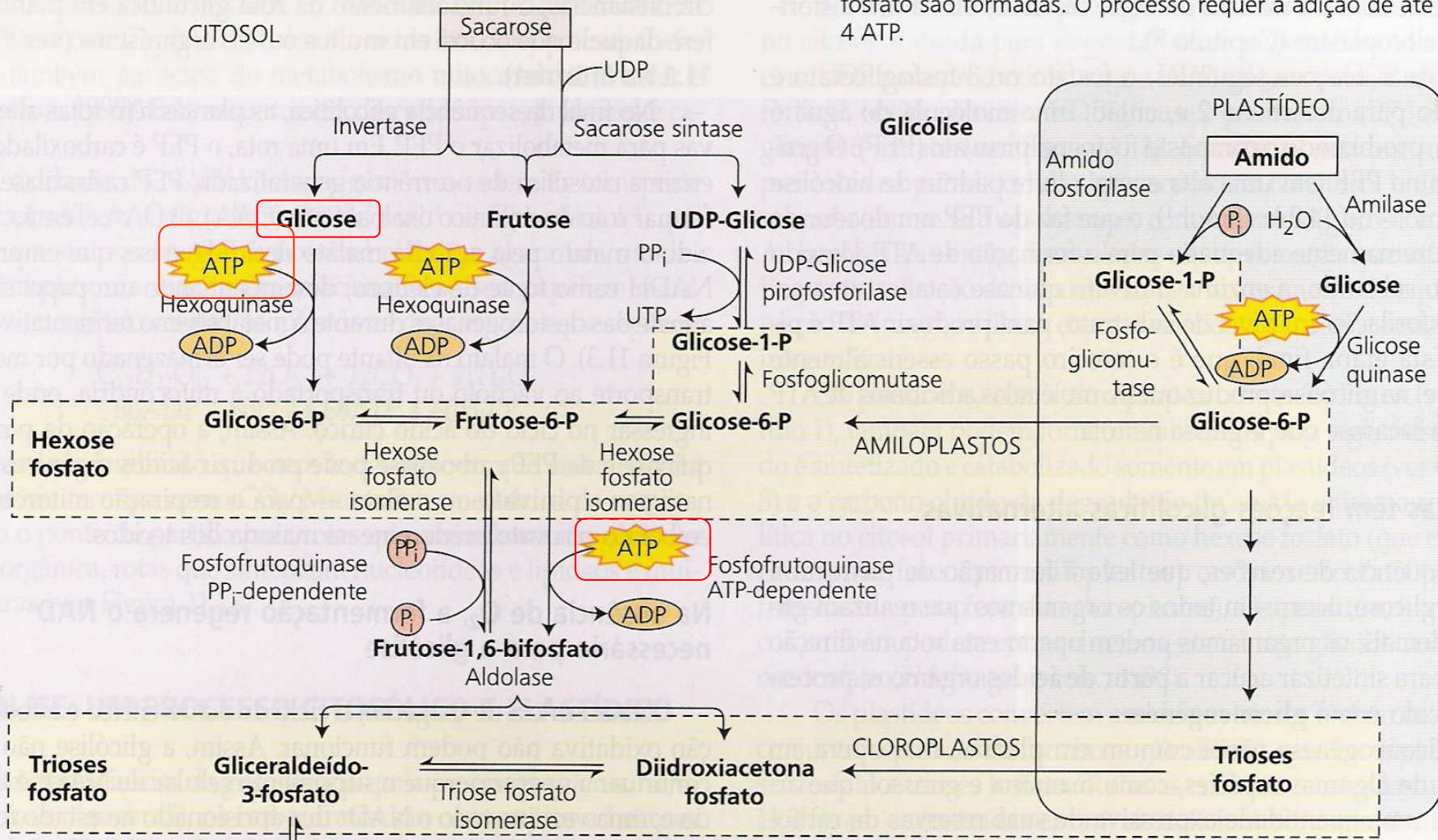


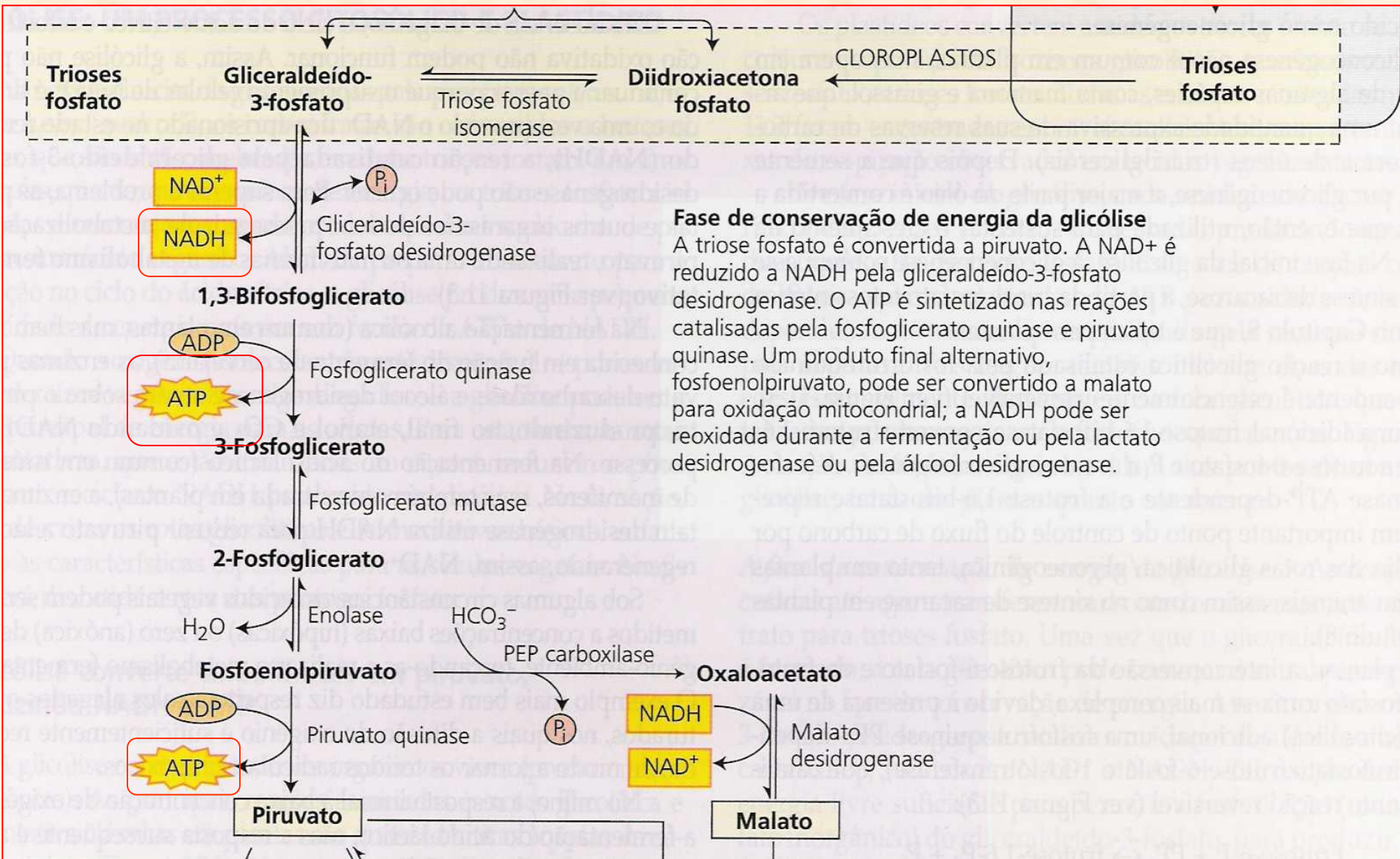
(β 1-4)

Glicólise:

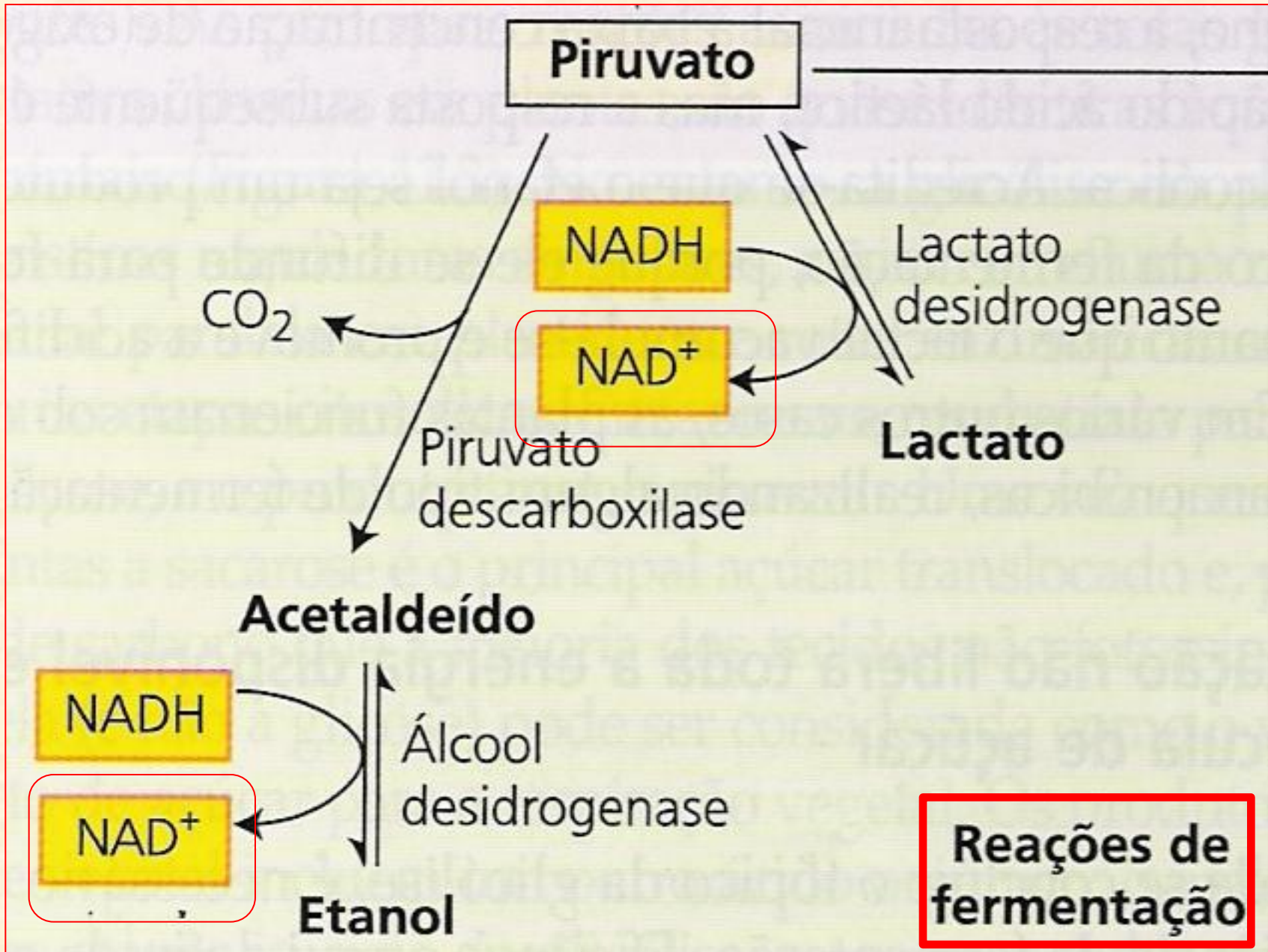
(A)

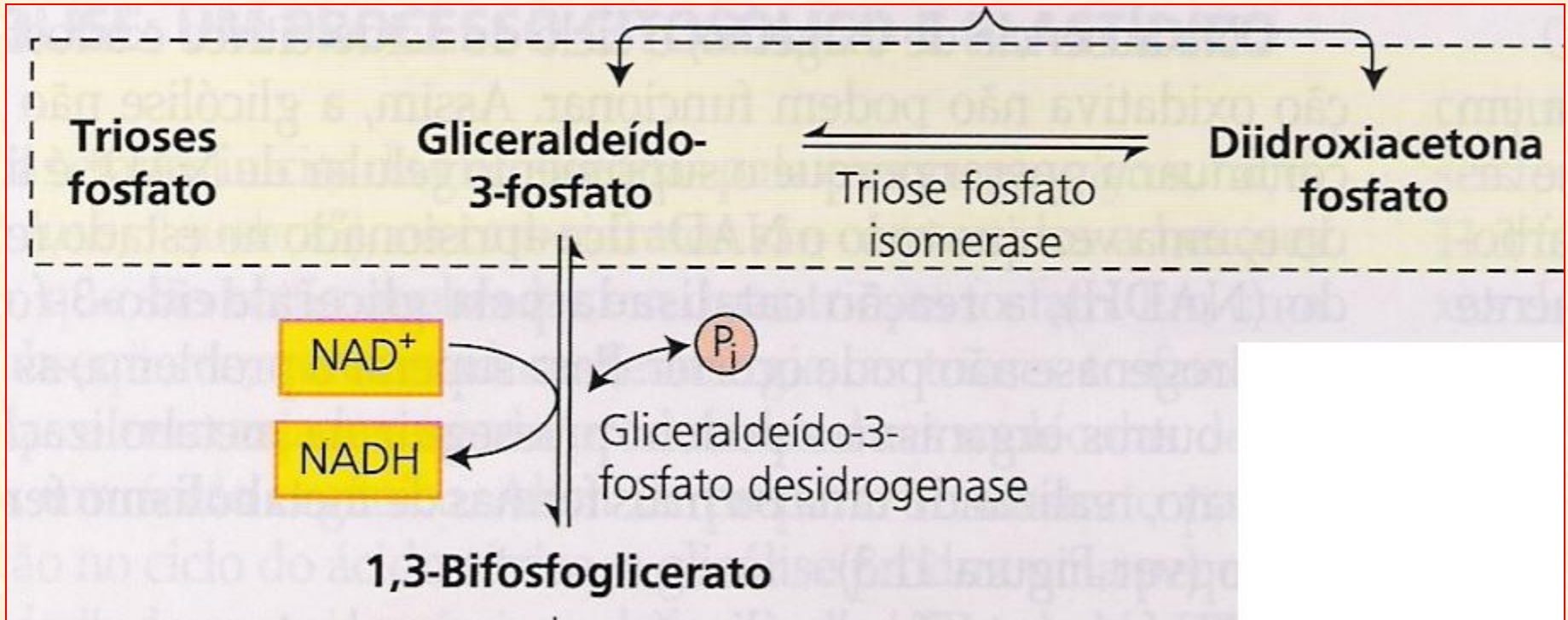
Fase inicial da glicólise Substratos de diferentes origens são canalizados para triose fosfato. Para cada molécula de sacarose que é metabolizada, quatro moléculas de triose fosfato são formadas. O processo requer a adição de até 4 ATP.

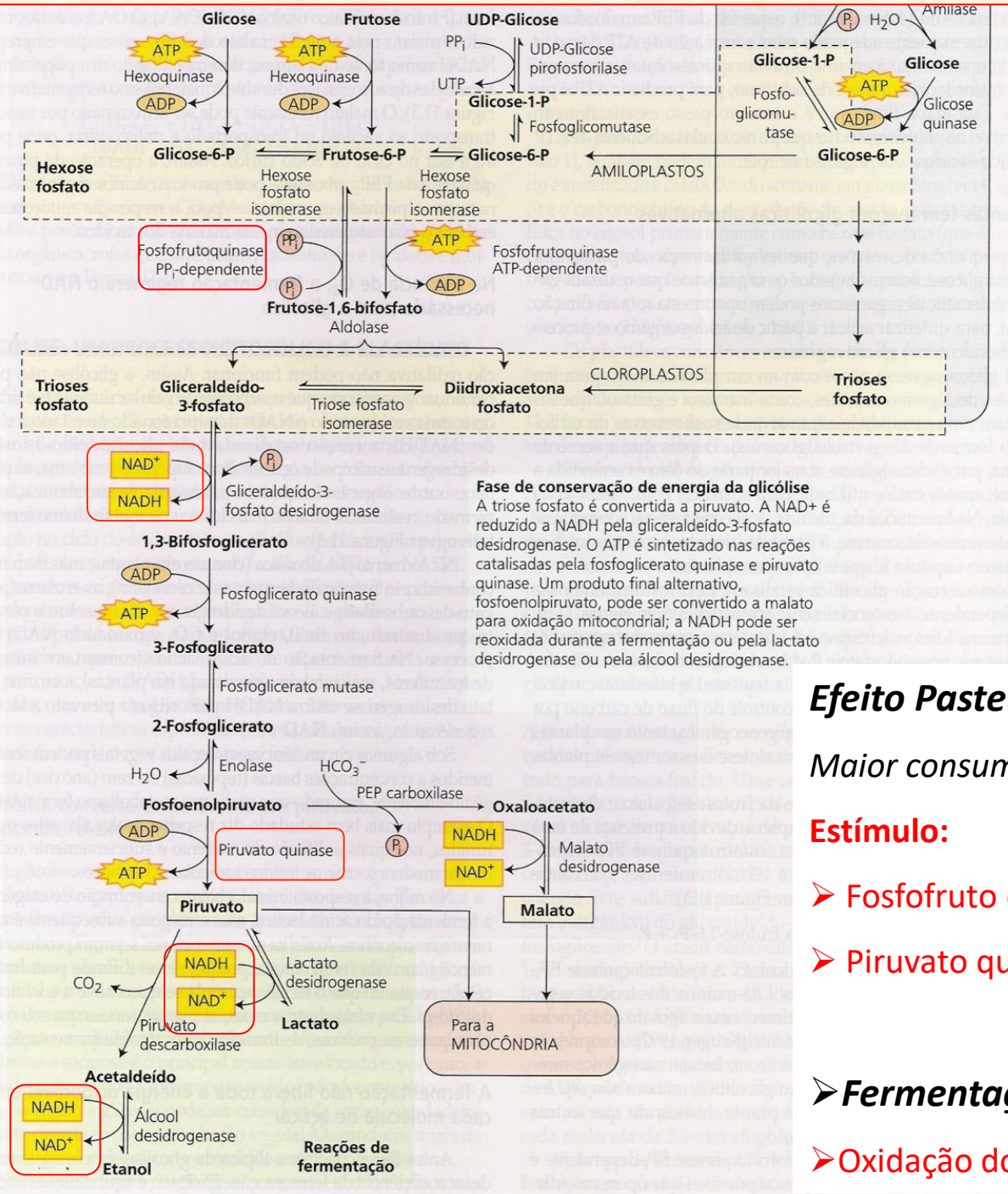




Fase de conservação de energia da glicólise
 A triose fosfato é convertida a piruvato. A NAD⁺ é reduzido a NADH pela gliceraldeído-3-fosfato desidrogenase. O ATP é sintetizado nas reações catalisadas pela fosfoglicerato quinase e piruvato quinase. Um produto final alternativo, fosfoenolpiruvato, pode ser convertido a malato para oxidação mitocondrial; a NADH pode ser reoxidada durante a fermentação ou pela álcool desidrogenase.







Efeito Pasteur:

Maior consumo de glicose em hipoxia/anoxia

Estímulo:

➤ Fosfofruto quinase dependente de Pi

➤ Piruvato quinase

➤ Fermentação:

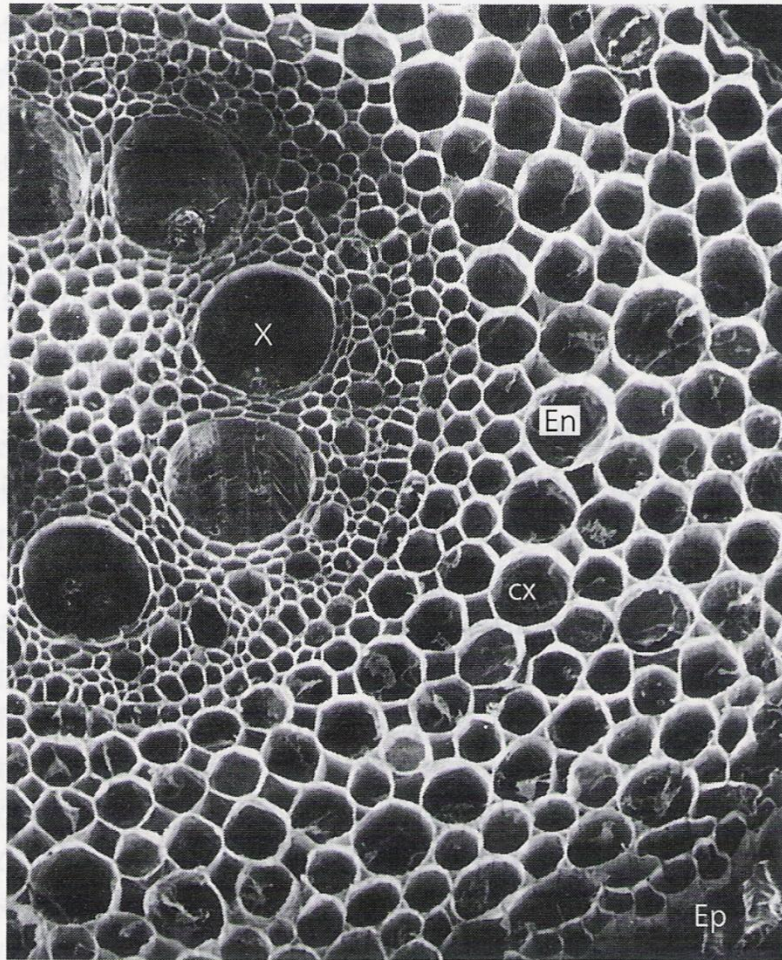
➤ Oxidação do NADH a NAD⁺



Figure 22.23

A flooded maize field. Flooding in the US Midwest in 1993 resulted in an estimated 33% reduction in yield compared with 1992.

(A)



(A)

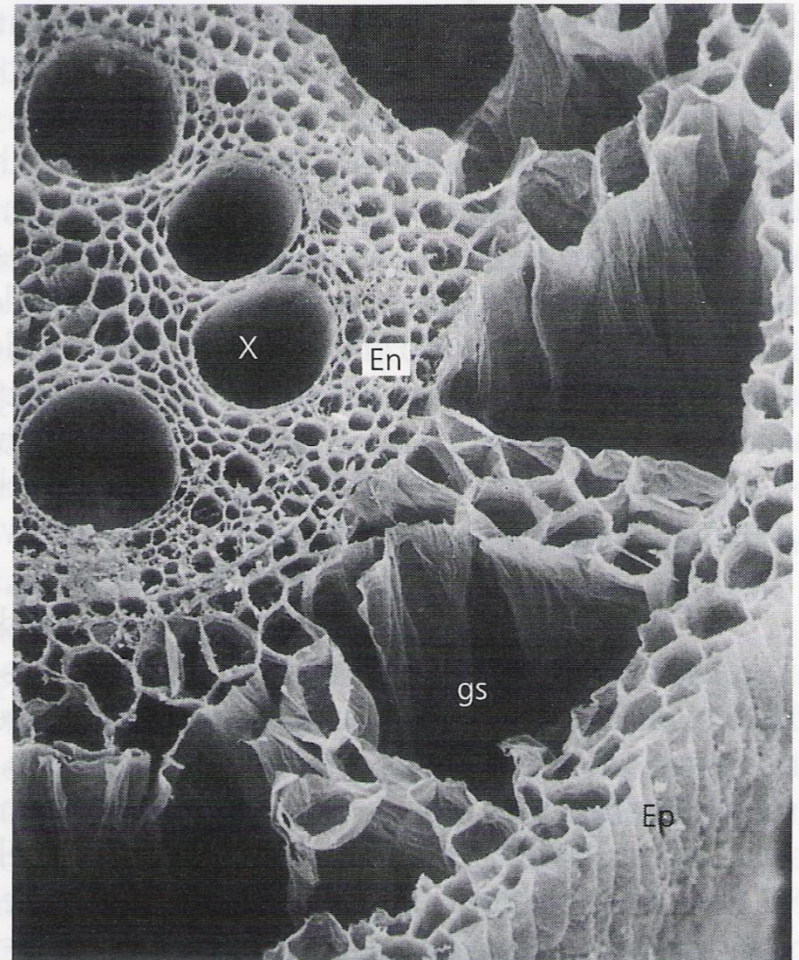
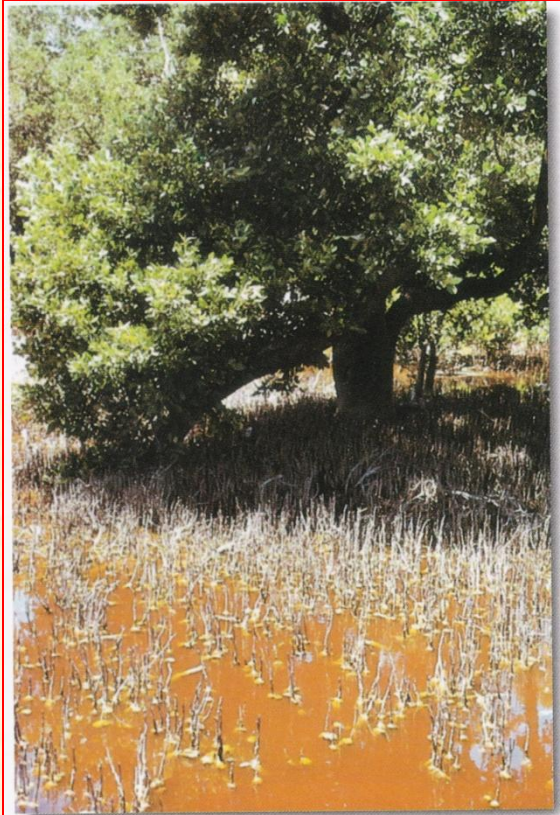
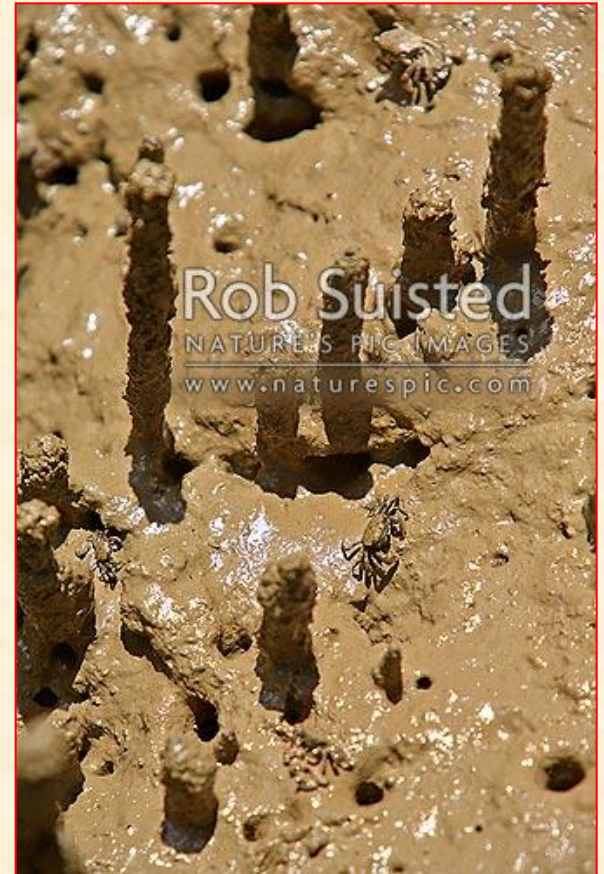


FIGURA 25.18 Electromicrografias (150x), de varredura, de seções transversais de raízes de milho, mostrando alterações estruturais com o suprimento de oxigênio. (A) Raiz-controle, suprida de ar, com células corticais intactas. (B) Raiz deficiente de oxigênio, crescendo em uma solução nutritiva sem aeração. Observe os espaços proeminentes (gs; do inglês, *gas-filled spaces*) no córtex (cx), formados pela degeneração de células. O estelo (todas as células internas à endoderme, En) e a epiderme (Ep) permanecem intactos. X, xilema (cedidas por J. L. Basq e M. C. Drew).





24.19 Pneumatóforos A siriúba (*Laguncularia racemosa*) produz raízes de aeração que saem do solo, próximas da base da árvore.



Avicênia Marinha

Manguezais:







Balbina

Belo Monte



Balbina



Belo Monte

Aguapé



Elodea



Azolla



Salvinia



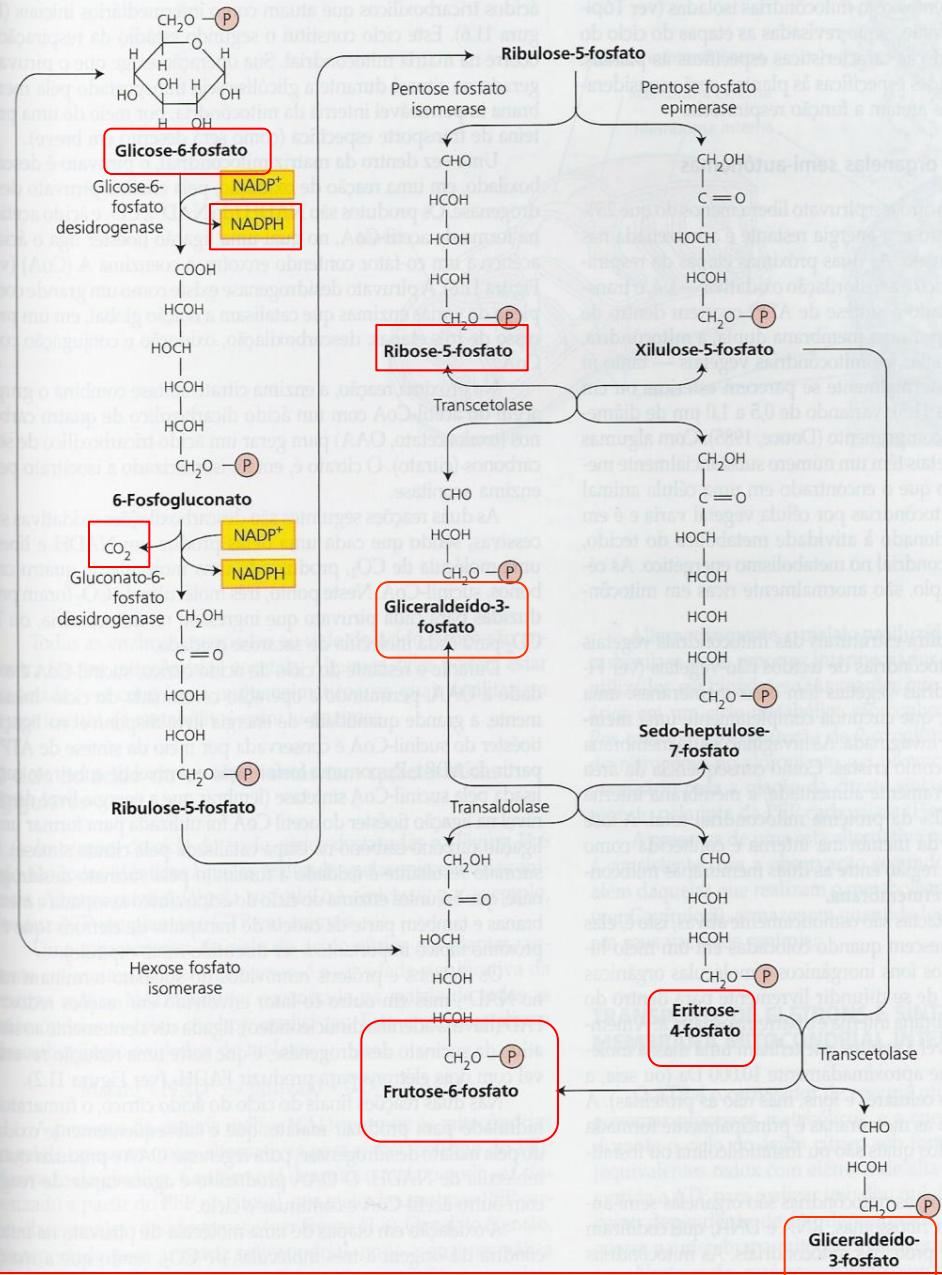
Rota das Pentoses Monofosfatadas:

-20% da RS citossólica/cloroplastídica

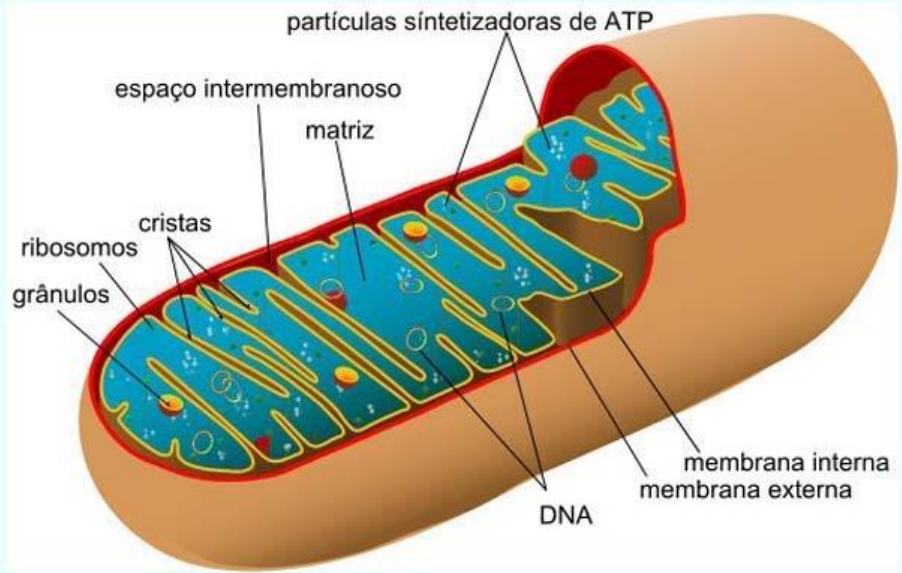
- NADPH₂
- Eritrose-4-P (lignina)
- Ribulose-5-P (DNA e RNA)
- CO₂

NADPH é gerado nas duas primeiras reações da rota, nas quais a glicose-6-fosfato é oxidada a ribulose-5-fosfato. Tais reações são essencialmente irreversíveis.

A ribulose-5-fosfato é convertida nos intermediários glicolíticos frutose-6-fosfato e gliceraldeído-3-fosfato, por meio de uma série de interconversões metabólicas, reações essas livremente reversíveis.



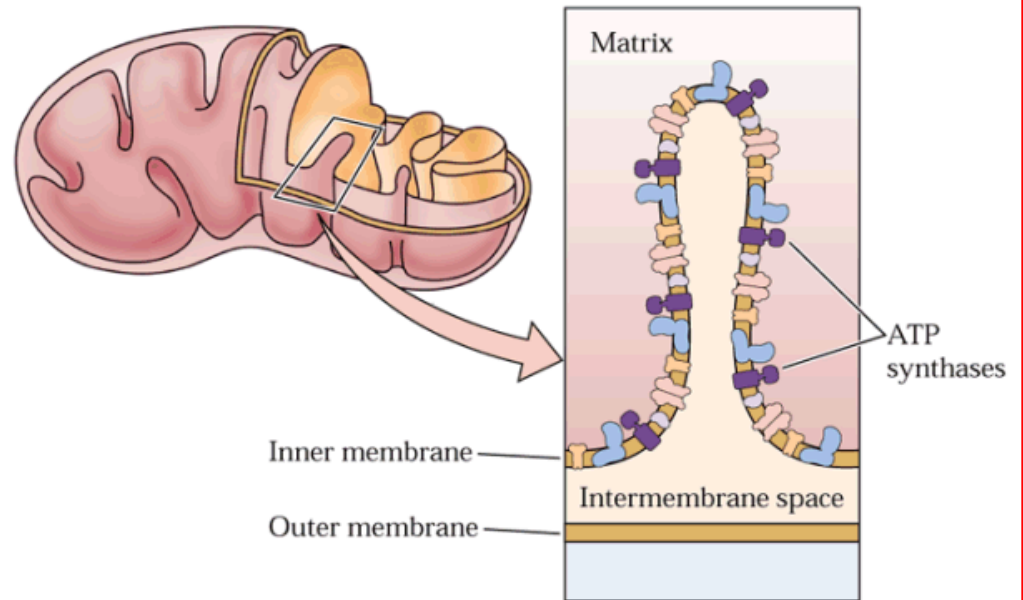
Mitocôndria



Fonte: <http://pt.wikipedia.org>

A mitochondrion

Cross-sectional diagram of a crista



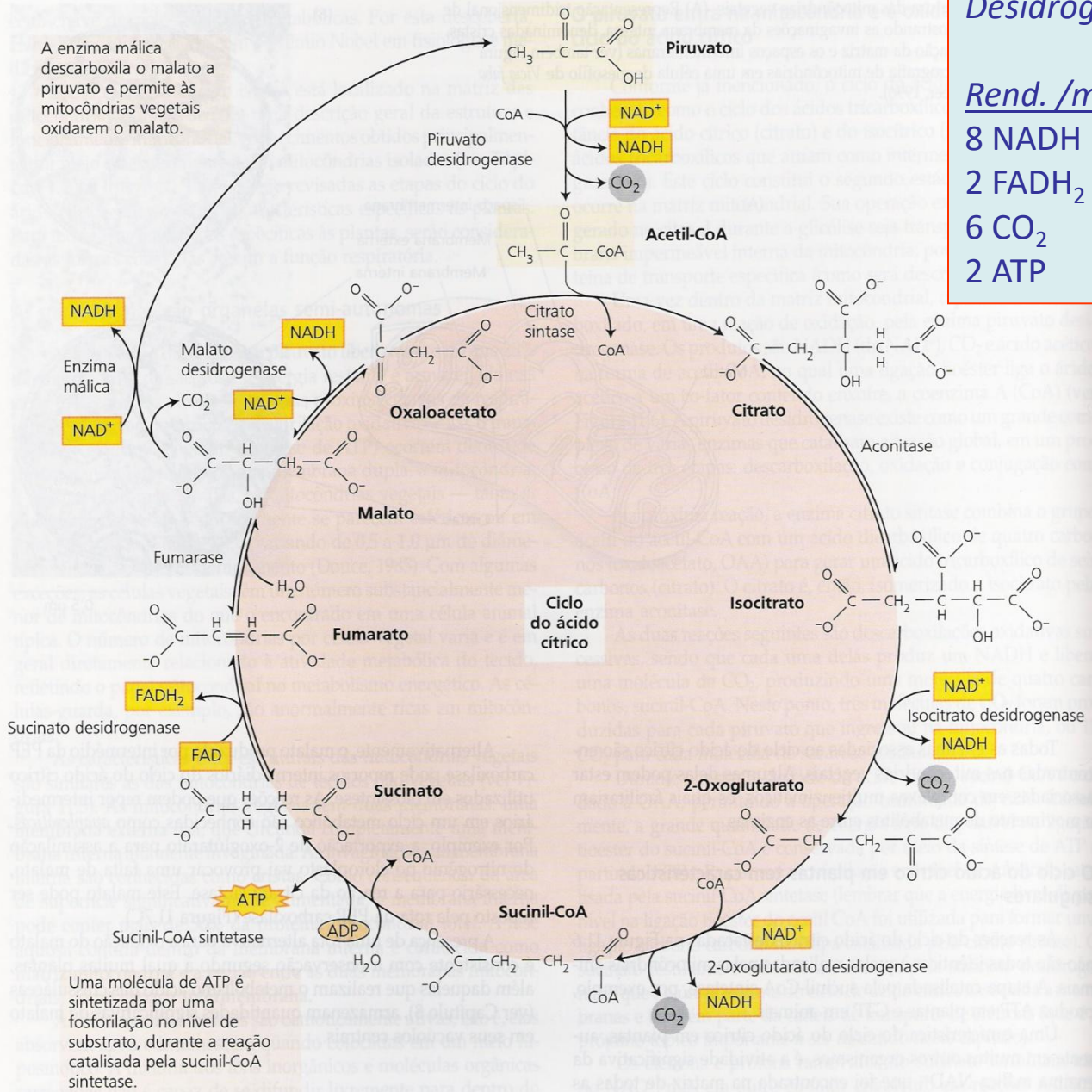
Desidrogenases

Rend. /mol. de glicose:

- 8 NADH
- 2 FADH₂
- 6 CO₂
- 2 ATP

Ciclo de Krebs:

A enzima málica descarboxila o malato a piruvato e permite às mitocôndrias vegetais oxidarem o malato.



Uma molécula de ATP é sintetizada por uma fosforilação no nível de substrato, durante a reação catalisada pela succinil-CoA sintetase.

FIGURA 11.6 Reações e enzimas do ciclo do ácido cítrico vegetal. O piruvato é completamente oxidado a três moléculas de CO₂. Os elétrons liberados durante estas oxidações são utilizados para reduzir quatro moléculas de NAD⁺ a NADH e uma molécula de FAD a FADH₂.



Hans Adolf Krebs (1900-1981)

Nobel de Fisiologia/Medicina em
1953 pela elucidação do
Ciclo do Ácido Cítrico

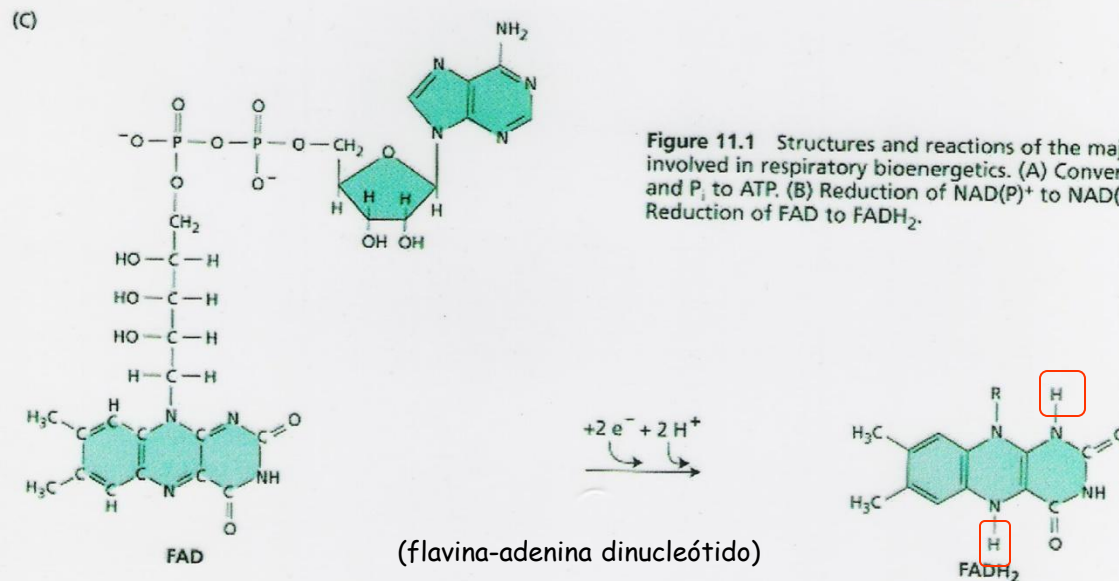
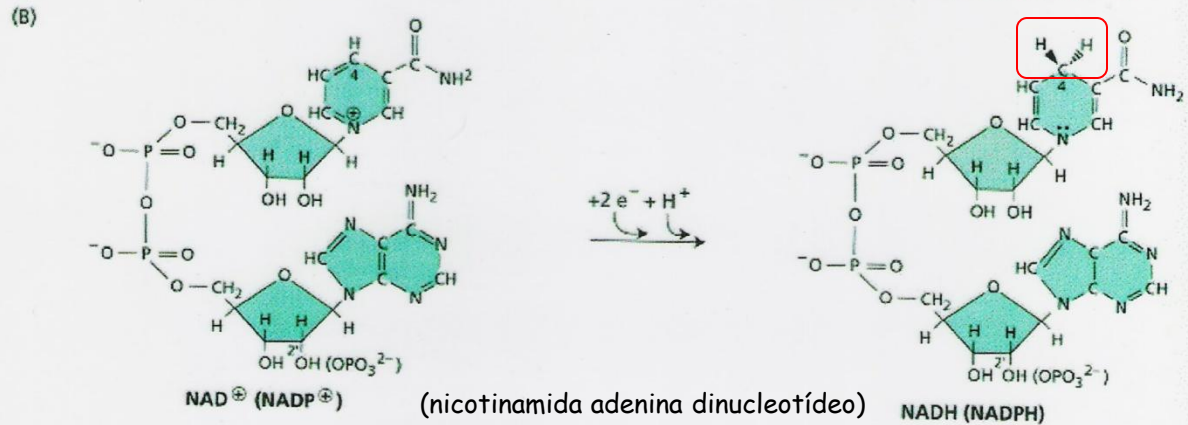
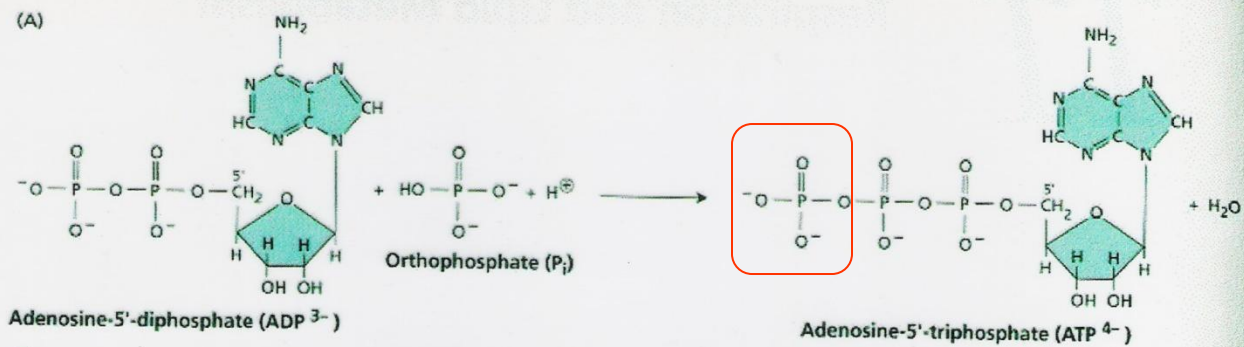


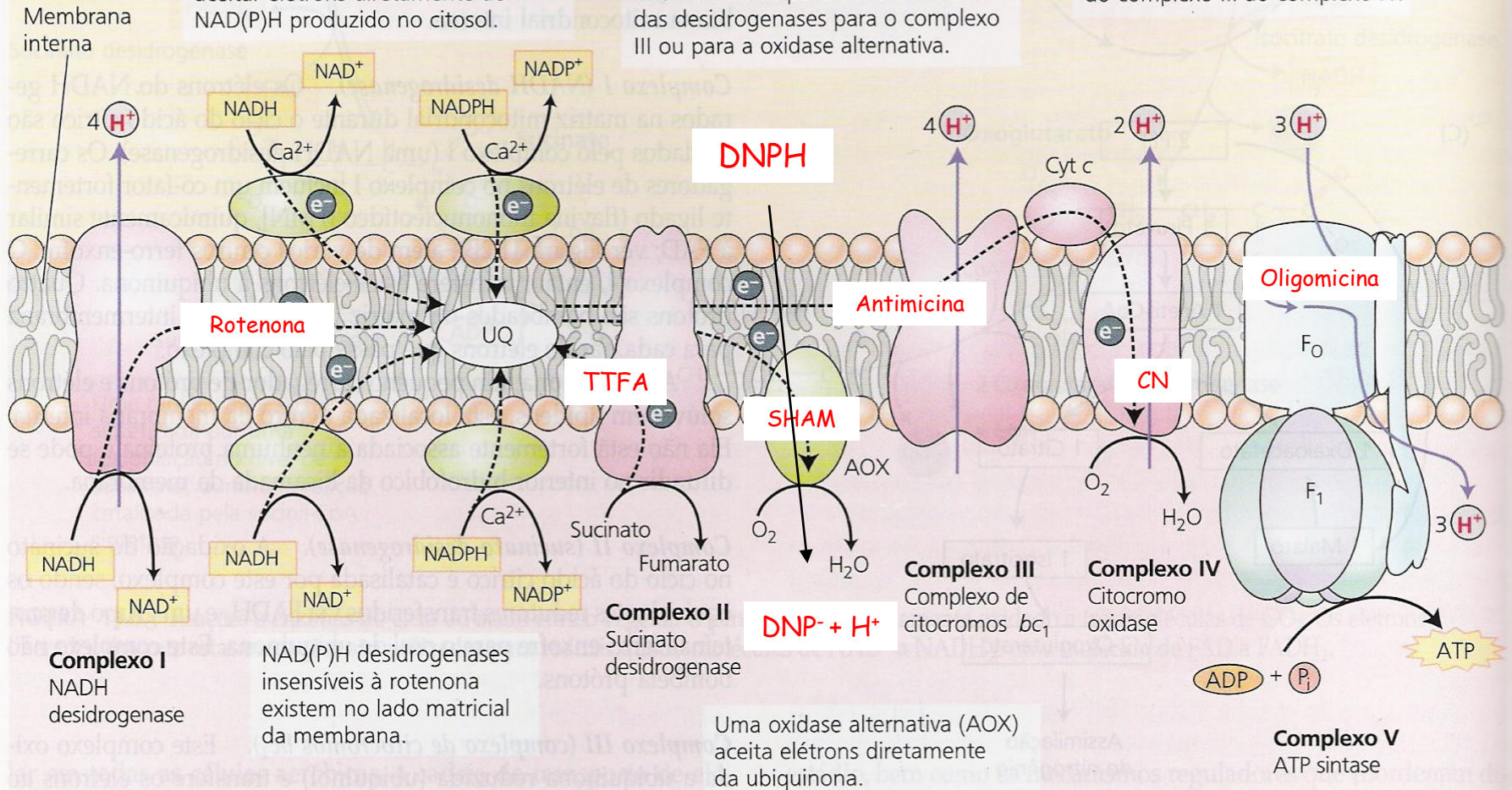
Figure 11.1 Structures and reactions of the major cofactors involved in respiratory bioenergetics. (A) Conversion of ADP and P_i to ATP. (B) Reduction of NAD(P)^+ to NAD(P)H . (C) Reduction of FAD to FADH_2 .

ESPAÇO INTERMEMBRANA

NAD(P)H desidrogenases externas (insensíveis à rotenona) podem aceitar elétrons diretamente do NAD(P)H produzido no citosol.

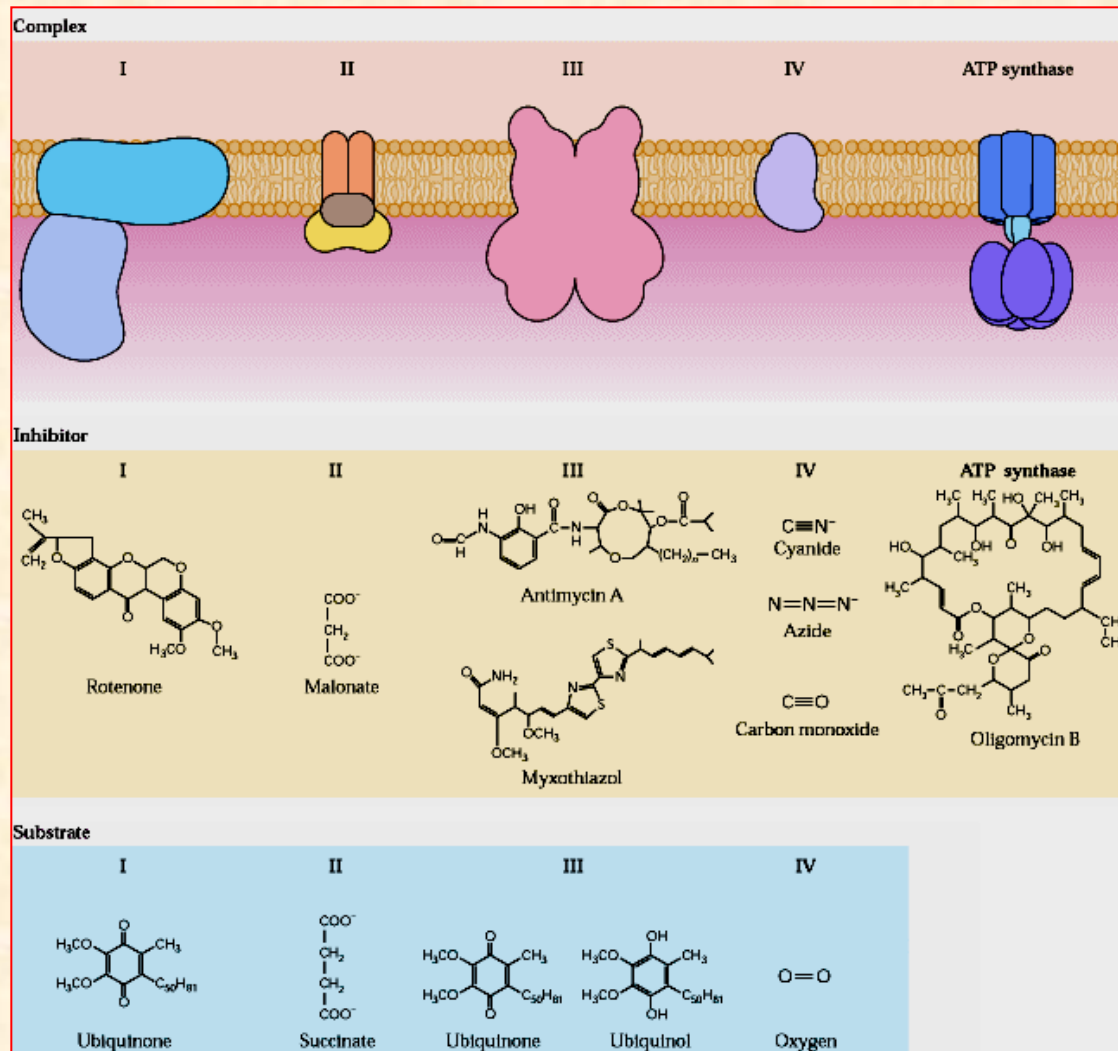
O pool de ubiquinona difunde-se livremente dentro da membrana interna e serve para transferir elétrons para o complexo III ou para a oxidase alternativa.

O citocromo c é uma proteína periférica que transfere elétrons do complexo III ao complexo IV.

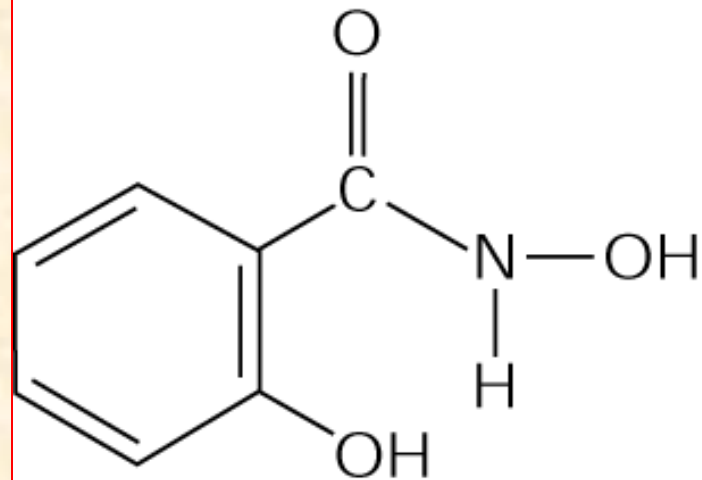


MATRIZ

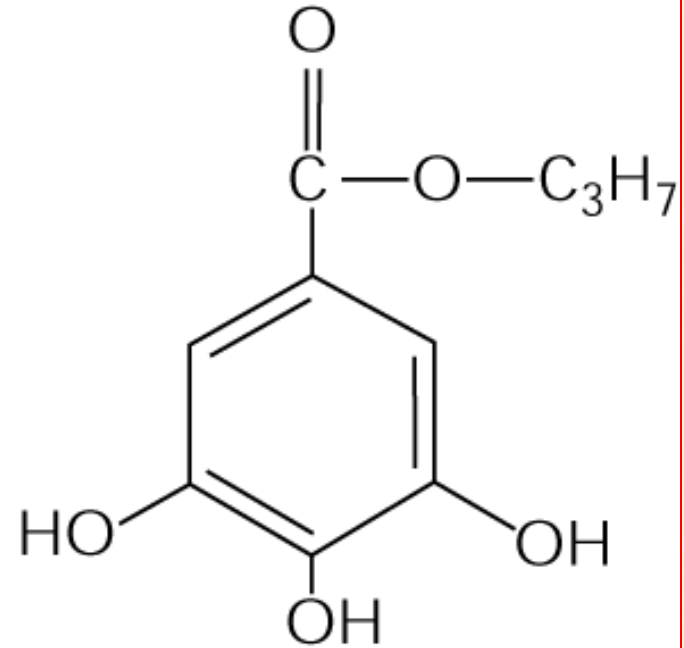
FIGURA 11.8 Organização da cadeia de transporte de elétrons e síntese de ATP na membrana interna das mitocôndrias vegetais. Além dos cinco complexos protéicos padrões encontrados em quase todas as outras mitocôndrias, a cadeia de transporte de elétrons das mitocôndrias vegetais contém cinco enzimas adicionais, marcadas de verde. Nenhuma destas enzimas adicionais bombeia prótons. Inibidores específicos, rotenona para o complexo I, antimicina para o complexo III, cianeto para o complexo IV e ácido salicílico-hidroxâmico (SHAM) para a oxidase alternativa, são importantes ferramentas na investigação da cadeia de transporte de elétrons das mitocôndrias vegetais.



Inibidores de fluxo de elétrons e substratos da CTE das mitocôndrias



**Salicylhydroxamic acid
(SHAM)**



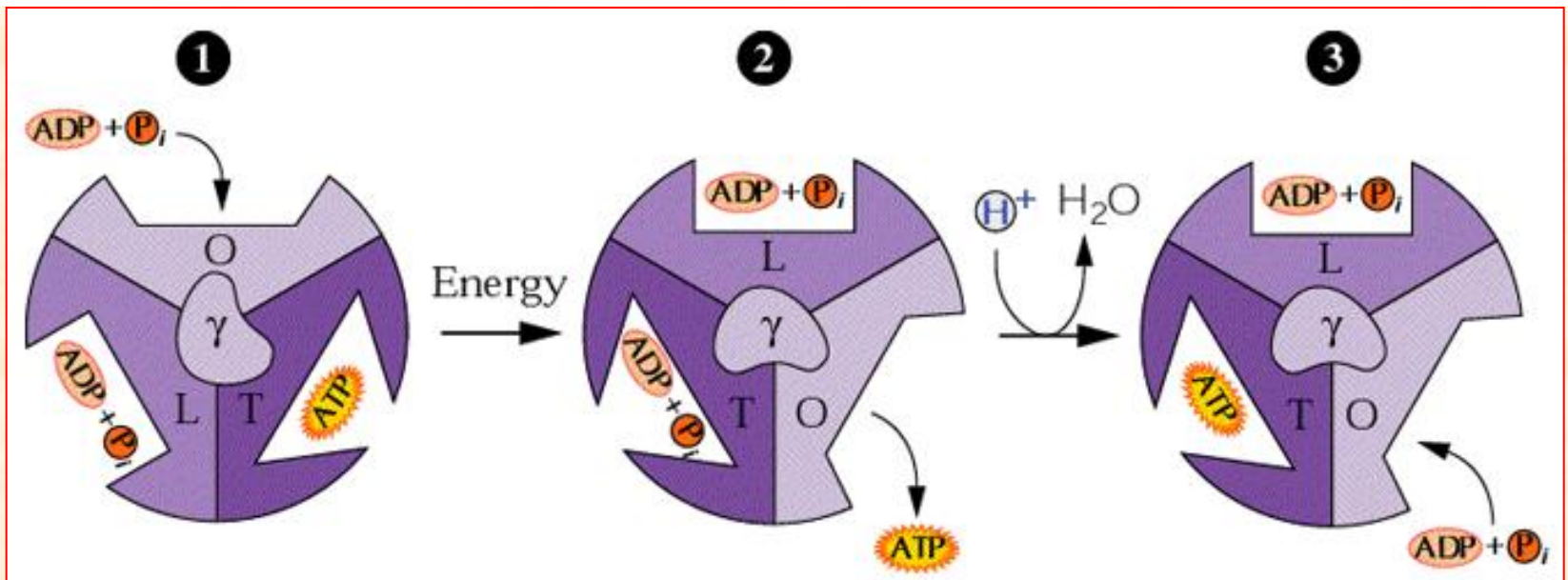
***n*-Propylgallate**

Figure 14.27

Structures of salicylhydroxamic acid (SHAM) and *n*-propylgallate, inhibitors of the alternative oxidase.

Mecanismo Catalítico para Síntese de ATP (Boyer, 1993):

Segundo o mecanismo proposto, três sítios catalíticos na porção CF_1 da ATPase interagem cooperativamente, alternando entre uma ligação apertada (T), ligação solta (L) e estados não ligados (O) durante um ciclo catalítico. Na síntese de ATP, a energia da força próton motora é utilizada para induzir mudanças estruturais que provocam a liberação do ATP do sítio apertado (**T = tight**), transformando-o em um sítio aberto (**O = open**). Acoplado a este evento, o sítio solto (**L = loose**), que contém ADP+Pi ligados, transforma-se em um sítio apertado e o sítio aberto que foi desocupado liga ADP+Pi para se tornar um sítio solto.





Peter Mitchell (1920-1982)

**Nobel de Química em 1978 pela
proposta da
“Teoria Quimiosmótica”**

*“Gradientes de potencial eletroquímicos
formados entre
membranas semi-permeáveis
geram força motriz para
síntese de ATP”*

“ Força próton-motora = ΔH^+ ”

Potencial de Oxido-redução (E_m , volts) de componentes da CTE da respiração

O fluxo de elétrons ocorre sempre de compostos de menor potencial redox (E_m) para compostos de maior E_m

NADH – Agente redutor da CTE
O₂ – Agente oxidante da CTE

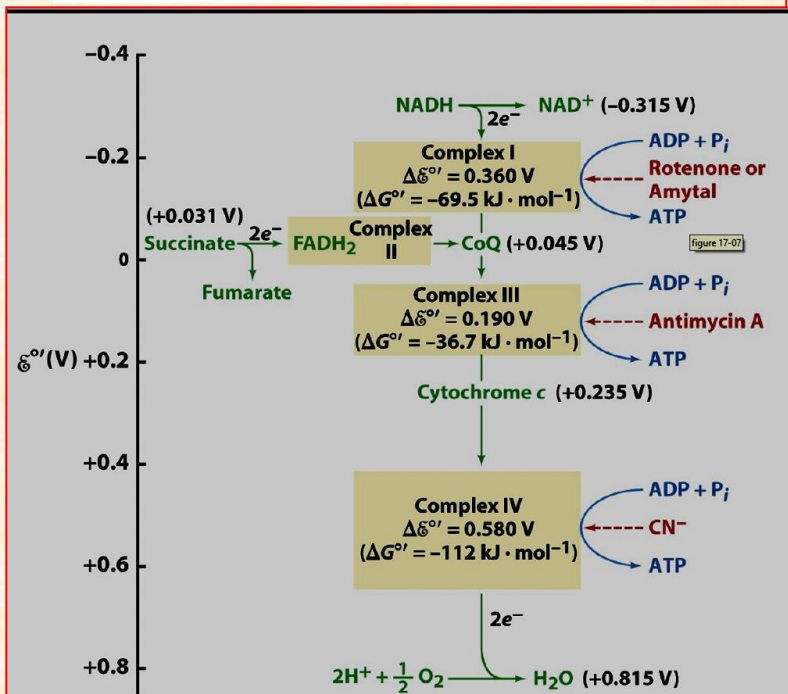
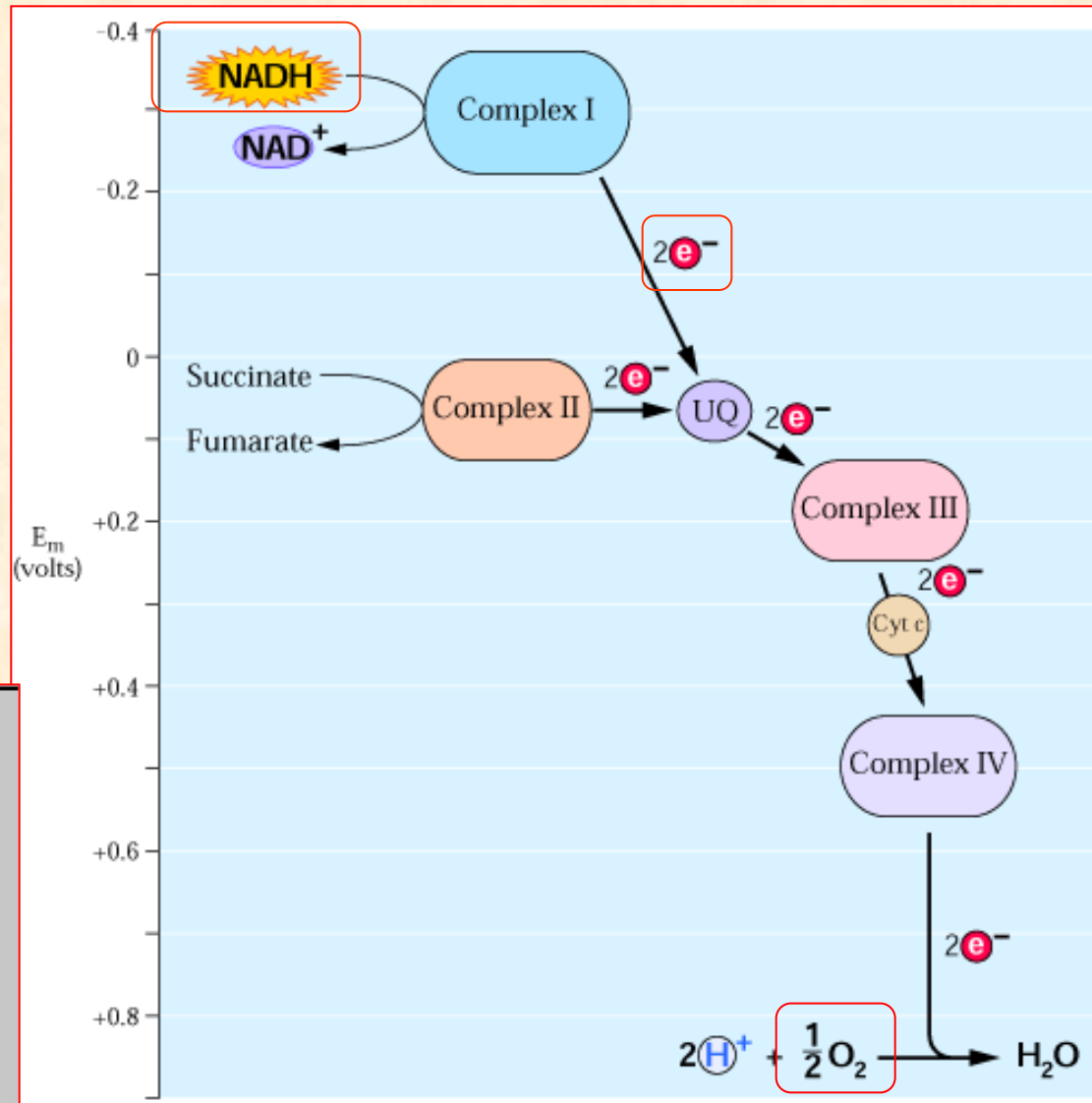


Figure 17-7 Fundamentals of Biochemistry, 2/e © 2006 John Wiley & Sons

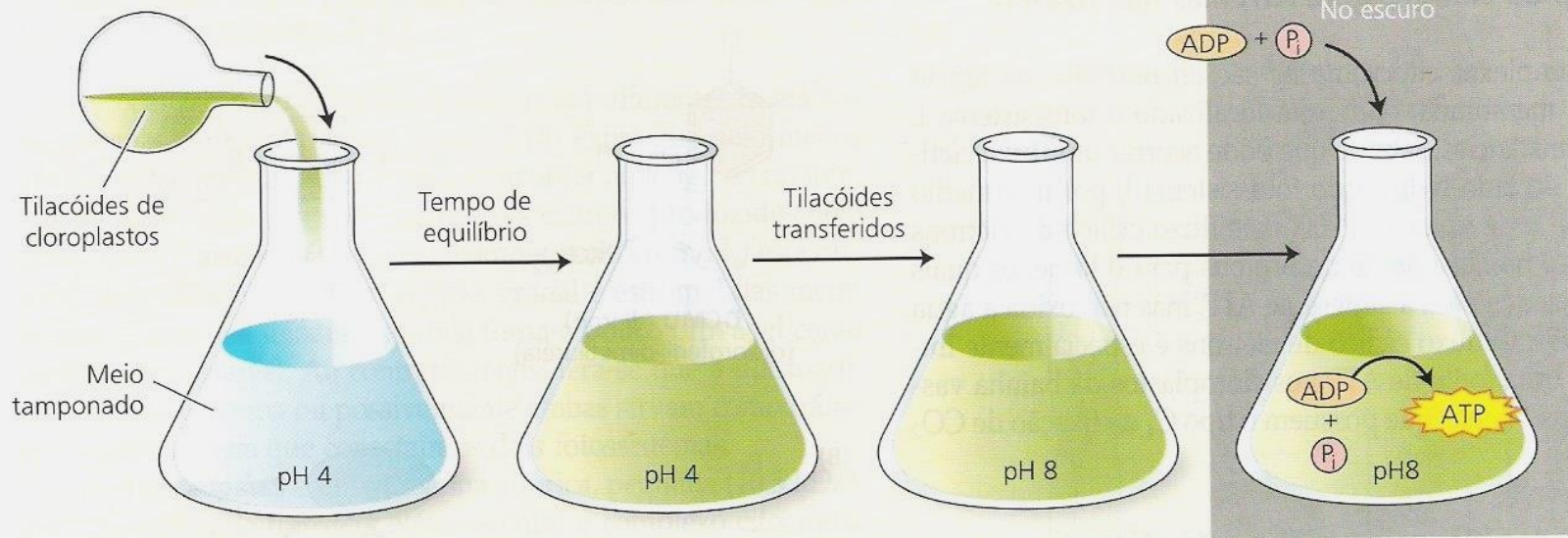


FIGURA 7.32 Resumo do experimento realizado por Jagendorf e colaboradores. Os tilacóides isolados de cloroplastos e mantidos previamente em pH 8 são equilibrados em um meio ácido em pH 4. Os tilacóides são, então, transferidos para um tampão em pH 8 contendo ADP e P_i . O gradiente de prótons gerado por esta manipulação forneceu uma força propulsora para a síntese de ATP na ausência da luz. Este experimento confirmou as predições da teoria quimiosmótica segundo a qual um potencial químico através da membrana pode fornecer energia para a síntese de ATP.

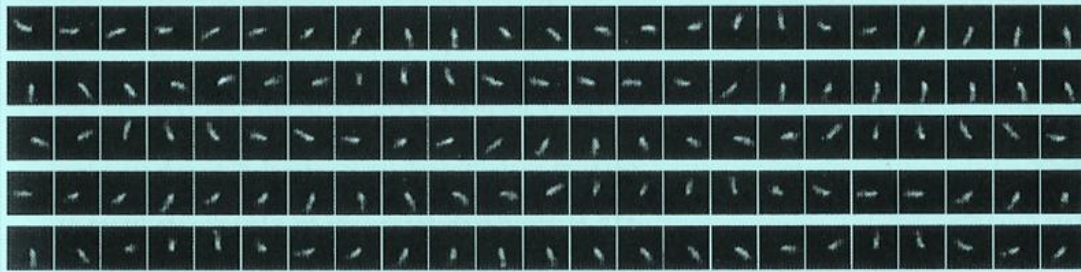


Figure 3
Sequential images of the rotating actin filament attached to the γ subunit, as viewed in a fluorescence microscope. (From Noji et al. 1997, courtesy of S. Noji.)

nous method to make the enzyme much larger than it is (Noji et al. 1997). As Figure 2 shows, they attached an actin filament labeled with a fluorescent dye to the base of the γ subunit using another protein as a "glue." They then attached the F_1 complex upside down to a glass surface. If the γ subunit rotates with respect to the catalytic complex, the actin filament should swing around with it. Since the filament is very long compared to the ATPase (about $1\ \mu\text{m}$), its rotation should be visible in a fluorescence microscope. In other words,

the fluorescently tagged actin filament, which is large enough to visualize in a light microscope, reports the rotation of the γ subunit.

The results were spectacular! When ATP was added to the modified enzyme, the actin filaments were seen to swing around in a circle at about 4 revolutions per second in a fluorescence microscope (Figure 3). To give some idea of scale, if you were a γ subunit, this rotation rate would be equivalent to swinging a rope 60 m long around your head at 4 revolutions per second. However, the mea-

sured velocity is undoubtedly an underestimate of the actual velocity *in vivo*, because of the enormous torque required to swing such a large mass.

Demonstration of the rotary motion of the γ subunit made it possible to put together a model of how the ATP synthase works (Figure 4). For their contributions to elucidation of the mechanism of ATP synthesis, Paul Boyer and John Walker shared the Nobel prize in medicine in 1997.

Figure 4 Model of the F_0F_1 -ATPase, showing the attachment of the catalytic complex to the membrane via the b subunit and the δ subunit. When the reaction runs in reverse (ATP synthesis), protons diffuse through the F_0 complex down their electrochemical gradient. The movement of protons through the channel drives the rotation of the entire F_0 complex within the membrane. The γ subunit, which is attached to the F_0 complex, then turns within the catalytic complex, causing the conformational changes that are required for ATP synthesis. It is assumed that the catalytic complex itself does not rotate, but is anchored to the membrane. The δ subunit is located on the outside of the β subunit and serves as the site of attachment of the b subunit, which anchors the catalytic complex to the membrane and prevents it from spinning. In mechanical terms, the F_1 complex and its membrane anchor act as a stationary housing, or "stator," while γ subunit (and possibly the F_0 complex) serves as the "rotor." (From Junge et al. 1997.)

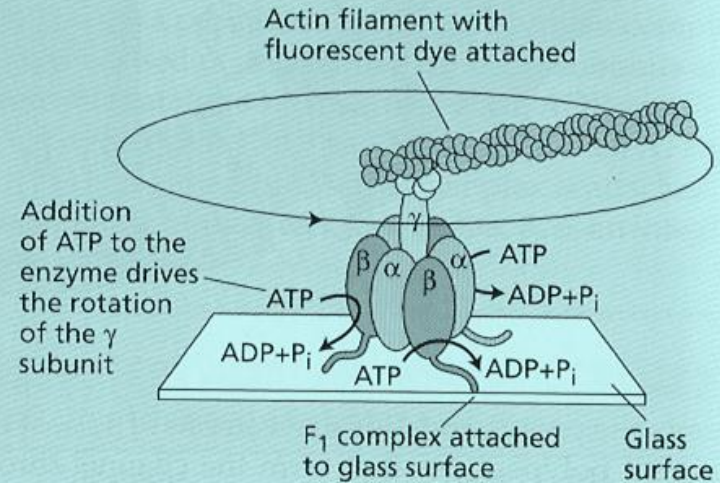
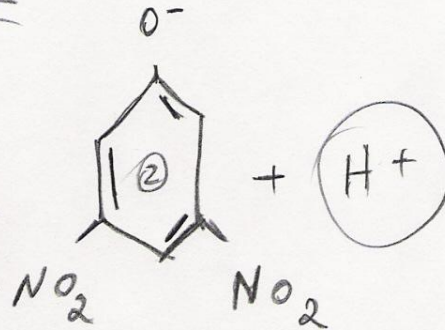
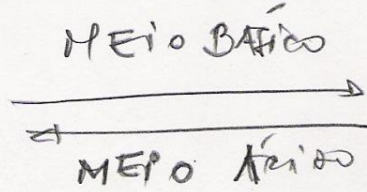
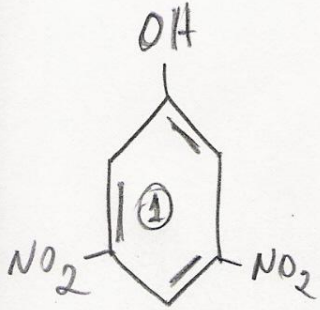
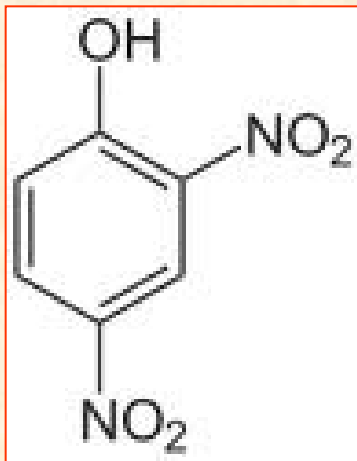


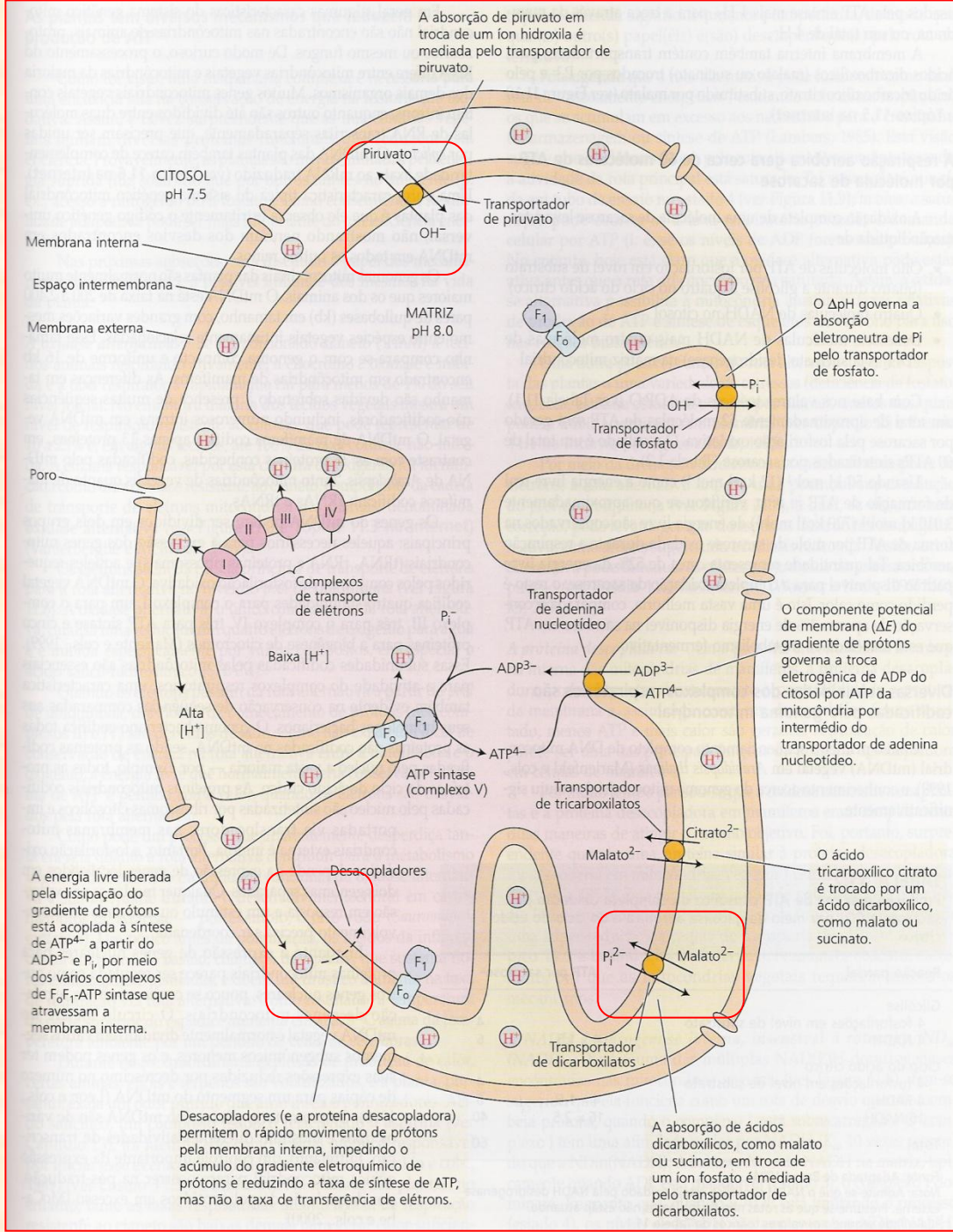
Figure 2 A method for visualizing rotation of the γ subunit. A fluorescently labeled actin filament was attached to one protruding end of the γ subunit. The F_1 complex was then attached upside down to a coverslip. When ATP was added to the coverslip, the actin filament rotated. (After Noji et al. 1997.)

Dinútrio fenol



① → Ionoforo → penetra na membrana celular e encontra o pH da matriz bñica. sofre dissociaçãõ liberando H^+ que destroem o gradiente de potencial eletroquímico





Rendimento da respiração aeróbia (por molécula de glicose):

Quantidade produzida	Local	Rendimento	Total Parcial
⇒ 2 ATP ao nível de substrato	Glicólise	-	2 ATP
⇒ 2 ATP ao nível de substrato	Ciclo de Krebs	-	2 ATP
⇒ 2 moléculas de NADH	Glicólise	2 x <u>2</u> ATPs	4 ATP
⇒ 8 moléculas de NADH	Ciclo de Krebs	8 x <u>3</u> ATPs	24 ATP
⇒ 2 moléculas de FADH ₂	Ciclo de Krebs	2 x <u>2</u> ATPs	4 ATP
		<i>Saldo Total</i>	36 ATP

1 ATP = -11 a -13 Kcal/mol

1H⁺ = - 5,06 Kcal/mol

3H⁺ = -15 Kcal/mol

Portanto:

3 H⁺ correspondem a 1 ATP

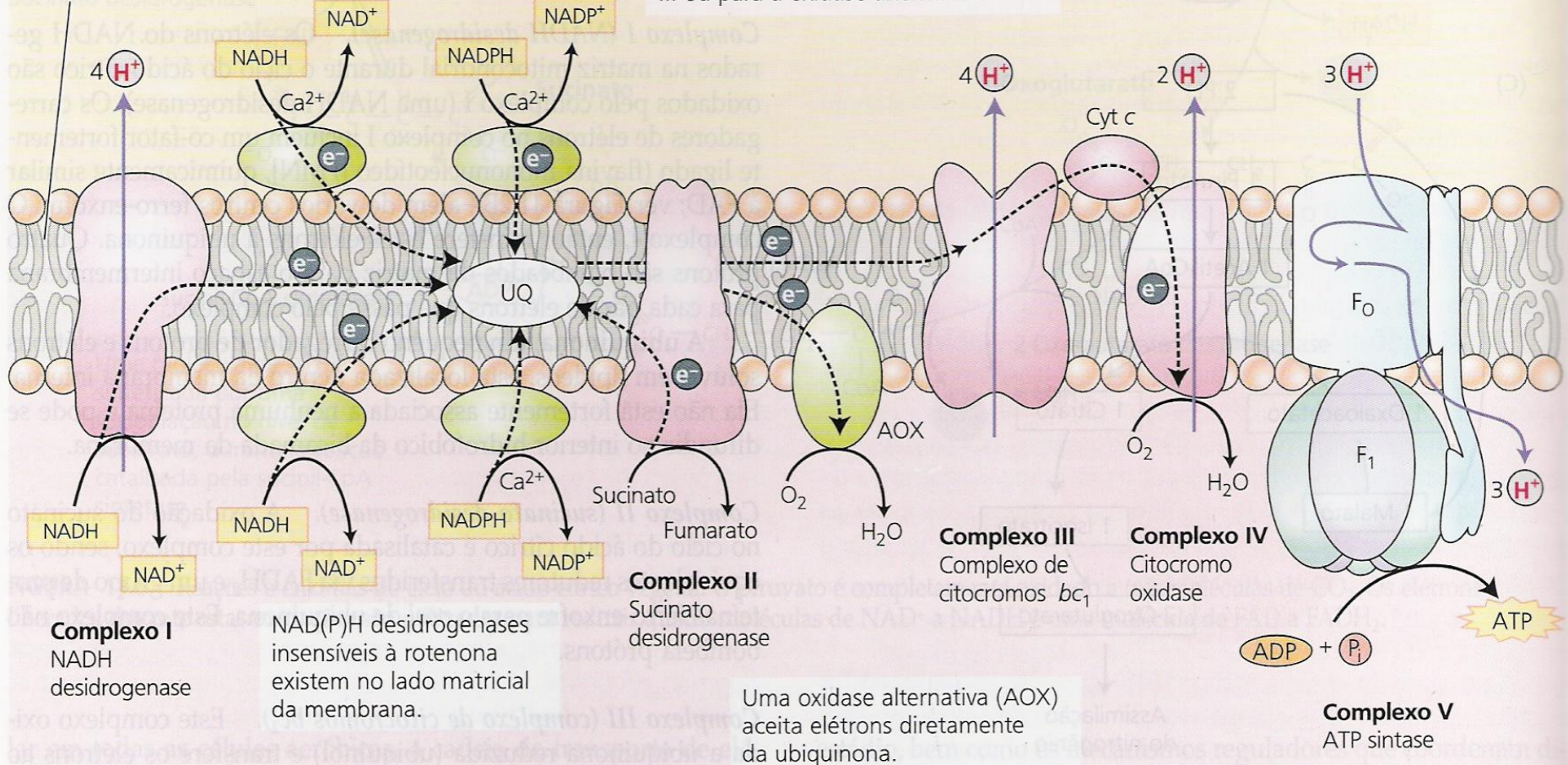
ESPAÇO INTERMEMBRANA

NAD(P)H desidrogenases externas (insensíveis à rotenona) podem aceitar elétrons diretamente do NAD(P)H produzido no citosol.

O pool de ubiquinona difunde-se livremente dentro da membrana interna e serve para transferir elétrons para o complexo III ou para a oxidase alternativa.

O citocromo c é uma proteína periférica que transfere elétrons do complexo III ao complexo IV.

Membrana interna



MATRIZ

Uma oxidase alternativa (AOX) aceita elétrons diretamente da ubiquinona.

TABELA 11.1

Razões ADP: O teóricas e experimentais em mitocôndrias vegetais isoladas

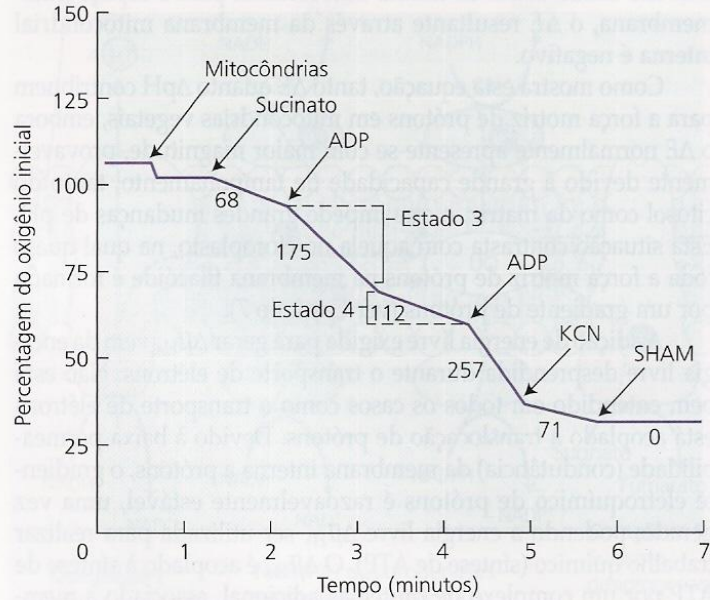
Substrato	Razão ADP:O	
	Teórica ^a	Experimental
Malato	2,5	2,4-2,7
Sucinato	1,5	1,6-1,8
NADH (externo)	1,5	1,6-1,8
Ascorbato	1,0 ^b	0,8-0,9

^aAdmite-se que os complexos I, III e IV bombeiam 4,4 e 2H⁺ por 2 elétrons, respectivamente; que o custo de sintetizar um ATP e exportá-lo ao citosol é de 4H⁺ (Brand, 1994) e que as rotas não fosforilantes não estão ativas.

^bA citocromo c oxidase bombeia apenas dois prótons quando ela é medida com o ascorbato como doador de elétrons. No entanto, dois elétrons movem-se da superfície externa da membrana interna (onde os elétrons são doados), ao longo da membrana interna, para o lado de dentro, matricial. Como resultado, 2H⁺ são consumidos no lado matricial, o que isto significa que o movimento líquido de H⁺ e de cargas é equivalente ao movimento de um total de 4H⁺, resultando em uma razão ADP:O de 1,0.

1. A adição de succinato inicia a transferência de elétrons mitocondrial, a qual é medida com um eletrodo de oxigênio como a taxa de redução de oxigênio (a H_2O).

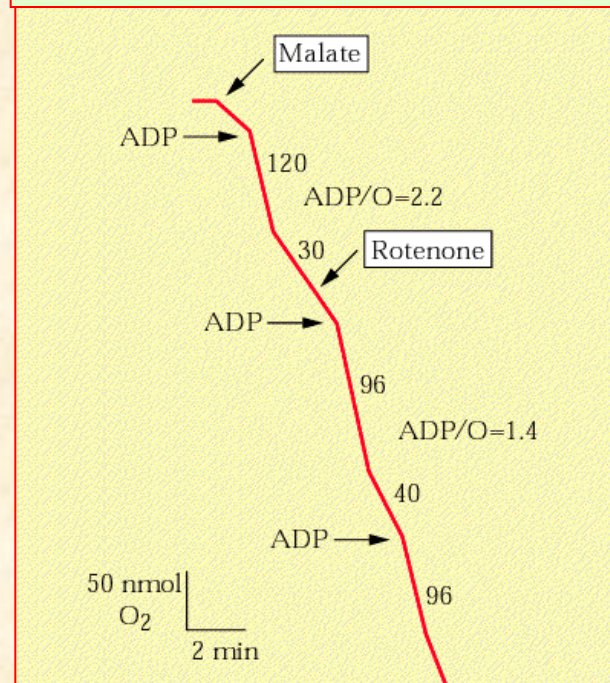
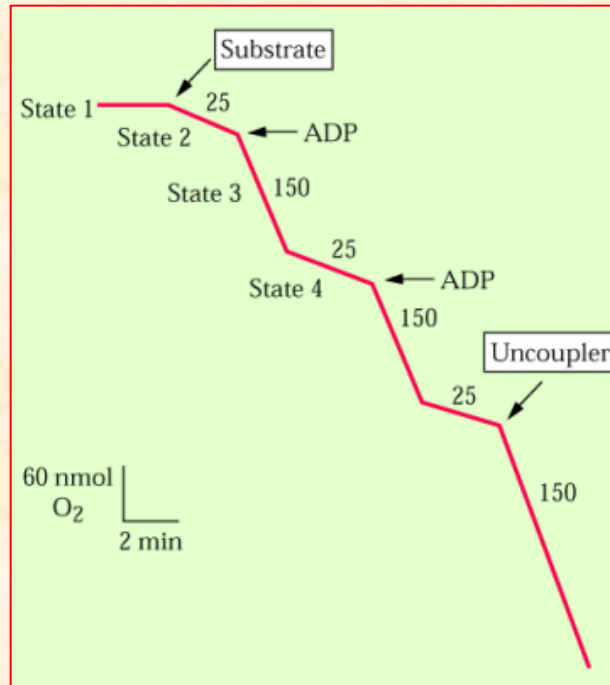
2. A adição de cianeto inibe o fluxo de elétrons por meio da principal rota dos citocromos e somente permite o fluxo de elétrons até o oxigênio via rota alternativa resistente ao cianeto, que é subsequente inibida pela adição de SHAM.



3. A adição de ADP estimula a transferência de elétrons (estado 3), facilitando a dissipação do gradiente eletroquímico de prótons.

4. Quando todo o ADP foi convertido a ATP, a transferência de elétrons reverte para uma taxa menor (estado 4).

FIGURA 11.9 Regulação da taxa respiratória por ADP durante a oxidação do succinato em mitocôndrias isoladas de *Vigna radiata*. Os números abaixo dos traços são as taxas de consumo de oxigênio expressas como O_2 consumido ($nmol \cdot min^{-1} \cdot mg \cdot prote\acute{i}na^{-1}$) (cedido por Steven J. Stegink).

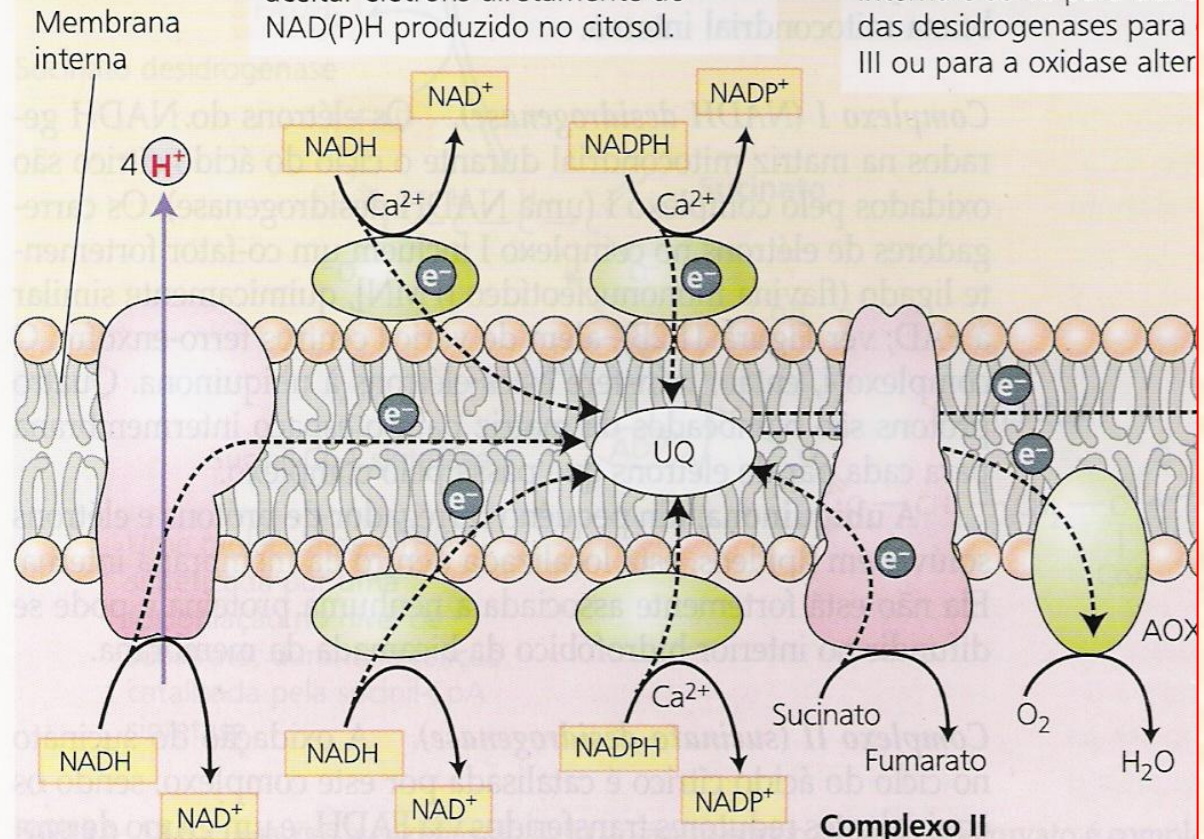


Oxidase Alternativa

ESPAÇO INTERMEMBRANA

NAD(P)H desidrogenases externas (insensíveis à rotenona) podem aceitar elétrons diretamente do NAD(P)H produzido no citosol.

O pool de ubiquinona difunde-se livremente dentro da membrana interna e serve para transferir elétrons das desidrogenases para o Complexo III ou para a oxidase alternativa.



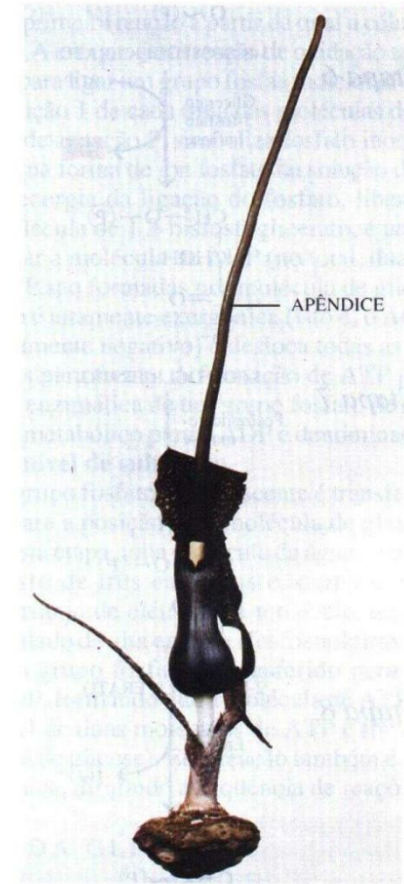
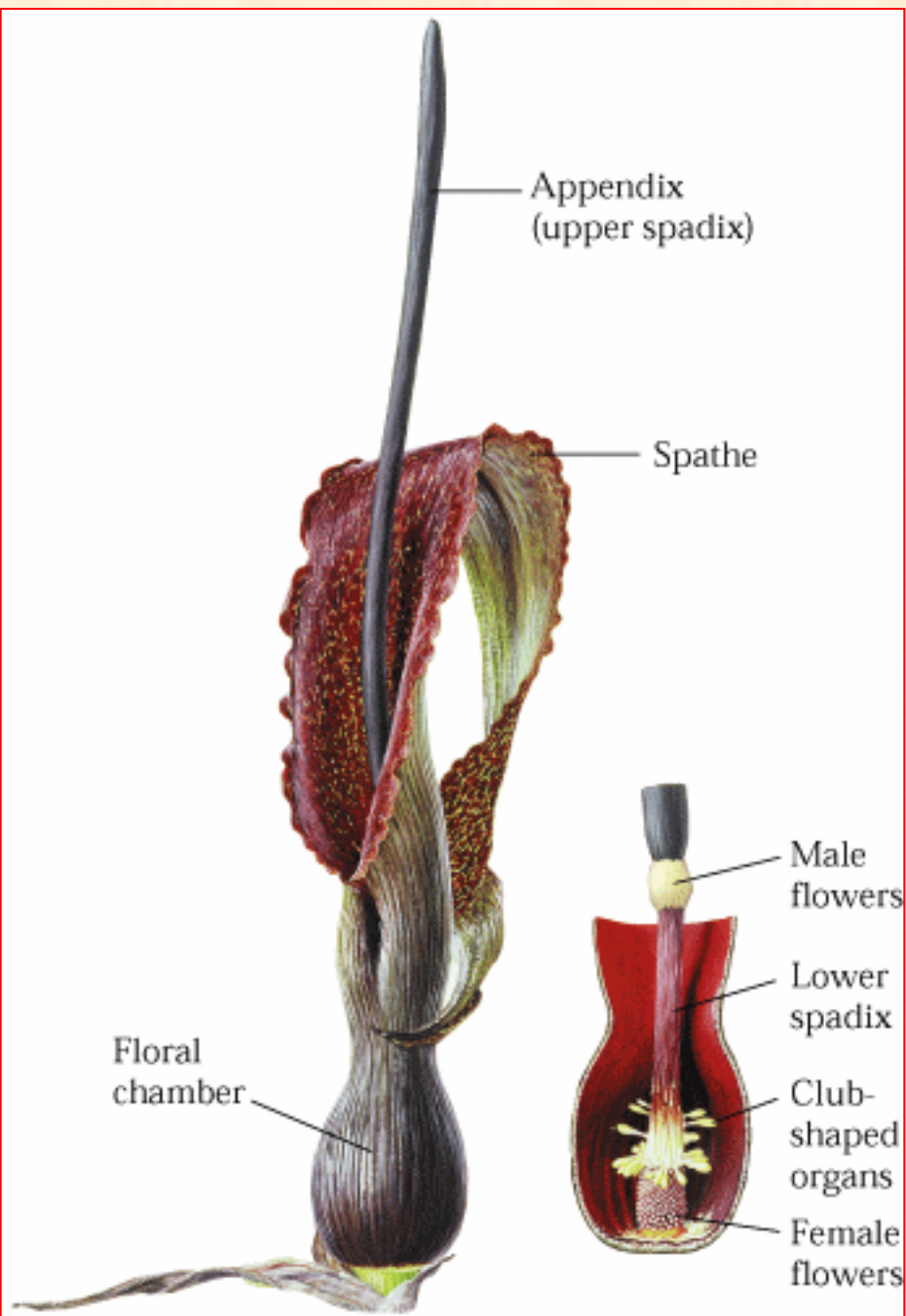
Complexo I
NADH desidrogenase

NAD(P)H desidrogenases insensíveis à rotenona existem no lado matricial da membrana.

Complexo II
Sucinato desidrogenase

Uma oxidase alternativa aceita elétrons diretamente da ubiquinona.

MATRIZ



6.2

Na planta voodoo lily (*Sauromatum guttatum*), a termogênese pode resultar num grande incremento de temperatura da ordem de 14°C e num consumo de oxigênio tão elevado quanto o de um beija-flor em vôo. A liberação "explosiva" de calor funciona como um agente "volatilizador" de odores florais estimulatórios que atraem insetos polinizadores, tais como besouros vira-esterco e moscas varejeiras. O sítio primário de produção tanto de calor quanto de odor é o longo apêndice nu que se projeta a partir da câmara floral, local onde os polinizadores ficam temporariamente aprisionados. Um dia depois, uma segunda "explosão" dentro da câmara floral estimula a atividade destes insetos. Ao mesmo tempo, as flores masculinas derrubam o seu pólen. Esta seqüência de eventos resulta na polinização das flores femininas. A inflorescência então murcha e os insetos ficam livres para escapar e realizar a polinização cruzada em outras inflorescências.

Arum Titam - Amorphophalus



Symplocarpus foetidus - Repolho-gambá



© 2001 Eleanor Saulys

