

# Respiração

Prof. Ricardo Alfredo Kluge

ESALQ/USP

[rakluge@usp.br](mailto:rakluge@usp.br)

# TROCAS GASOSAS – DIA



# TROCAS GASOSAS – NOITE



# RESPIRAÇÃO

- **Conceito**

É a quebra oxidativa de substâncias complexas presente na célula (amido, açúcares, lipídios, proteínas, ácidos) em moléculas mais simples ( $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$ ), com produção de **energia** e outras moléculas utilizadas para reação de síntese

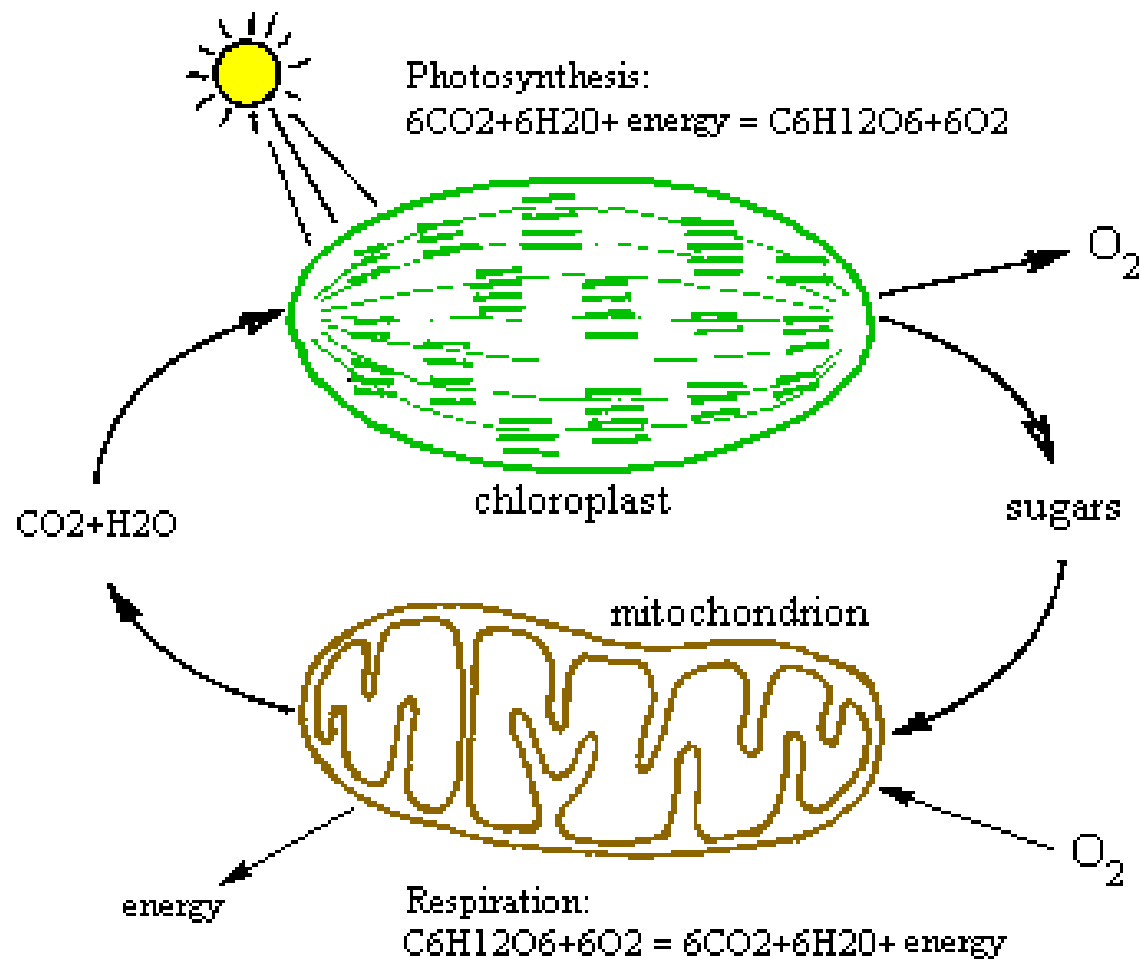
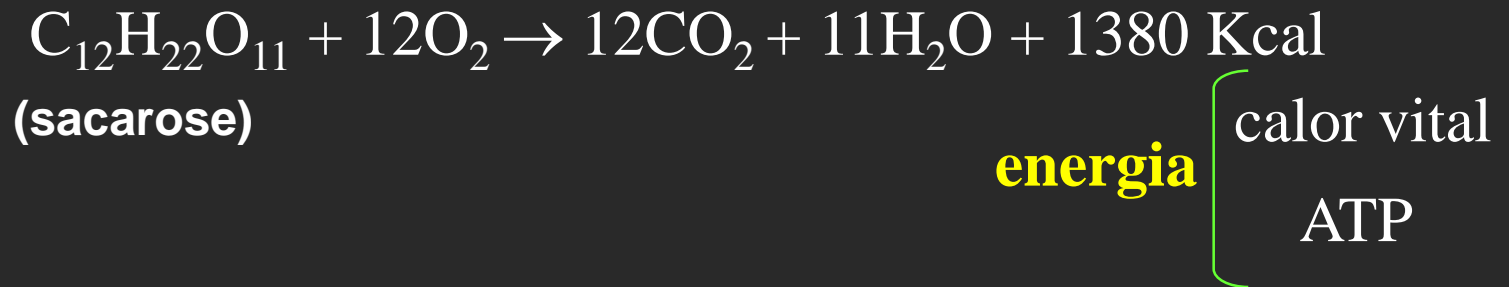


Figure 16 - With the photosynthesis, the solar energy is cumulated by the chloroplasts as sugar molecules. With the glycolysis and the respiration, made by mitochondria, the energy is liberated and supplied to the cell for its biochemical processes.

# RESPIRAÇÃO X FOTOSÍNTESE

- Enquanto apenas os tecidos verdes fazem fotossíntese, todos os tecidos da planta respiram, e durante as 24 horas do dia.
- Mesmo em tecidos fotossinteticamente ativos, a respiração consome boa parte da fotossíntese bruta.
- Tecidos que não fazem fotossíntese apenas respiram.

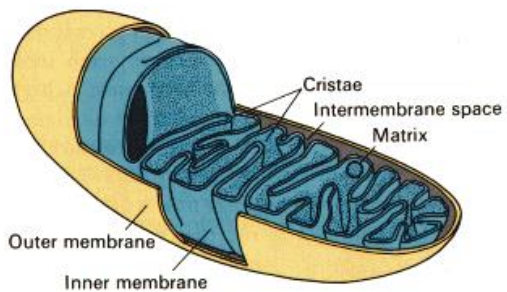
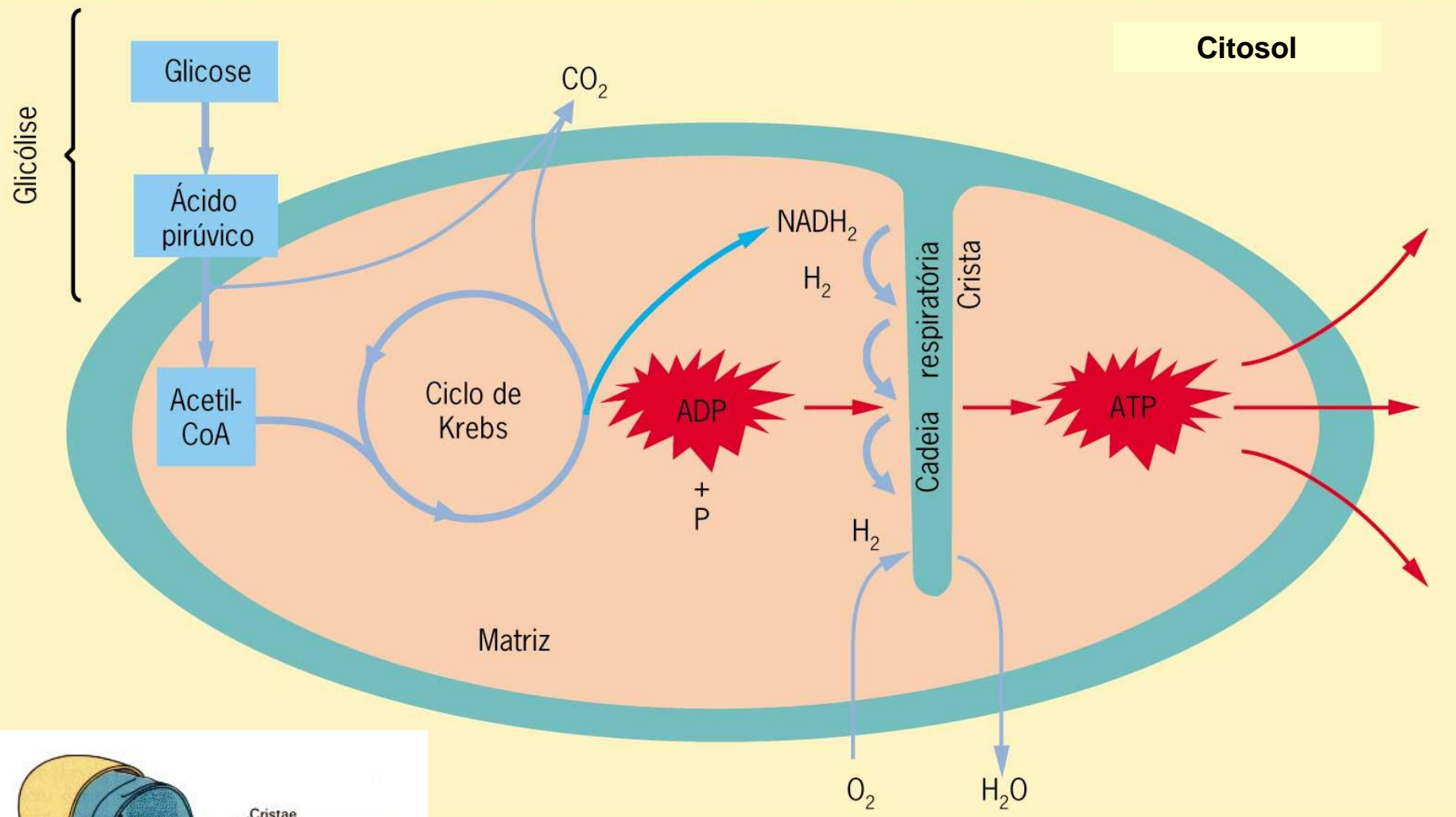
## Equação geral da respiração



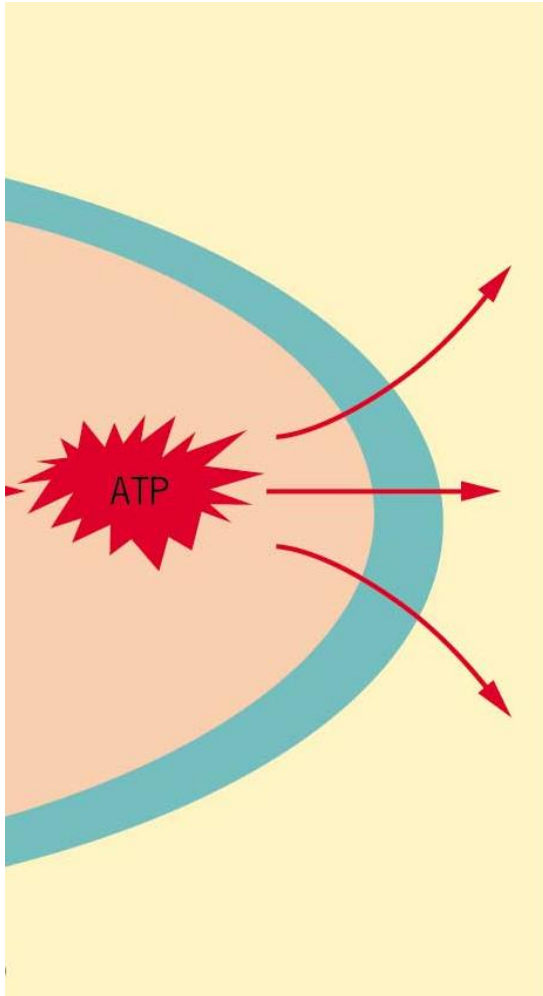
## Etapas da respiração

- Glicólise
- Rota das Pentoses-Fosfato
- Ciclo de Krebs (ciclo do ácido cítrico)
- Cadeia de transporte de elétrons

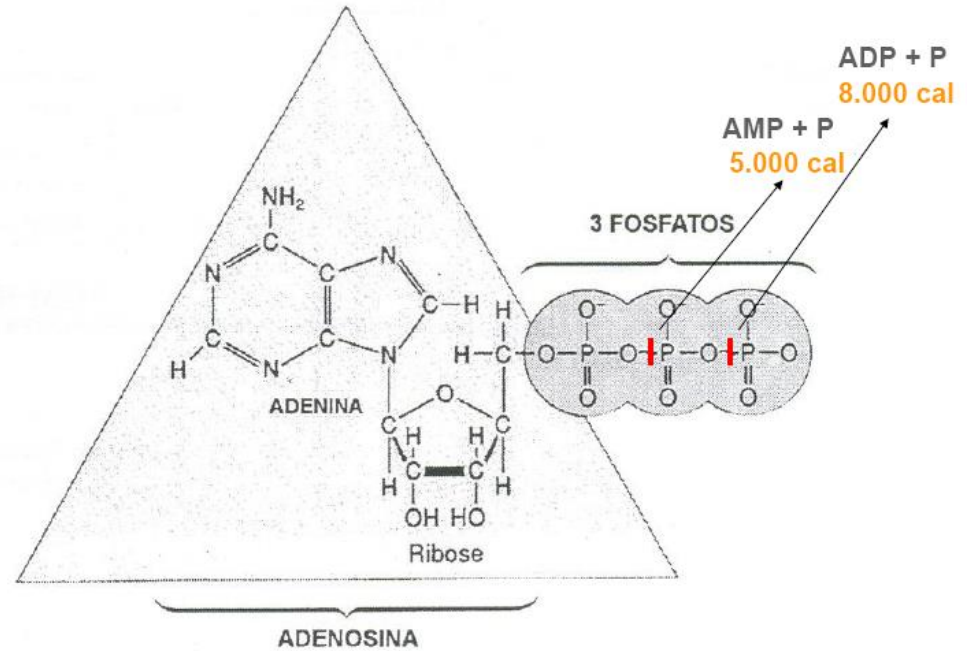
# Localização das etapas da respiração na mitocôndria







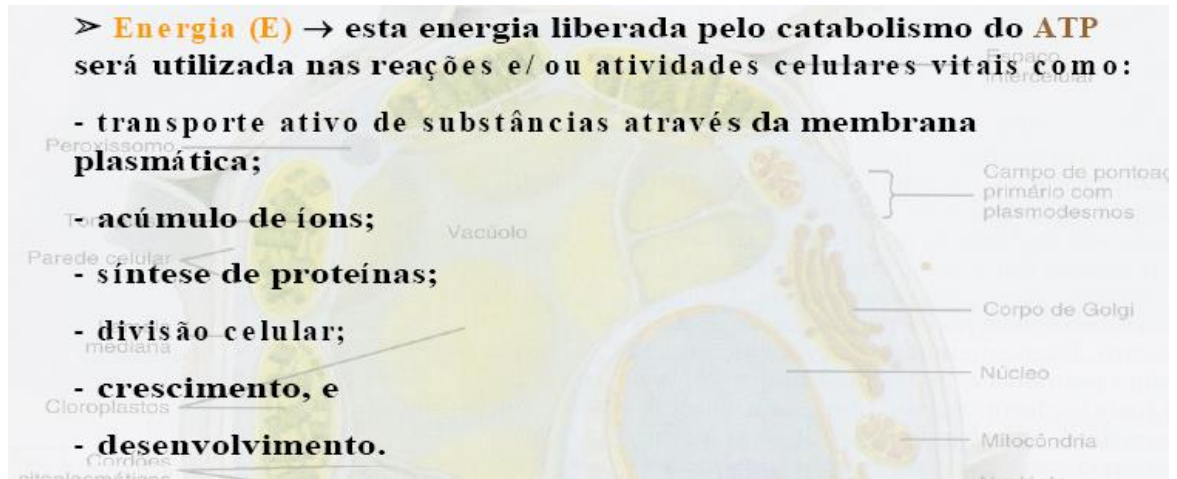
### ESTRUTURA DO ATP



Estrutura da molécula de ATP (Fonte: Moore & Clark, 1995).

➤ **Energia (E)** → esta energia liberada pelo catabolismo do ATP será utilizada nas reações e/ ou atividades celulares vitais como:

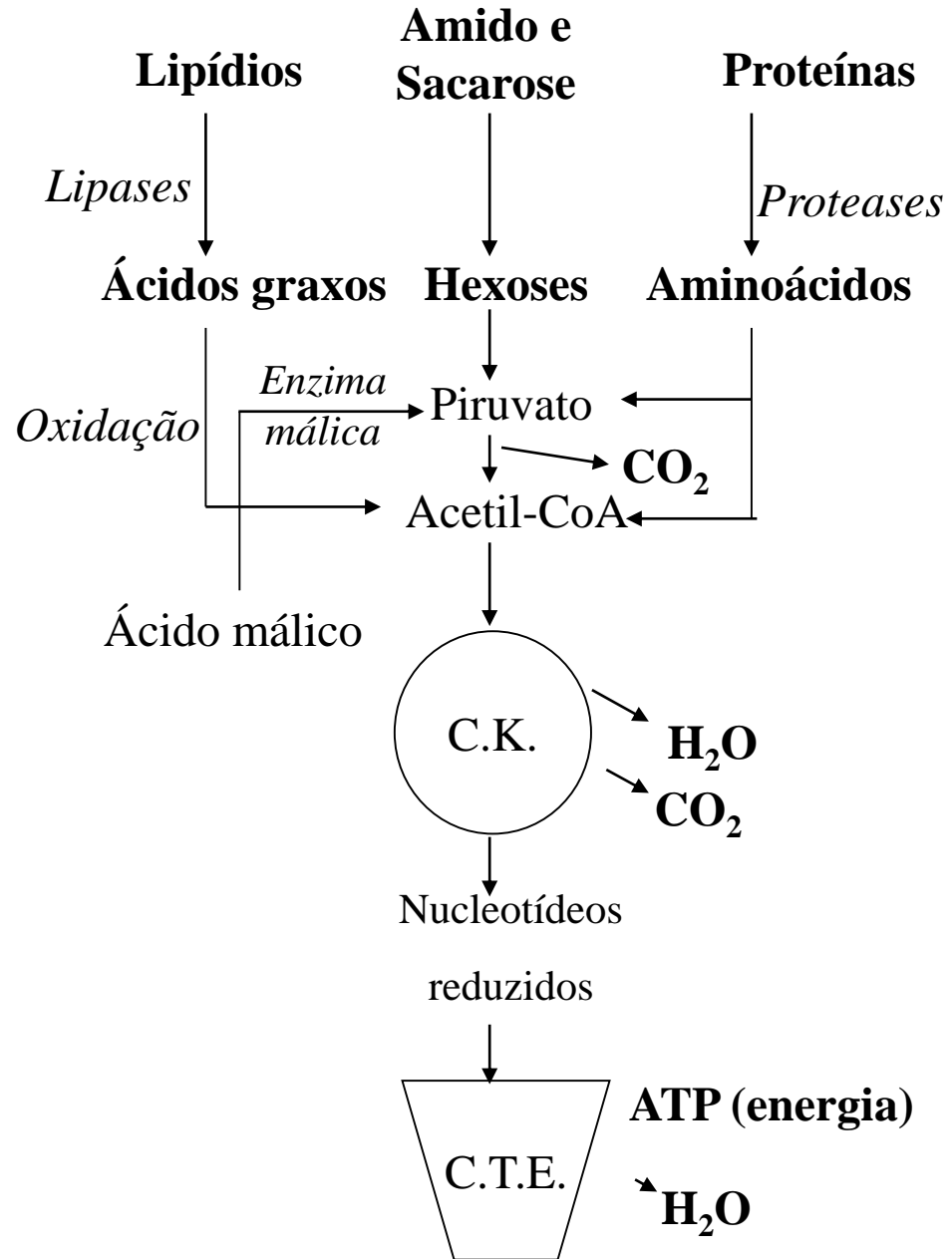
- transporte ativo de substâncias através da membrana plasmática;
- acúmulo de íons;
- síntese de proteínas;
- divisão celular;
- crescimento, e
- desenvolvimento.



# SUBSTRATOS RESPIRATÓRIOS

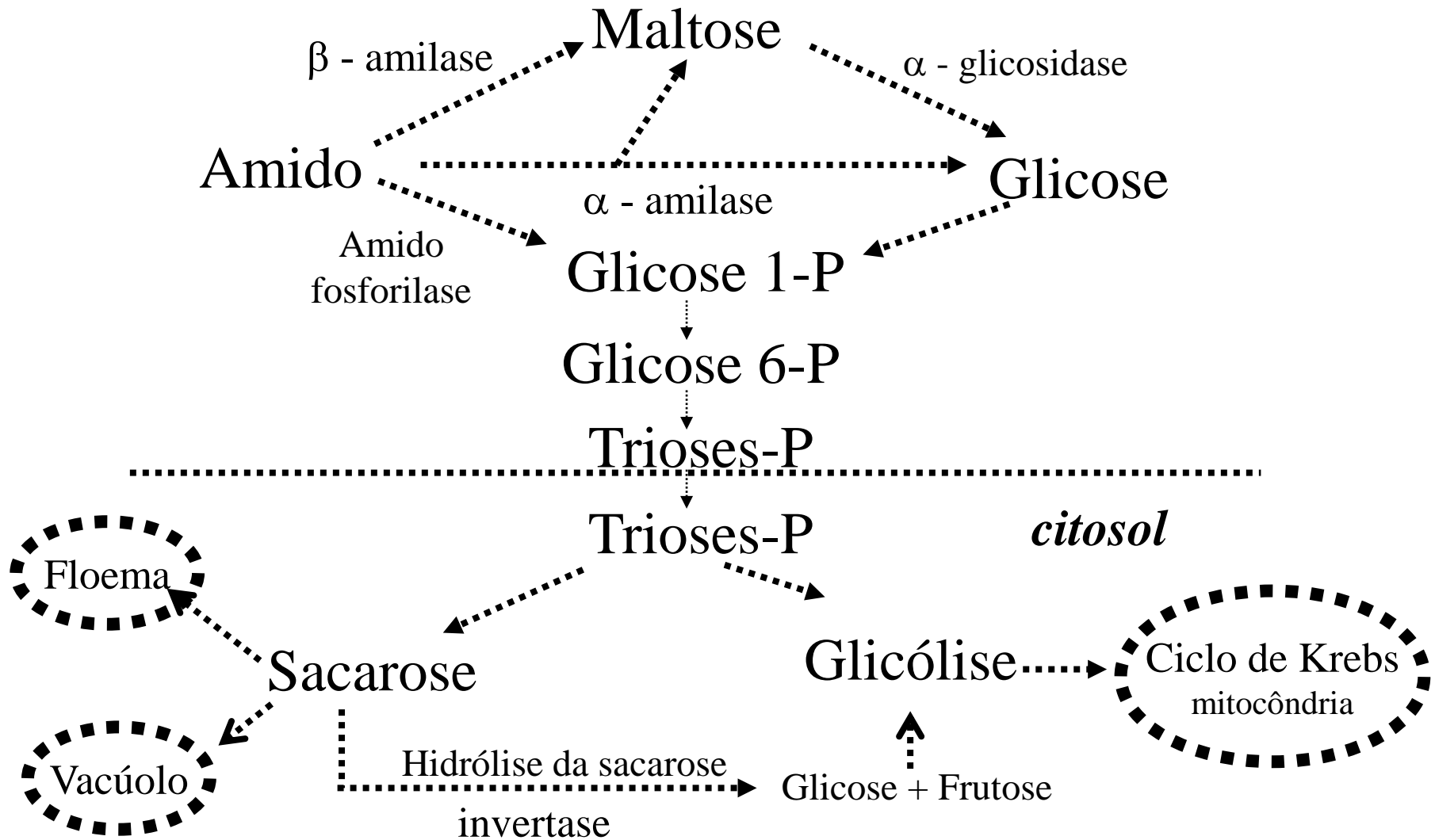
- Sacarose: principal substratos das plantas
- Glicose; frutose
- Amido
- Frutanos
- Lipídios (triacilgliceróis em sementes de oleaginosas)
- Proteínas (germinação de sementes)
- Ácidos orgânicos (ácido málico)

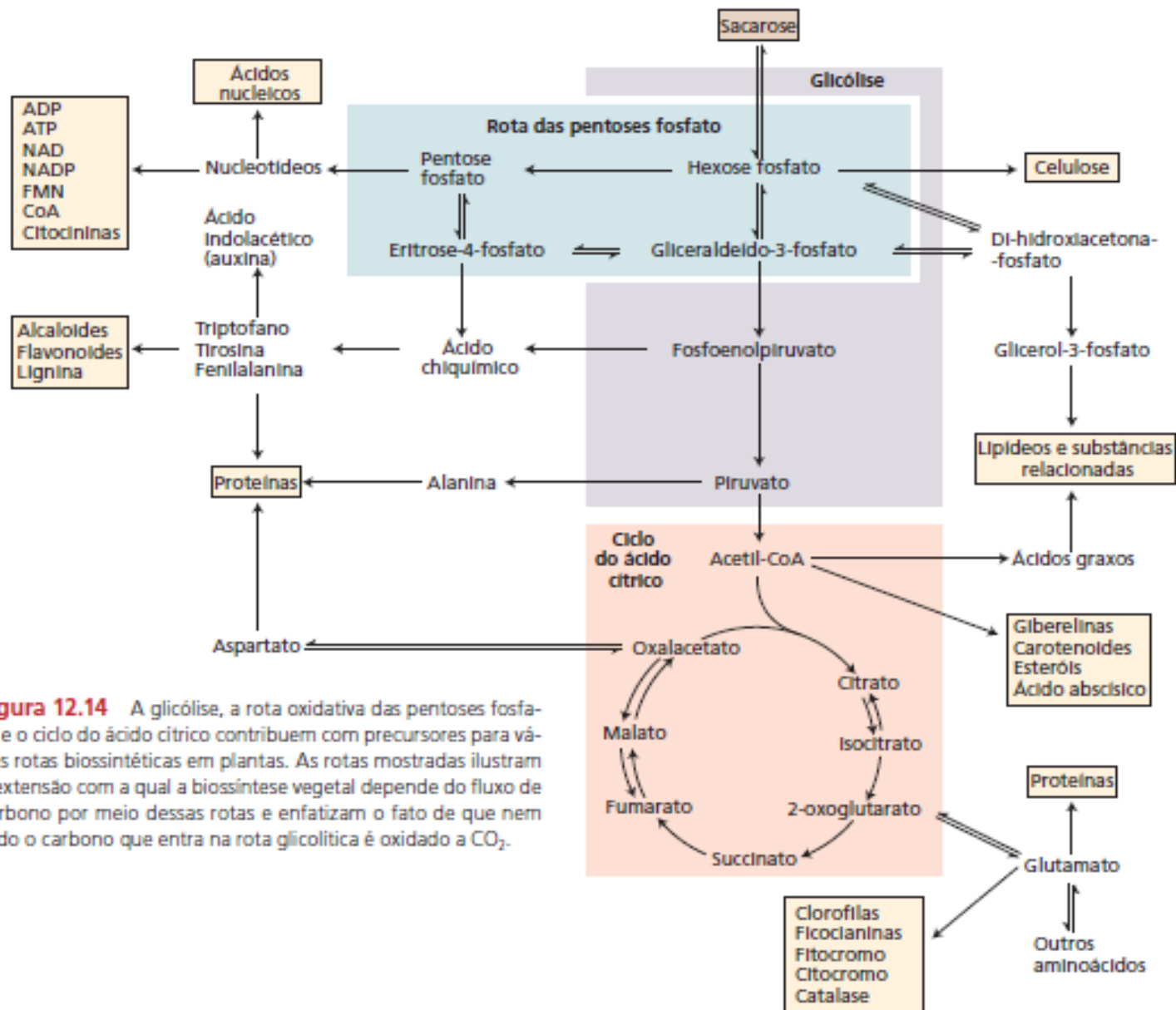
**SUBSTRATOS  
RESPIRATÓRIOS**



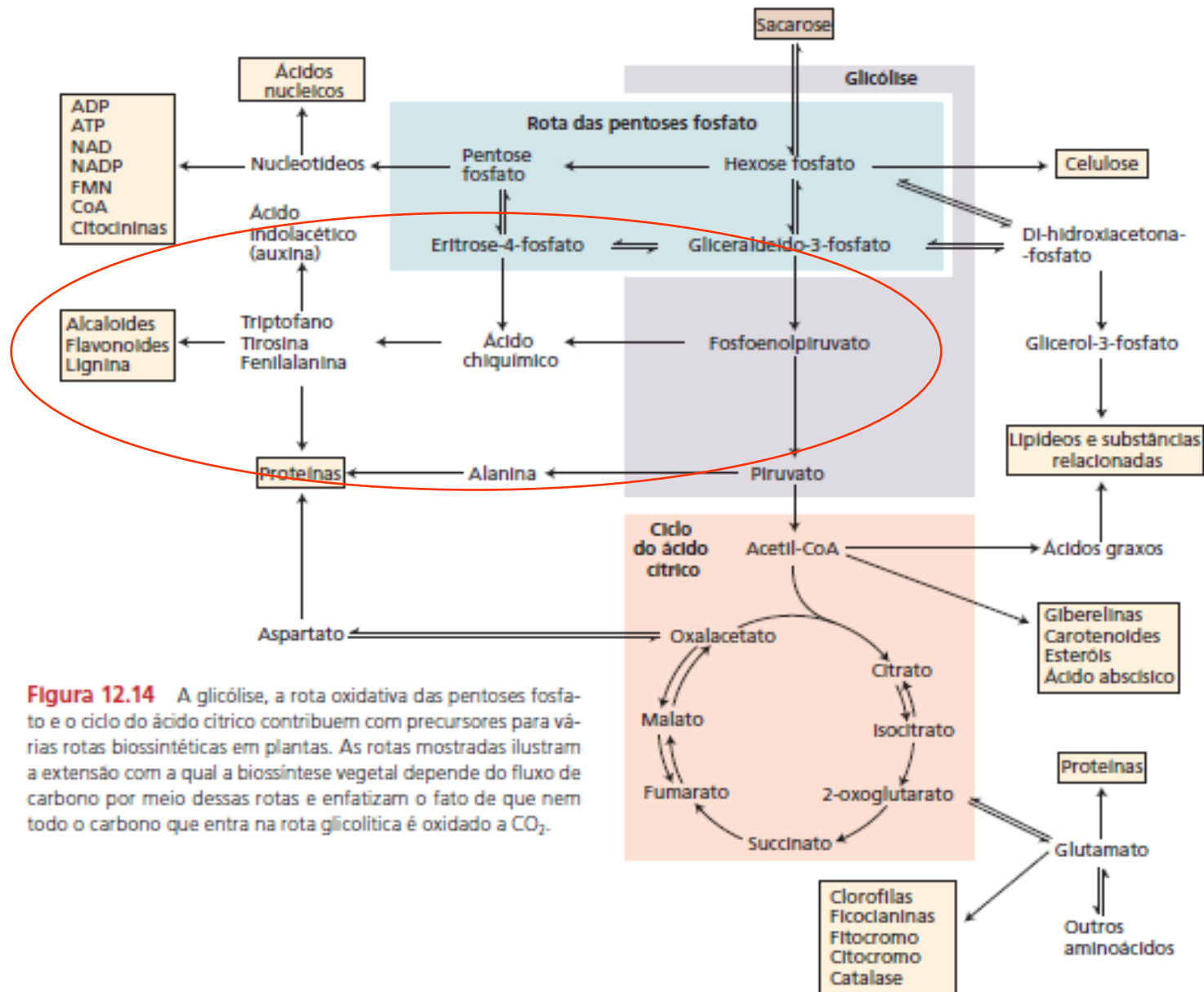
# Hidrólise do amido

*Cloroplasto*  
*Amiloplastos*





**Figura 12.14** A glicólise, a rota oxidativa das pentoses fosfato e o ciclo do ácido cítrico contribuem com precursores para várias rotas biossintéticas em plantas. As rotas mostradas ilustram a extensão com a qual a biossíntese vegetal depende do fluxo de carbono por meio dessas rotas e enfatizam o fato de que nem todo o carbono que entra na rota glicolítica é oxidado a CO<sub>2</sub>.

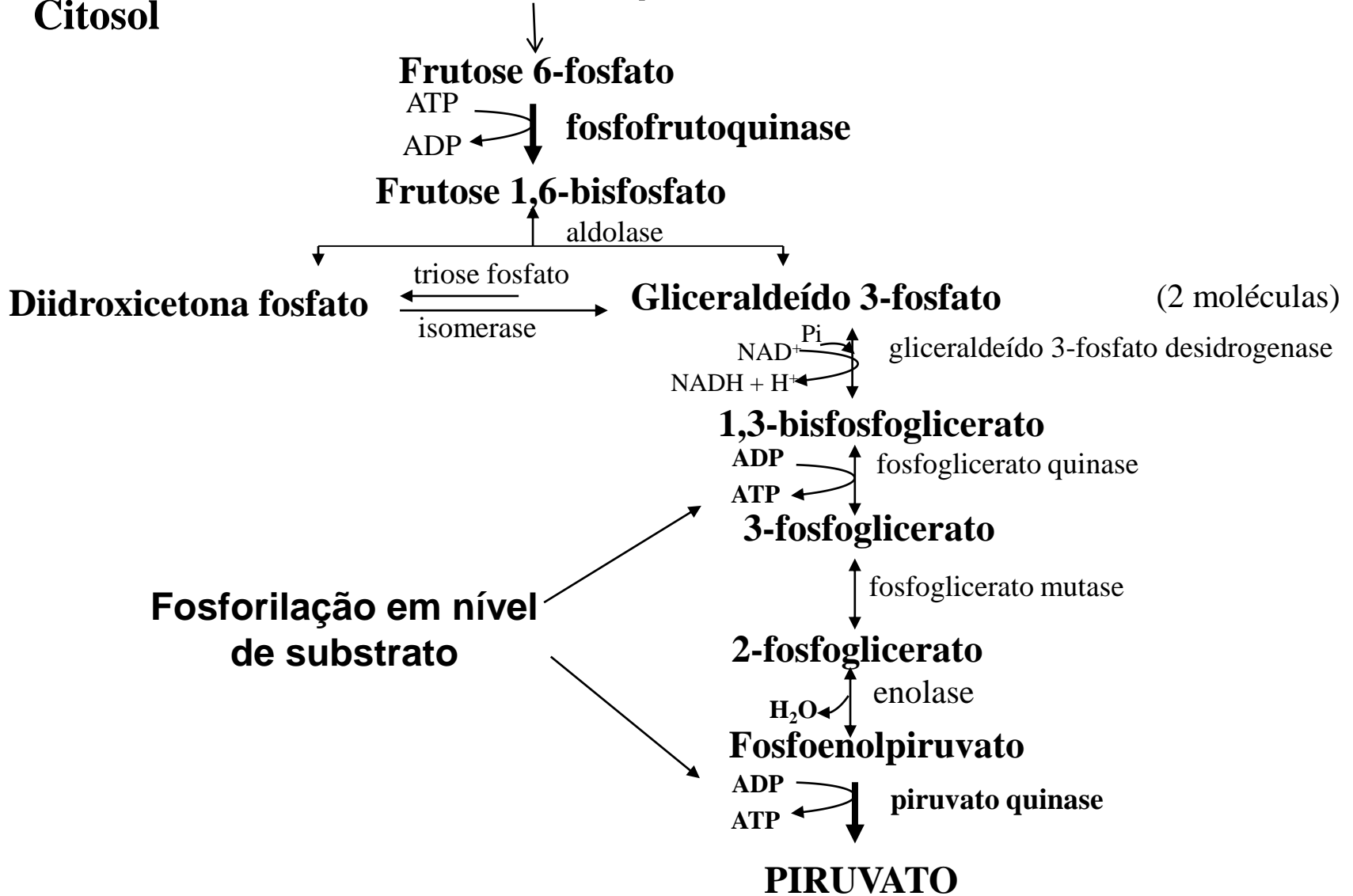


**Figura 12.14** A glicólise, a rota oxidativa das pentoses fosfato e o ciclo do ácido cítrico contribuem com precursores para várias rotas biossintéticas em plantas. As rotas mostradas ilustram a extensão com a qual a biossintese vegetal depende do fluxo de carbono por meio dessas rotas e enfatizam o fato de que nem todo o carbono que entra na rota glicolítica é oxidado a  $\text{CO}_2$ .

# GLICÓLISE

Citosol

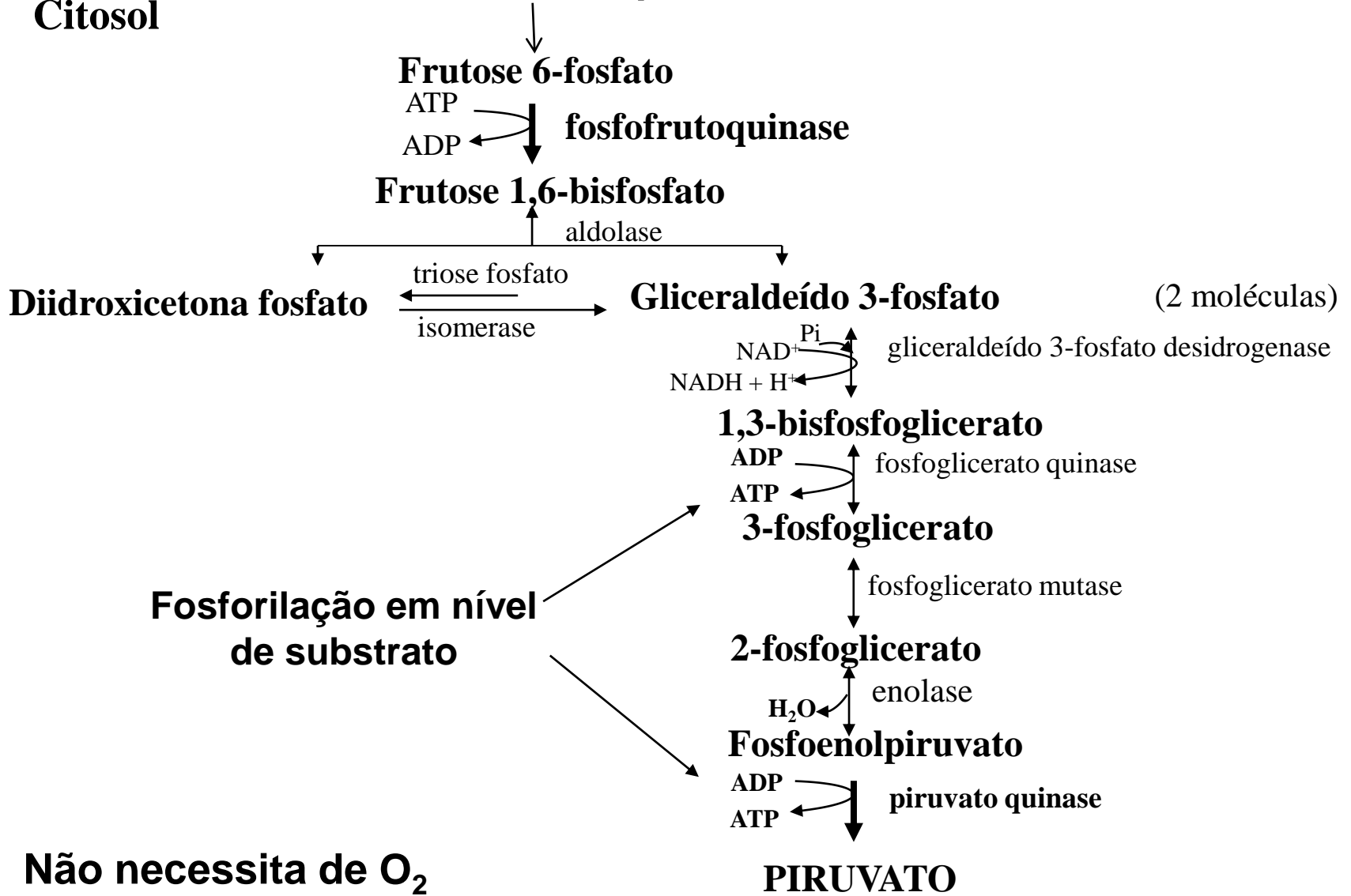
## Substratos respiratórios



# GLICÓLISE

Citosol

## Substratos respiratórios





# GLICÓLISE - FUNÇÕES

- **Produção do ácido pirúvico (piruvato)**
- **Produção ATP (rendimento baixo)**
- **Produção de agente redutor (NADH)**
- **Formar moléculas para sintetizar outros compostos importantes**

# Ciclo do ácido cítrico (Krebs)

**Piruvato**



**Carotenoides  
Ac. abscísico**

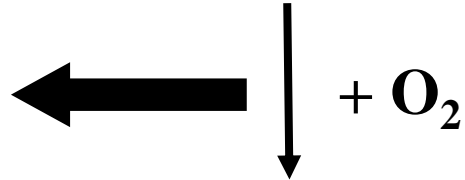
**Acetil-CoA**



**Ciclo de Krebs**

**PIRUVATO**

**Respiração  
aeróbica**



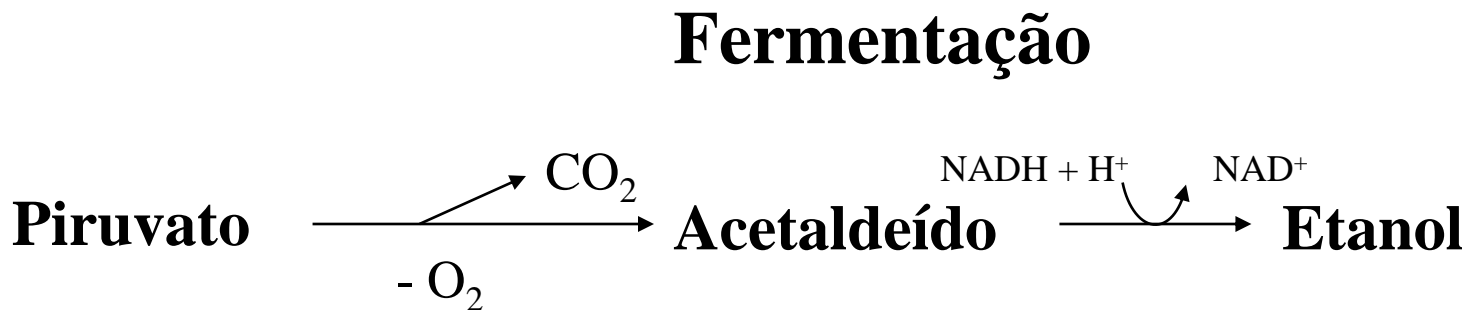
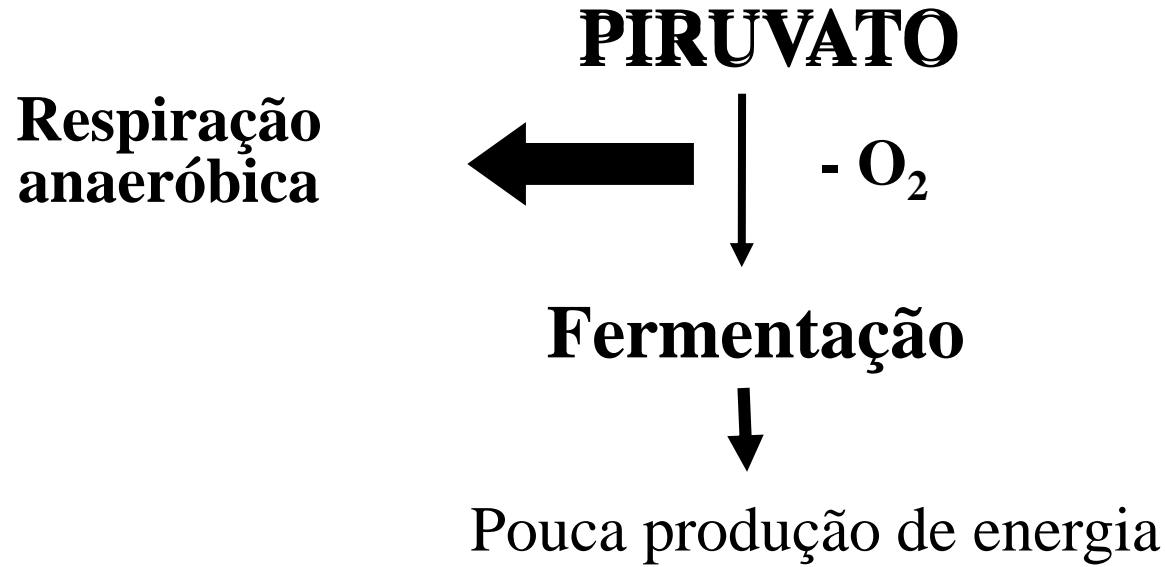
**Ciclo de Krebs**



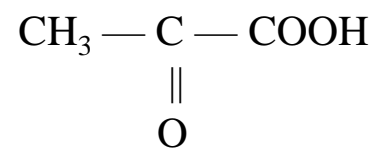
**Cadeia de transporte  
de elétrons**



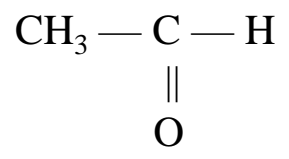
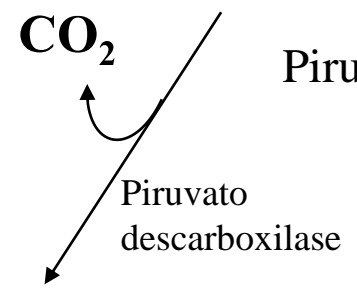
**Maior produção  
de energia (ATP)**



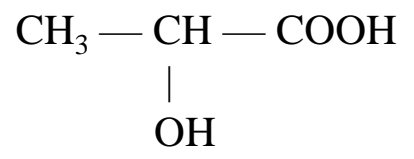
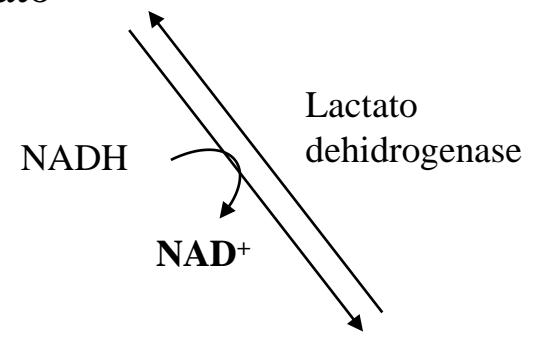
# Respiração anaeróbica



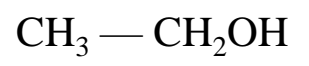
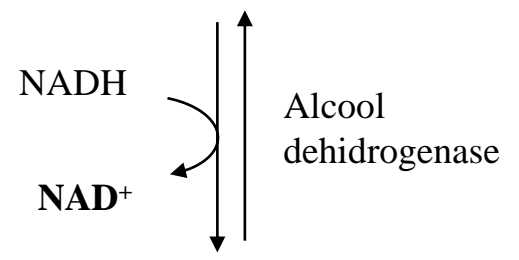
Piruvato



Acetaldeído



Lactato

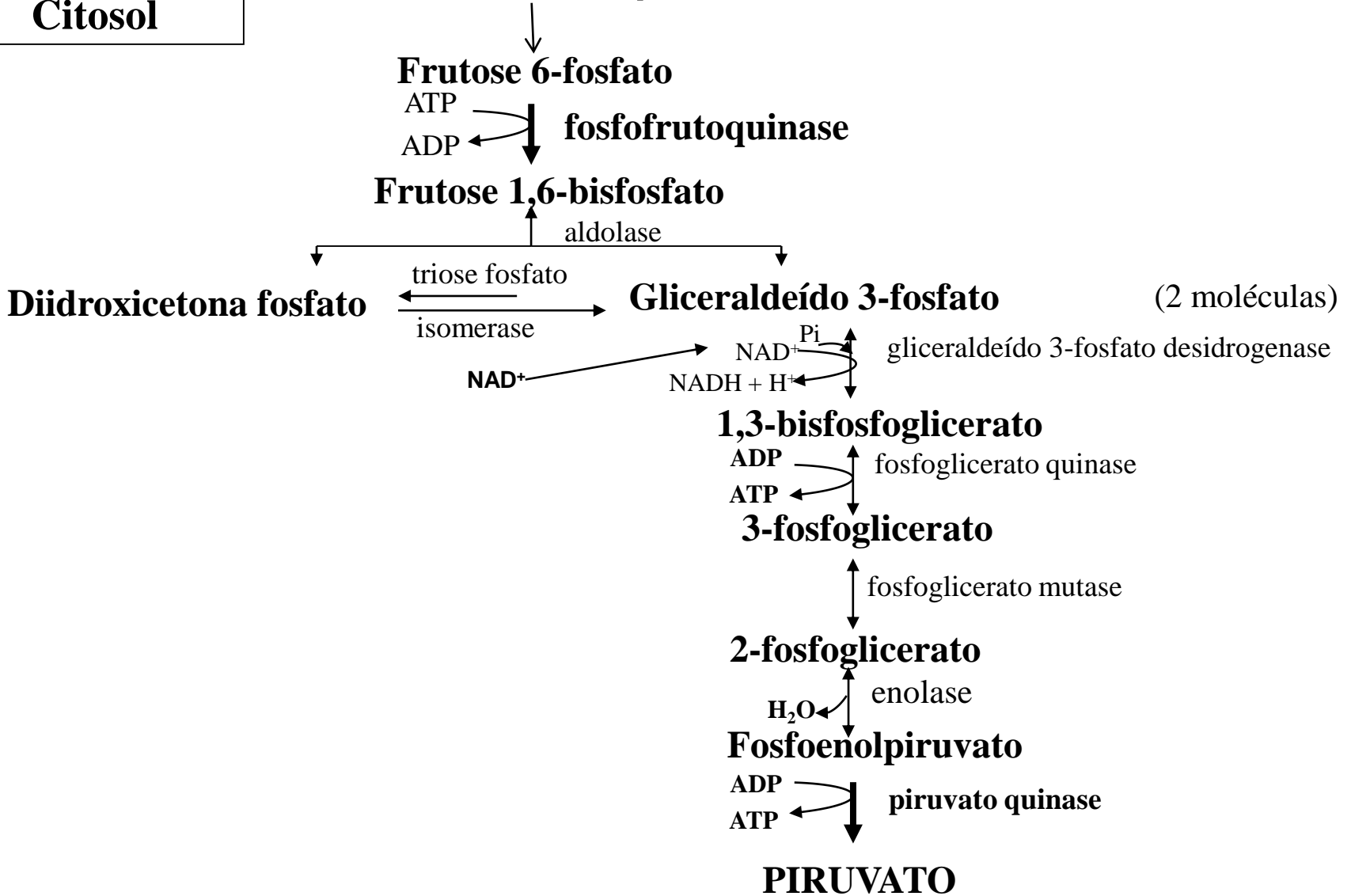


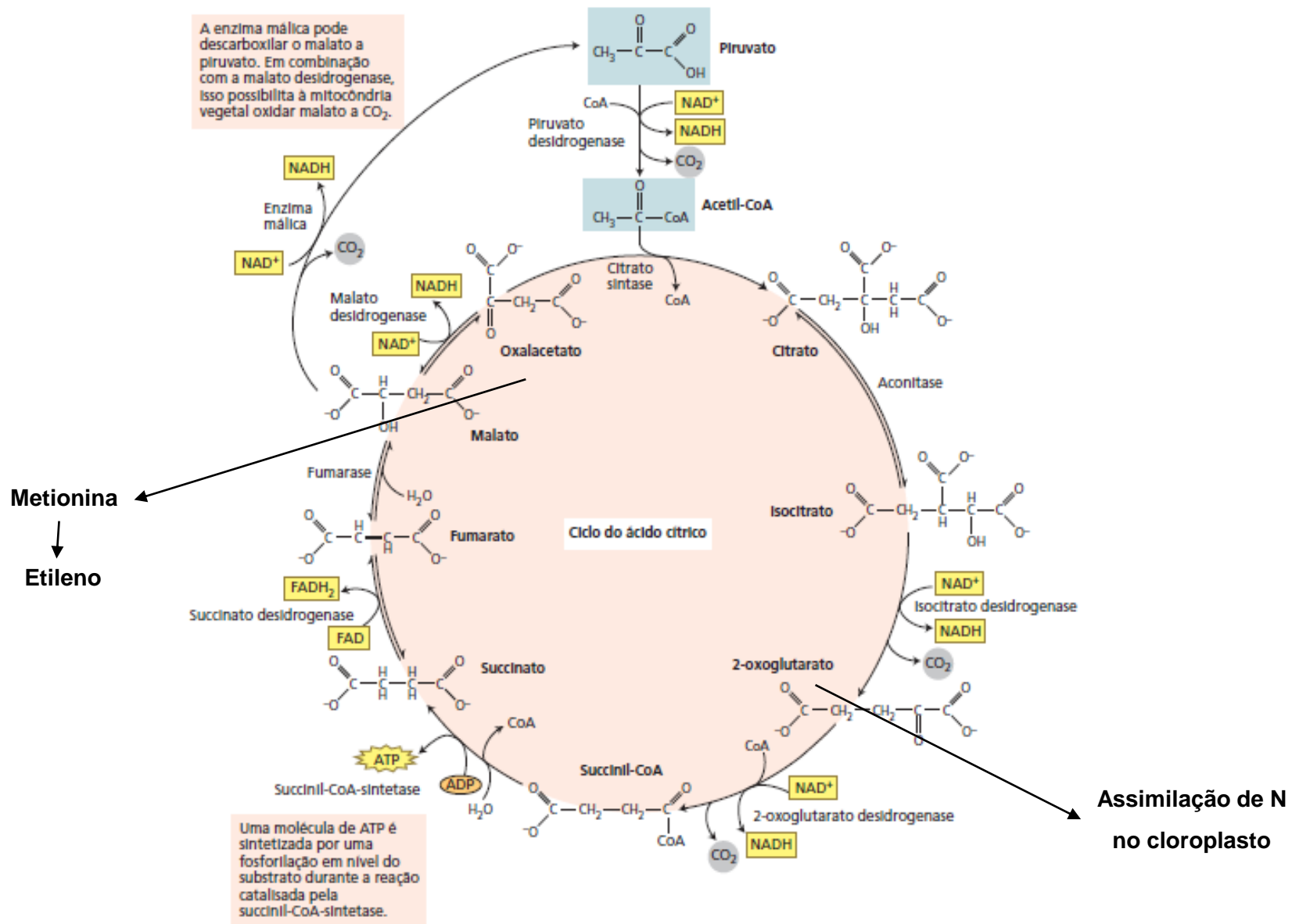
Etanol



**GLICÓLISE**  
**Citosol**

**Substratos respiratórios**





# CICLO DE KREBS-FUNÇÕES

- Síntese de ATP
- Produção de NADH e FADH<sub>2</sub>
  - são doadores de elétrons
- Formação de esqueleto carbônico para síntese de outros compostos (p.ex.: aminoácidos)



Muita energia armazenada na forma de coenzimas reduzidas (carregadas de e<sup>-</sup>):

**NADH e FADH<sub>2</sub>**

Precisam ser oxidadas para liberar energia

**CADEIA DE TRANSPORTE DE ELÉTRONS**

# CADEIA DE TRANSPORTE DE ELÉTRONS

- Consiste da transferência de elétrons do NADH e Ubiquinol ao  $O_2$
- Fosforilação oxidativa
  - Produção de ATP a partir de oxidação
- A síntese de ATP é devido à formação de um gradiente de prótons ( $H^+$ ) entre o espaço intermembrana e a matriz mitocondrial

# CADEIA DE TRANSPORTE DE ELÉTRONS

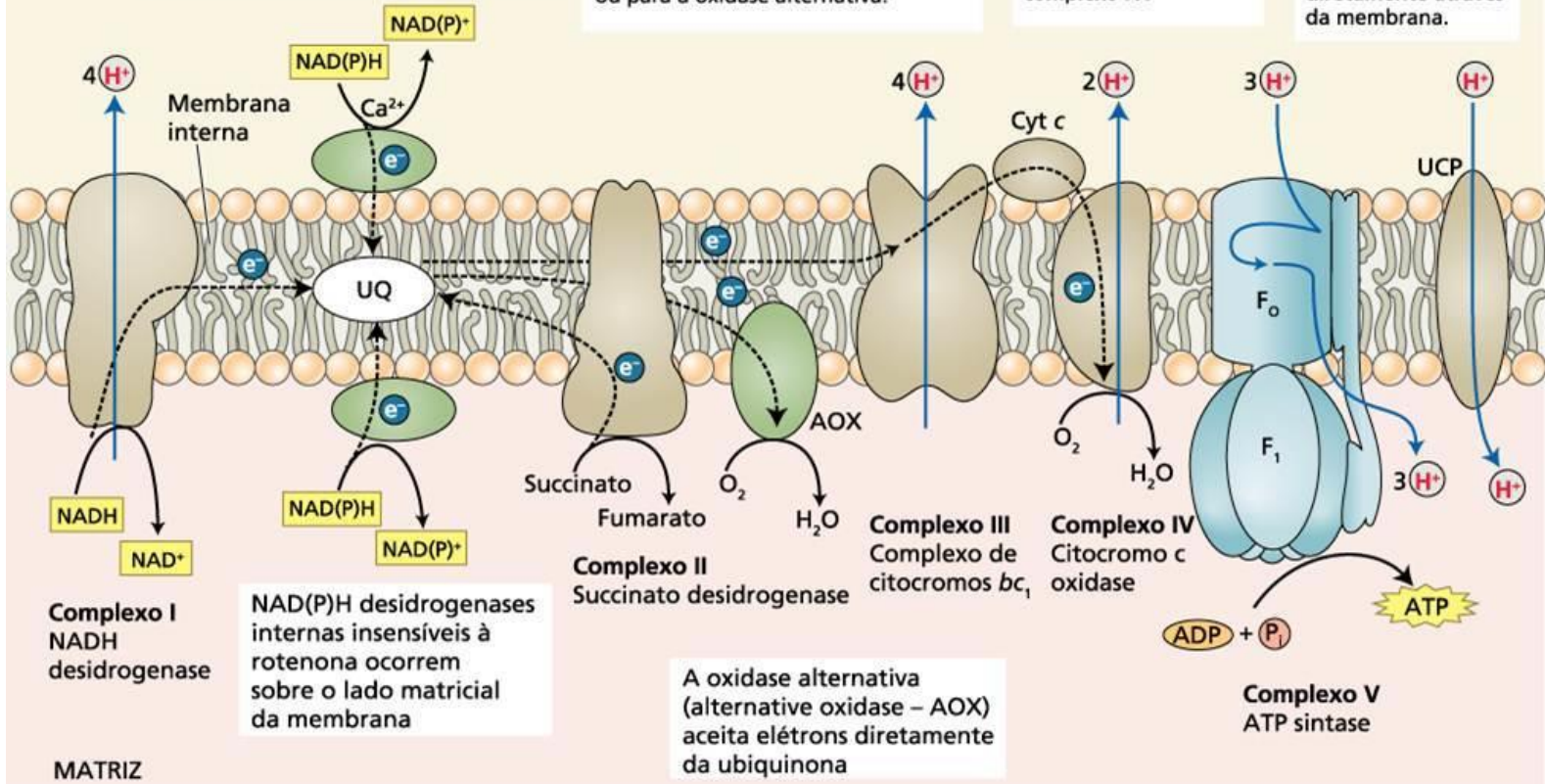
ESPAÇO INTERMEMBRANA

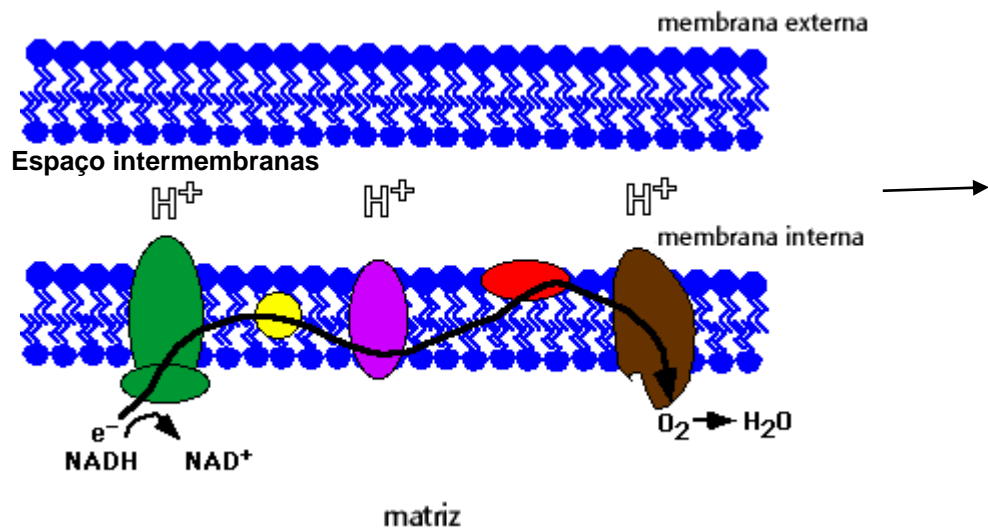
NAD(P)H desidrogenases externas (insensíveis à rotenona) podem aceitar elétrons diretamente do NADH ou NADPH produzido no citosol.

O pool de ubiquinona (UQ) se difunde livremente dentro da membrana interna e serve para transferir elétrons das desidrogenases para o complexo II ou para a oxidase alternativa.

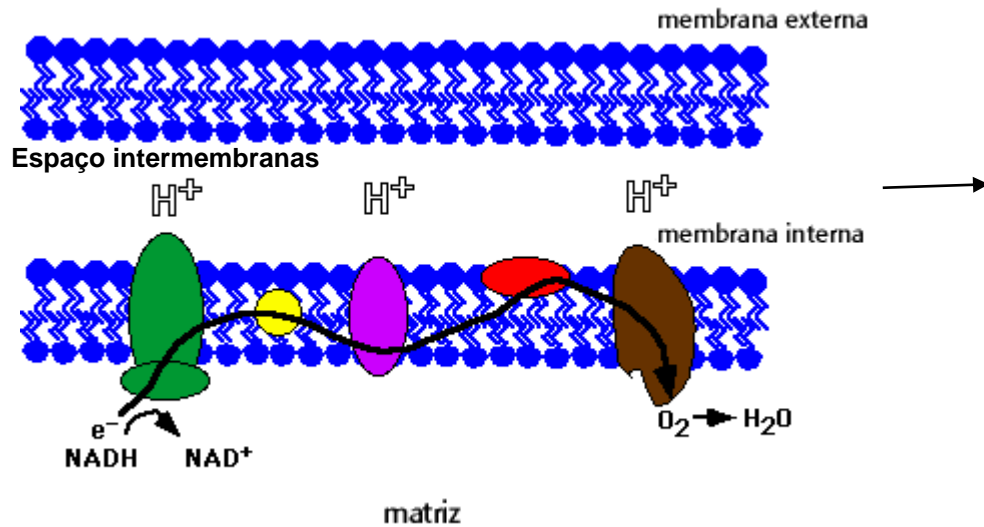
O citocromo c é uma proteína periférica que transfere elétrons do complexo III para o complexo IV.

A proteína desacopladora (uncoupling protein - UCP) transporta H<sup>+</sup> diretamente através da membrana.

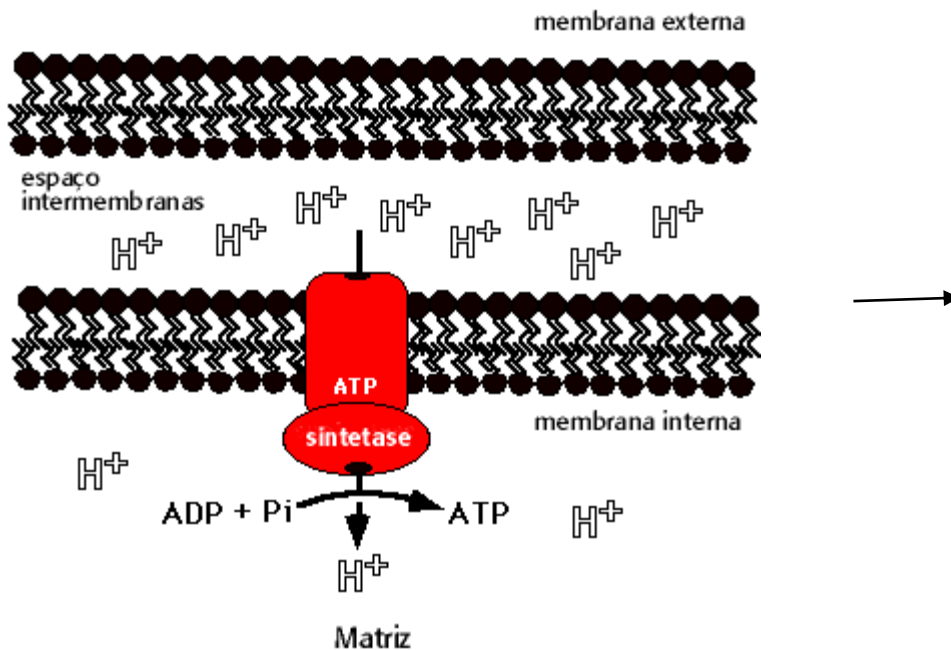




$O_2$  é a aceptor final de  $e^-$  sendo convertido em água



$O_2$  é a acceptor final de  $e^-$  sendo convertido em água

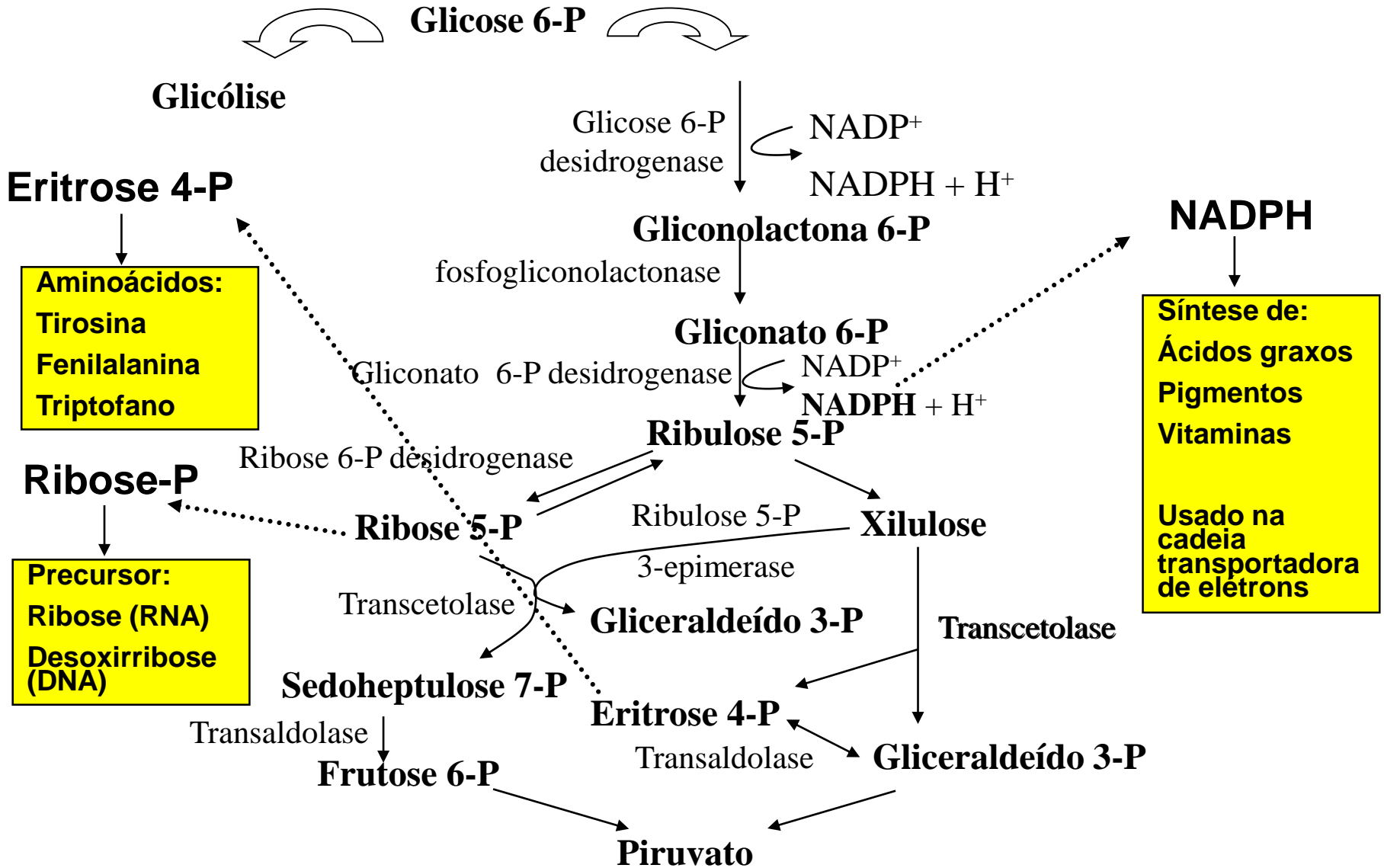


Transporte de  $e^-$  gera acúmulo de  $H^+$  no espaço intermembrana (potencial eletroquímico)

# ROTA DAS PENTOSSES-FOSFATO

- A Glicólise não é uma via única para oxidação dos açúcares
- A rota das pentoses-P oxida açúcares através de enzimas específicas localizadas no citosol
- Essa rota é FUNDAMENTAL PARA AS PLANTAS (sem ela, a planta não sobrevive)

# Rota pentose-P



BALANÇO ENERGÉTICO

RESPIRAÇÃO AERÓBICA

X

RESPIRAÇÃO ANAERÓBICA



## Produção máxima de ATP a partir da completa oxidação da sacarose a CO<sub>2</sub> por meio da respiração aeróbica e do ciclo do ácido cítrico (Brand, 1994)

<u>Reação Parcial</u>	<u>ATP por sacarose</u>
Glicólise	
4 fosforilações em nível de substrato	4
4 NADH	4 x 1,5
Ciclo do ácido cítrico	
4 fosforilações em nível de substrato	4
4 FADH <sub>2</sub>	4 x 1,5
16 NADH	16 x 2,5
Total	<b>60</b>



1 ATP = 12 Kcal

Respiração aeróbica

60 ATP x 12 = 720 Kcal (52%)

48% = 660 Kcal (calor vital)



1 ATP = 12 Kcal

Respiração aeróbica

60 ATP x 12 = 720 Kcal (52%)

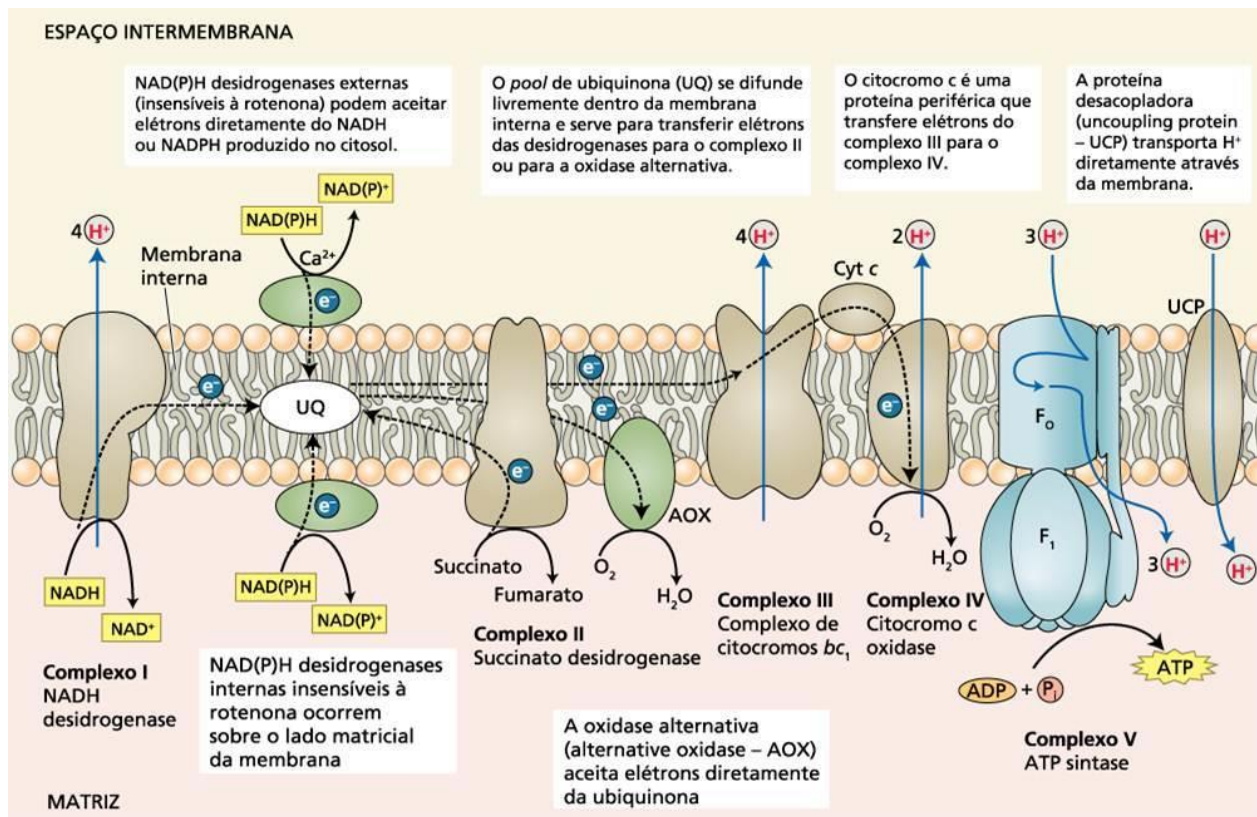
48% = 660 Kcal (calor vital)

Respiração anaeróbica

6 ATP x 12 Kcal = 72 Kcal (5%)

95% = calor

# Oxidase alternativa (AOX)



- Proteína desacopladora
- Evitar sobrefluxo de energia, elétrons livres que danificam as membranas
- Reduz produção de ATP
- Pode gerar calor (plantas termogênicas)

Estrutura e funcionamento pouco conhecidos



## **Dama da noite (*Cestrum nocturnum*)**

AOX faz liberar bastante calor e volatiliza substâncias odoríferas para atrair polinizadores.



### **Lírío Vodú (*Sauromatum guttatum*)**

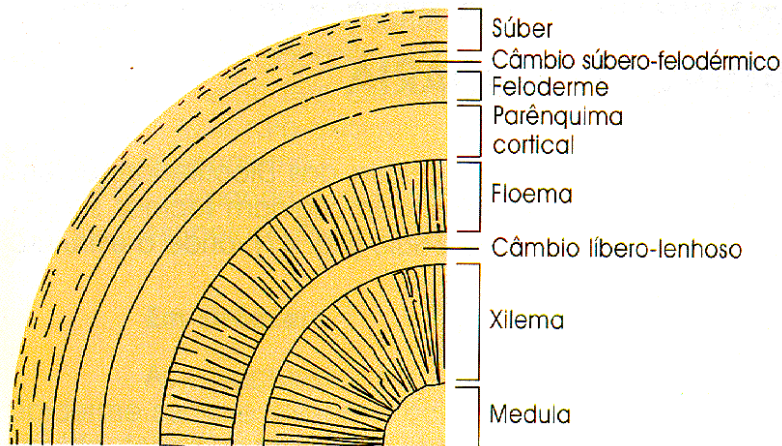
Um pouco antes da polinização a temperatura sobe até 25°C a mais que a ambiente, odor pútrido, atrai insetos polinizadores

# RESPIRAÇÃO DE RAÍZES

- Respiram intensamente: energia para a formação e crescimento de novas raízes
- Respiram utilizando o  $O_2$  que vem do solo e da parte aérea (atmosfera)
- Respiração fornece energia para a absorção e acúmulo de íons minerais

# RESPIRAÇÃO DE CAULES

- É mais intensa na região do câmbio





# RESPIRAÇÃO DE FOLHAS

- É praticamente constante e intensa
- Mais acentuada próximo à época de abscisão e diminui a medida que a folha vai entrando em senescência.

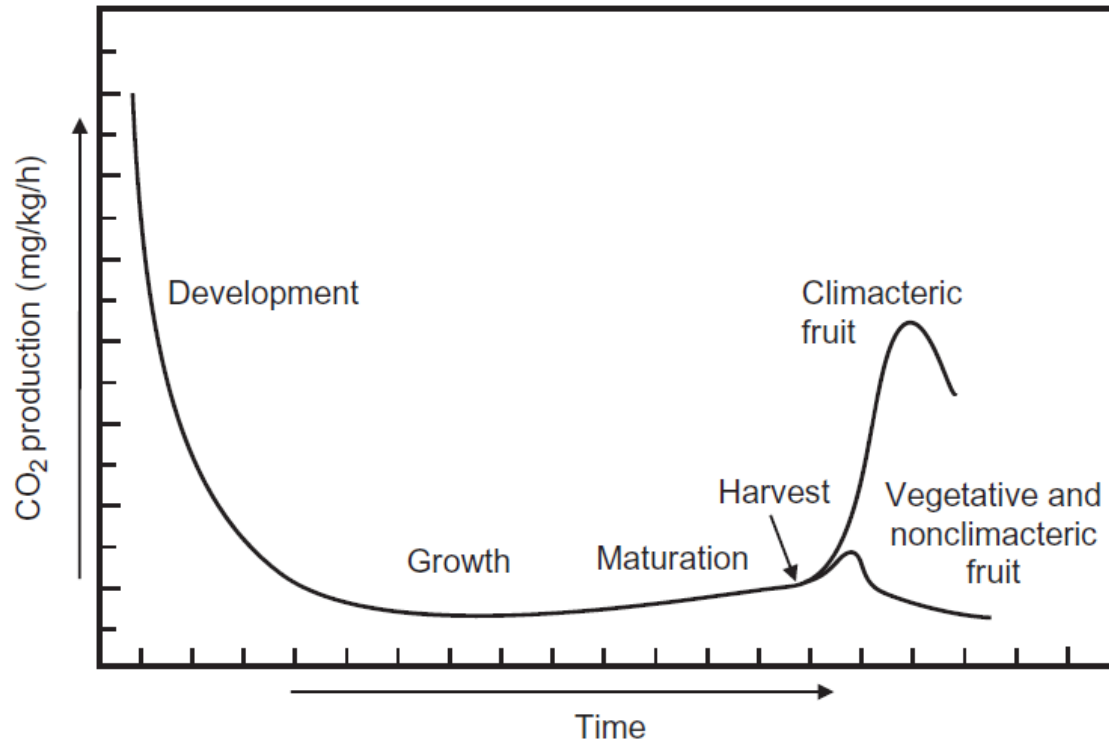
# RESPIRAÇÃO DE FLORES

- Intensa, principalmente durante
  - Crescimento do tubo polínico
  - Fertilização
  - Desenvolvimento de ovários
- Nessa fase a fotossíntese bruta deverá ser muito eficiente

# RESPIRAÇÃO DE FRUTOS, VAGENS, GRÃOS

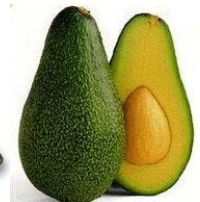
- A respiração é intensa durante a formação e frutos, vagens e grãos
- Nessa fase a fotossíntese bruta deverá ser muito eficiente

# RESPIRAÇÃO DE FRUTOS



**FIGURE 4.1**

Change in respiration (CO<sub>2</sub> production) during the development, growth, maturation, and harvest of vegetative commodities and of climacteric and nonclimacteric fruit.



# RESPIRAÇÃO DE SEMENTES

- Sementes dormentes: baixa respiração
- Sementes em germinação: alta respiração



# RESPIRAÇÃO DE SEMENTES

- Sementes dormentes: baixa respiração
- Sementes em germinação: alta respiração

**Semente dormente**  
(compostos armazenados)

embebição  
→  
hidrólise

**Semente em germinação**  
(quebra dos compostos armazenados)

# FATORES QUE AFETAM A RESPIRAÇÃO

- Disponibilidade de substrato
- Disponibilidade de  $O_2$
- Temperatura
- Danos e doenças

# FATORES QUE AFETAM A RESPIRAÇÃO

- Disponibilidade de substrato
  - Plantas com pouco amido ou sacarose respiram menos
  - Folhas ao pôr do sol respiram mais, pois acumulam mais amido durante o dia. Ao nascer do sol a respiração é baixa
  - Folhas inferiores, mais sombreadas, respiram menos (fazem menos fotossíntese)



# FATORES QUE AFETAM A RESPIRAÇÃO

- Disponibilidade de  $O_2$ 
  - Na presença de  $O_2 \rightarrow$  respiração aeróbica (mais ATP formado)
  - Na ausência de  $O_2 \rightarrow$  respiração anaeróbica (pouco ATP, produtos tóxicos)
  - Plantas inundadas (hipóxia para as raízes) podem formar tecidos de aerênquima

# FATORES QUE AFETAM A RESPIRAÇÃO

- Disponibilidade de  $O_2$ 
  - Sob hipóxia há dificuldade de transporte de citocinina da ponta da raiz para a parte aérea
  - Outros desequilíbrios da hipóxia: absorção insuficiente de nutrientes (principalmente nitrato); murchamento da folha

# FATORES QUE AFETAM A RESPIRAÇÃO

- Temperatura
  - Lei do Q10 (quociente respiratório)
  - Na faixa entre 5 a 25°C a respiração aumenta de 2,0-2,5 a cada 10°C de aumento na temperatura
  - 30 a 35°C ainda aumenta, mas mais lentamente (menor difusão de O<sub>2</sub>)
  - Acima de 35°C → desnaturação de proteínas

# FATORES QUE AFETAM A RESPIRAÇÃO

- Danos e doenças
  - Plantas atacadas por praga ou afetadas por doenças tem seu metabolismo respiratório aumentado, com o objetivo de sintetizar substâncias do **metabolismo secundário** para tentar cicatrizar lesões ou combater patógenos
  - Com isso a planta perde em produtividade