

FISIOLOGIA VEGETAL

2013-2014

Ricardo Boavida Ferreira

Aulas T-24, T-25 e T-26

Cap. II - METABOLISMO DO CARBONO

Respiração nas plantas

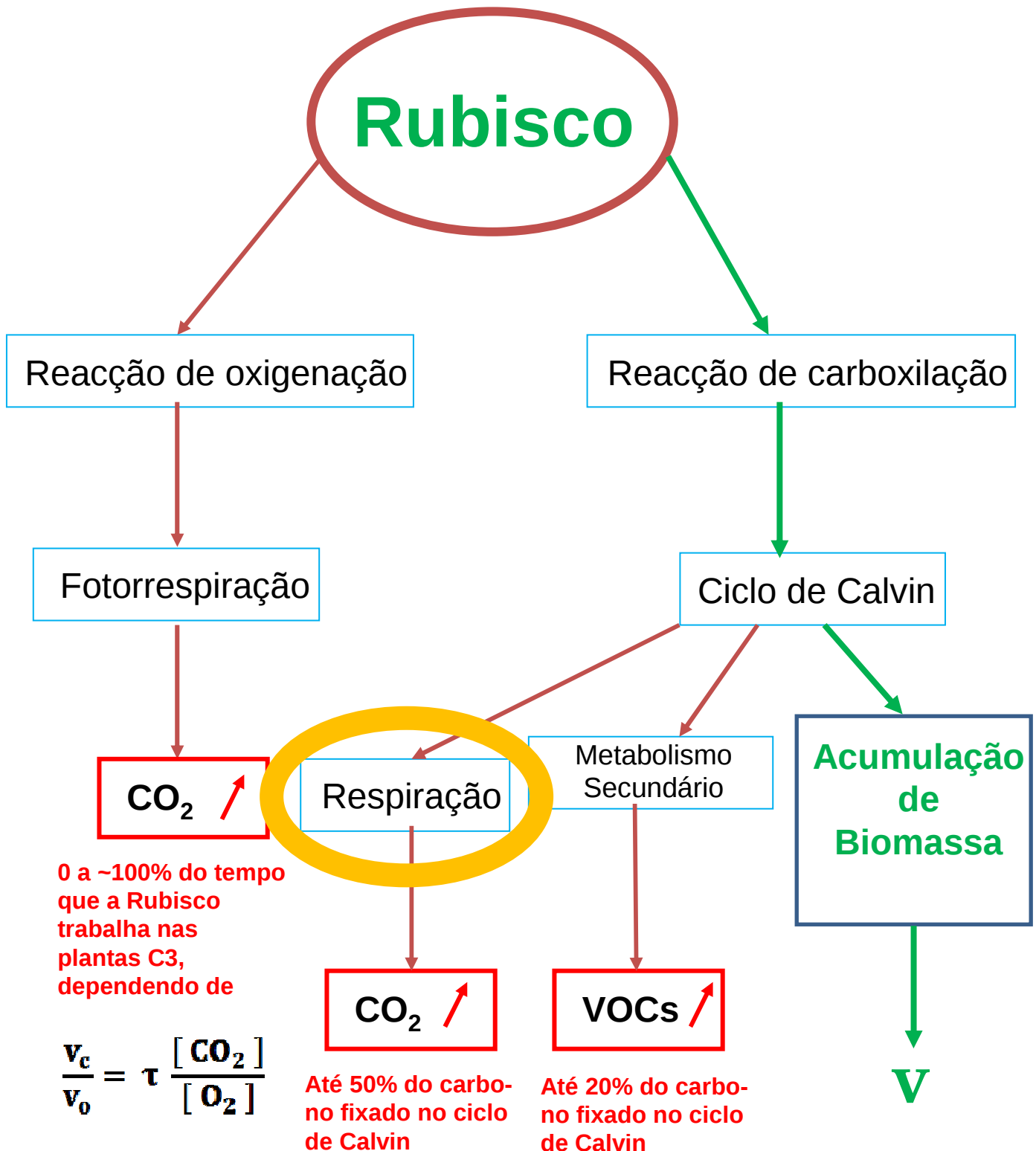
Aula T-24

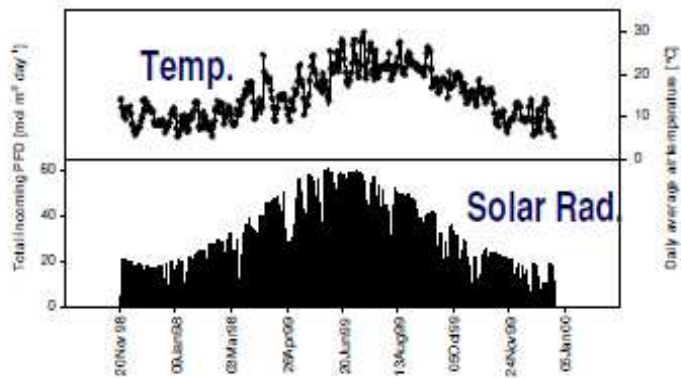
Funções básicas da respiração. Revisão sobre respiração celular. Substratos respiratórios: hidratos de carbono, lípidos e proteínas. O ciclo do glioxilato.

PROCESSOS OXIDATIVOS - RESPIRAÇÃO

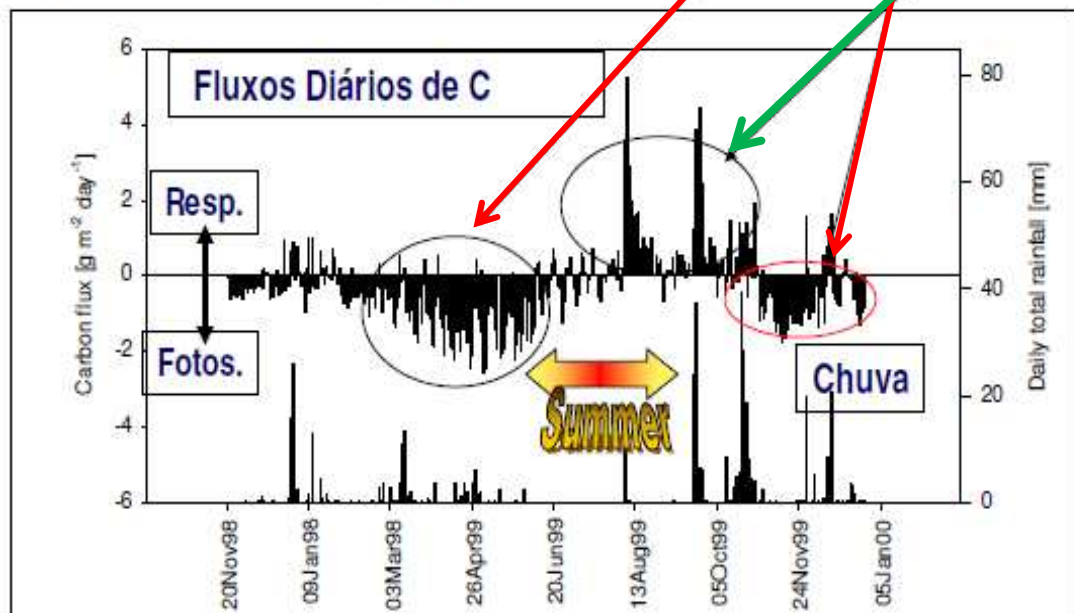
- Funções básicas da fotossíntese e da respiração
- Revisão sobre respiração celular
 - Glicólise
 - Ciclo do ácido cítrico
 - Oxidação β dos ácidos gordos
- Substratos respiratórios
 - Hidratos de carbono
 - Proteínas
 - Lípidos
- O ciclo do glóxiato

Actividade catalítica da Rubisco versus acumulação de biomassa





O Montado é sumidouro de carbono durante a Primavera e Outono. No Verão pode ser fonte de Carbono.



(Pereira et al, 2000)

What is meant by OXIDATION and REDUCTION?

These two concepts often give students a great deal of trouble. Oxidation and reduction reactions (also known as REDOX reactions) are always coupled in biological systems.

Put quite simply, **oxidation reactions release energy**.

De acordo com esta teoria, a molécula de água libertaria energia ao ser oxidada, ao contrário do que se verifica nas reacções fotoquímicas da fotossíntese!

Compounds that contain the greatest amount of stored chemical energy are hydrocarbons such as fats and lipids. In biological systems, oxidation typically involves:

- the loss of hydrogen atoms (equivalent to protons) from a substrate;
- loss of hydrogen atoms are known as dehydrogenation reactions;
- electrons are typically lost together with hydrogen atoms;
- the addition of oxygen is also termed oxidation.

An "**oxidized**" molecule has given up energy. For example, the energy carrier molecule NAD^+ , is an energy-deficient form of an electron carrier as it has given up a hydrogen and two electrons.

Reduction reactions harness chemical energy

Reduction involves:

- the gain of electrons and hydrogen atoms by a substrate. This is what confuses people; how can a gain of something be termed "reduction?" The answer is that:

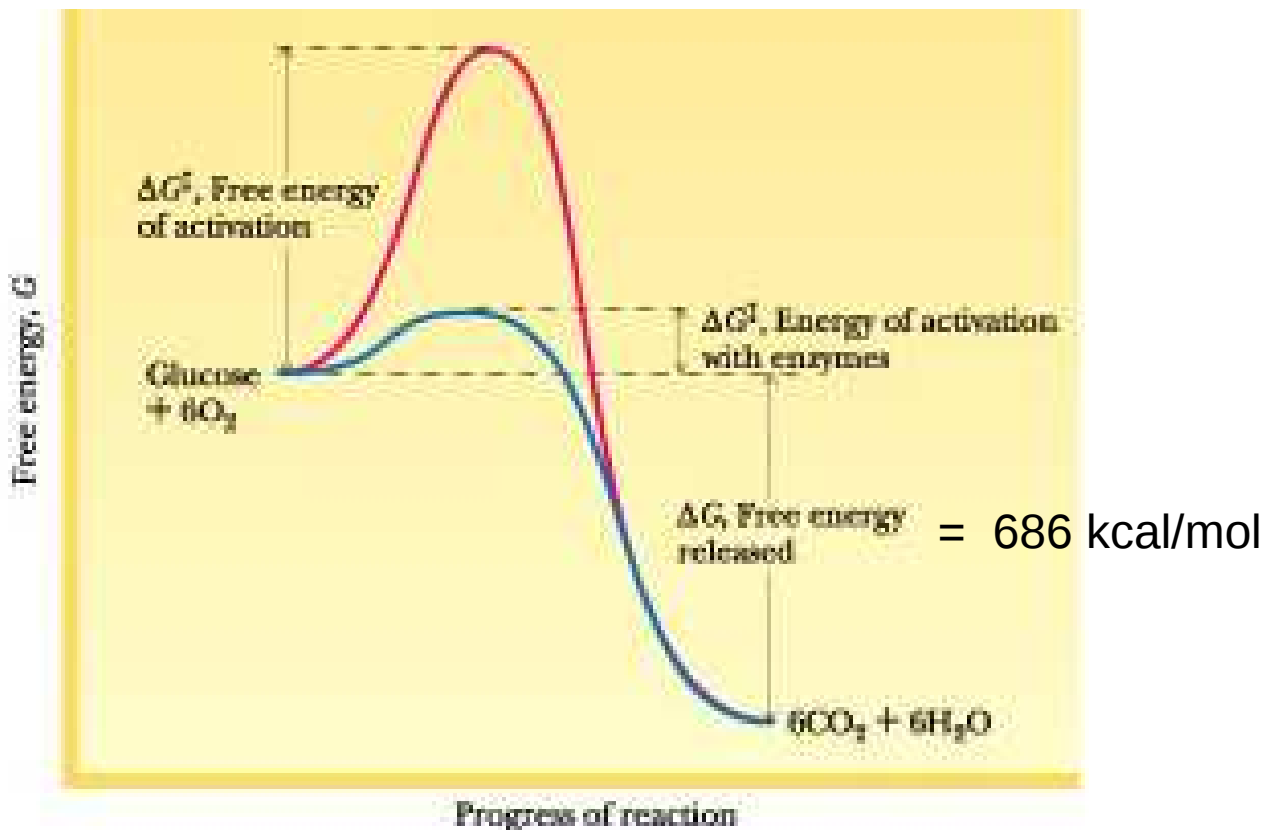
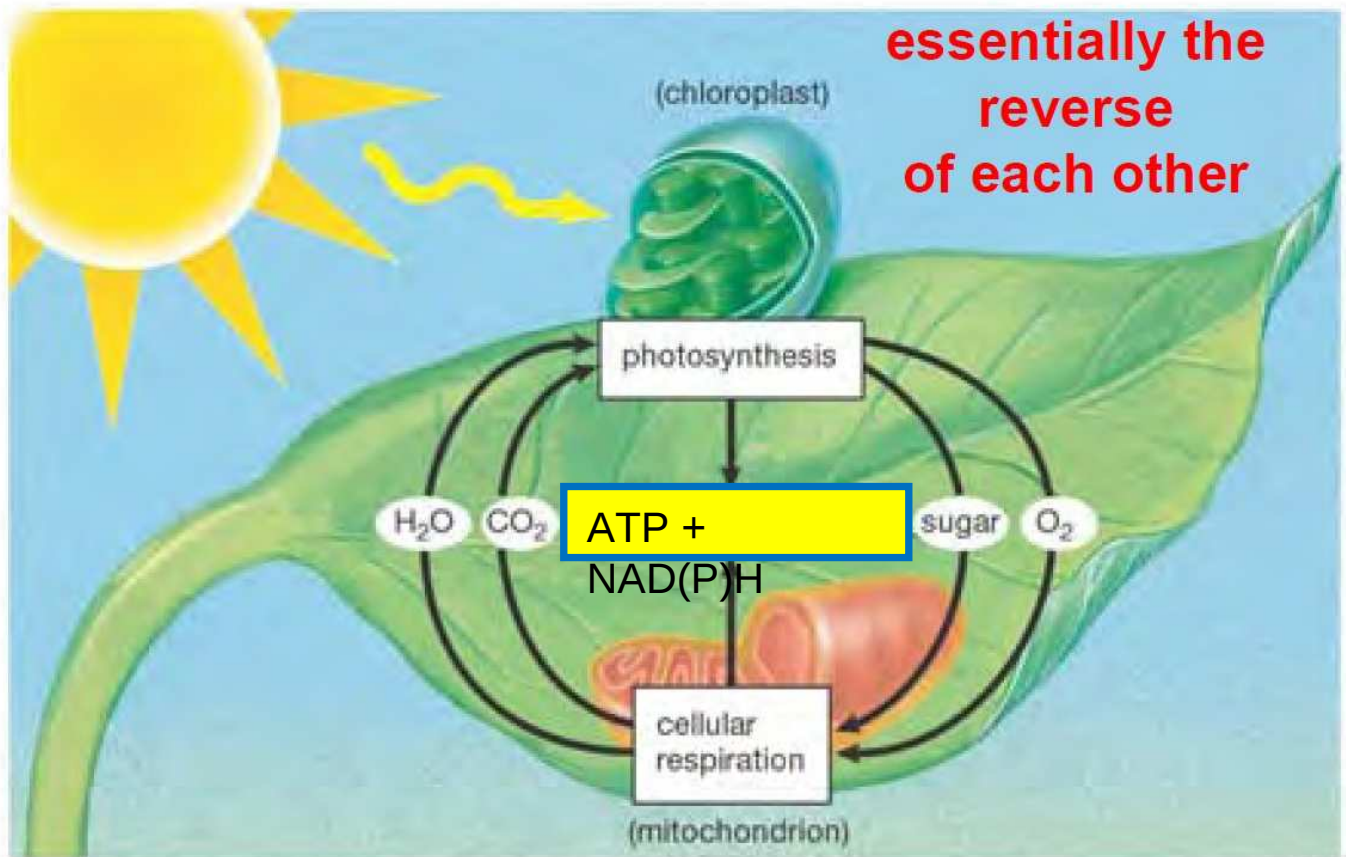
the loss of oxygen is also termed reduction;

- a "reduced" molecule is energy rich. For example, NAD^+ picks up 2 energetic electrons and a hydrogen atom.

These reactions are always coupled since the electrons lost from an oxidized molecule have to be transferred to another molecule. A source of electrons, or electron donor, is referred to as a **reducing agent**, while the electron acceptor is the **oxidizing agent** as it oxidizes some other molecule and becomes reduced in so doing.

De acordo com esta teoria, a molécula de água, resultante da redução do oxigénio, deveria ser rica em energia!

Photosynthesis vs Respiration



Três funções básicas da respiração:

- Armazenamento temporário de uma fonte de energia susceptível de ser utilizada pelo metabolismo celular, tipicamente ATP;
- Armazenamento temporário de uma fonte de potencial redutor (i.e. eletrões), tipicamente NADH e/ou NADPH;
- Produção de esqueletos carbonados, absolutamente essenciais ao metabolismo celular.

ORGANISMOS FOTOSSINTÉTICOS (em geral, autotróficos)

↓
Fotossintetizam para quê?

Para obterem os materiais de
que necessitam para crescer:
PRINCIPAIS FUNÇÕES DA
FOTOSSÍNTESE:

- I - Obter energia (ATP) a partir da luz do Sol;
- II - Obter potencial redutor (NADPH) a partir da água e da luz do Sol;
- III - Obter esqueletos carbonados (hidratos de carbono) sintetizados a partir do CO_2 atmosférico e do ATP e NADPH produzidos na fotossíntese.

ORGANISMOS NÃO-FOTOSSINTÉTICOS (em geral, heterotróficos)

↓
Obtêm os hidratos de carbono directa ou indirectamente da ingestão de organismos fotossintéticos

↓
Respiram para quê?

Para obterem os materiais de
que necessitam para crescer:
PRINCIPAIS FUNÇÕES DA
RESPIRAÇÃO

- I - Obtenção de energia (ATP);
- II - Obtenção de potencial redutor (NADH);
- III - Obtenção de esqueletos carbonados.

Dark reaction in stroma compartment

(The dark reaction depends on light)

In the dark, plants actually use the pentose phosphate pathway, glycolysis, Krebs cycle, and oxidative phosphorylation for ATP and NADPH synthesis. These pathways are also used during the day for energy production. Most of the ATP and NADPH in chloroplasts is used for carbon fixation, not for general use in the rest of the cell. energy is exported as carbohydrates into the cytoplasm or stored as starch in the stroma.

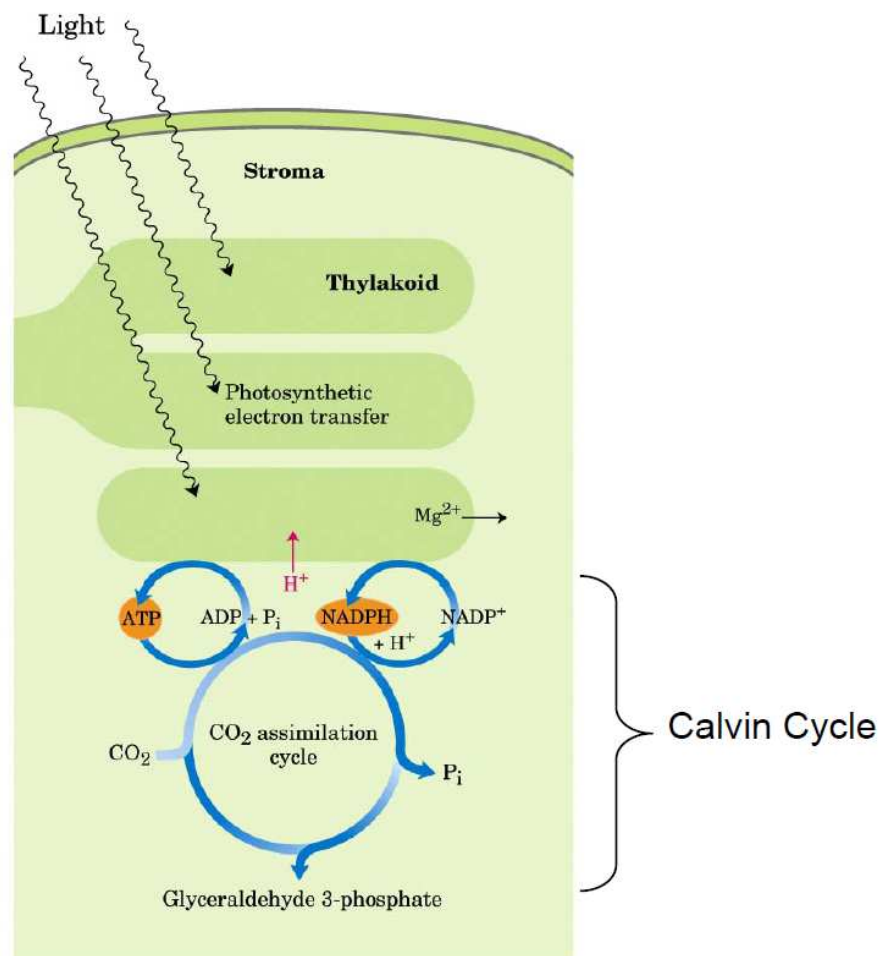
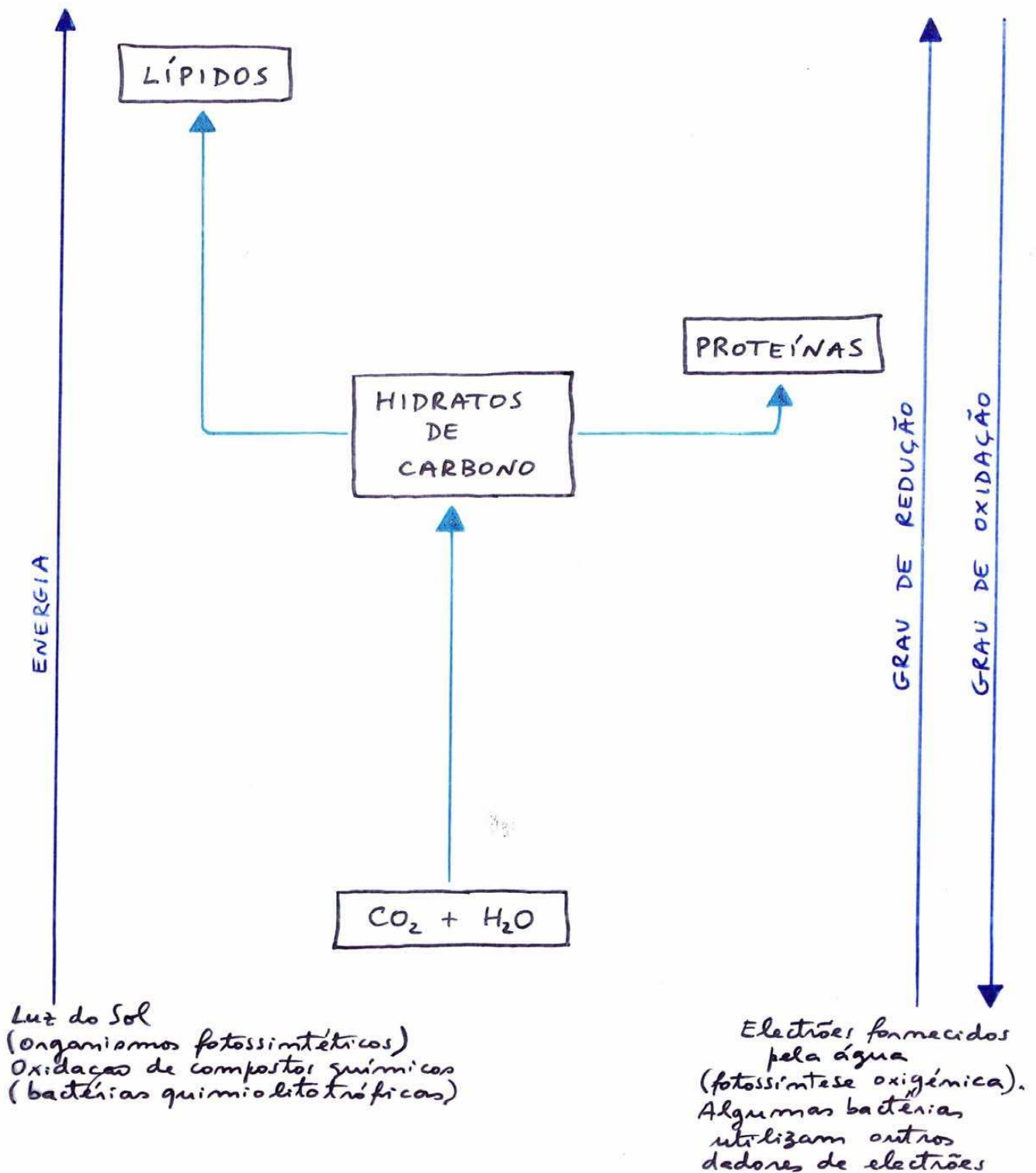


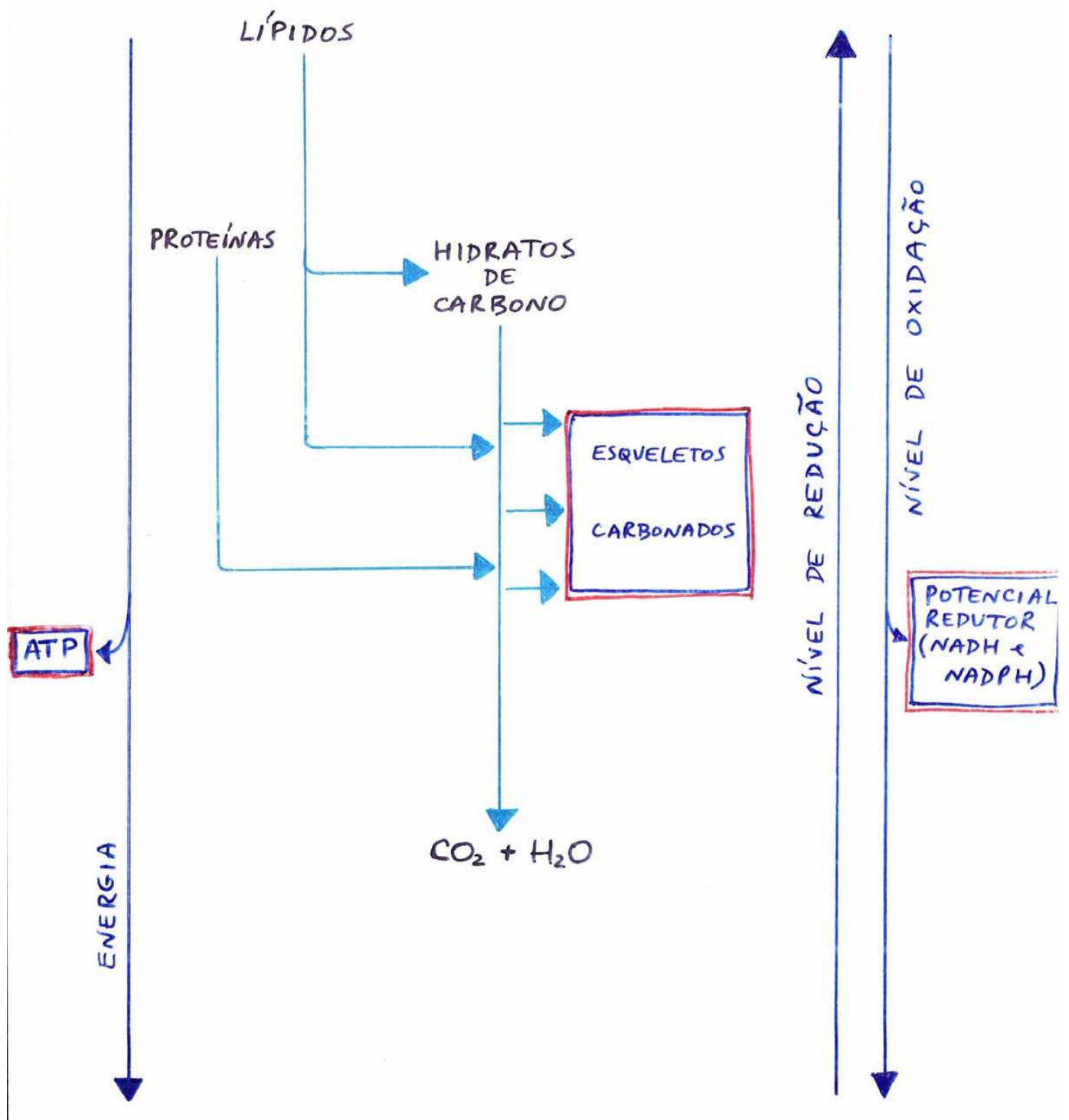
Fig20-34, Cox, Lehninger

Vias Redutivas:

Fotossíntese e Quimiossíntese



Vias Oxidativas: Respiração



Organisms may be organized into groups based upon their nutritional and metabolic needs which are extremely diverse. Traditionally, these groupings have been based on two main criteria:

- The nature of the energy source;
- The nature of the carbon source used for building organic, biological macromolecules.

Photoautotrophs	• Carbon source: CO₂ • Energy source: light • Examples: cyanobacteria, green and purple sulfur bacteria, algae, plants
Chemoautotrophs	• Carbon source: CO₂ • Energy source: oxidize inorganic compounds which are used to fix CO₂ • Examples: nitrifying, hydrogen, sulfur and iron-utilizing bacteria; Archaea which live among hydrothermal ocean vents
Photoheterotrophs	• Carbon source: from organic compounds made by other organisms • Energy source: light • Examples: green and purple nonsulfur bacteria
Chemoheterotrophs	• Carbon source: from organic compounds made by other organisms • Energy source: from oxidation of organic compounds • Examples: most bacteria, protozoa, all fungi and animals

ATP

Há três processos de produzir ATP na natureza:

- Fosforilação a nível do substrato (glicólise e ciclo do ácido cítrico);
- Fosforilação oxidativa (cadeia mitocondrial de transporte de electrões);
- Fotofosforilação (cadeia de transporte de electrões do cloroplasto).

ATP yield during respiration

Total ATP molecules from respiration of one molecule sucrose = 60

About 52% of energy is released from one sucrose molecule by oxidation

Only about 4% from the fermentation process

Potencial redutor

NADH:

É produzido durante a respiração (glicólise, oxidação β dos ácidos gordos, ciclo do ácido cítrico e ciclo do glioxilato);

É oxidado na cadeia mitocondrial de transporte de electrões, com formação de ATP (fosforilação oxidativa).

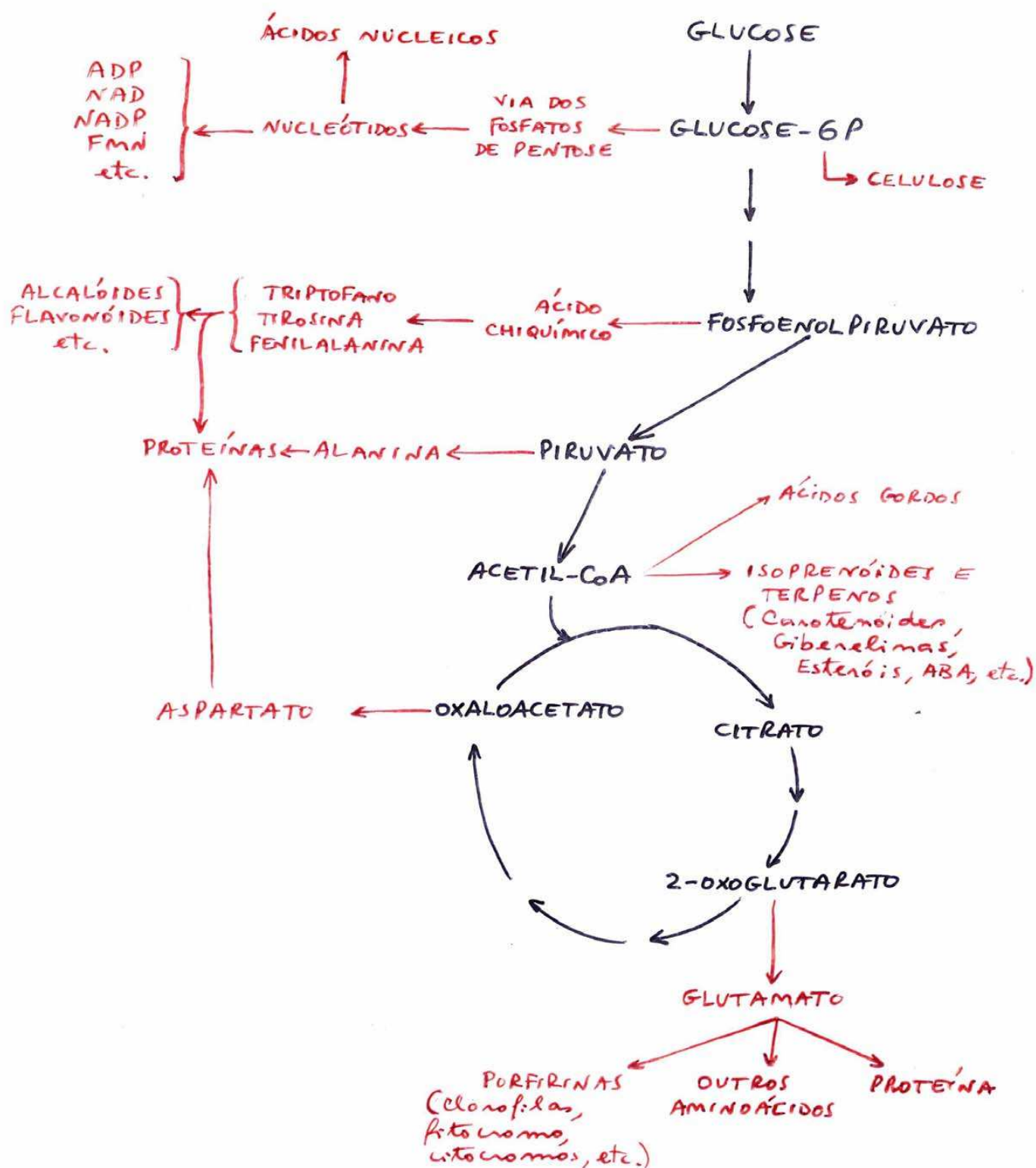
NADPH:

É produzido pela via dos fosfatos de pentose e pela cadeia de transporte de electrões do cloroplasto;

É consumido pelas reacções biossintéticas ou oxidado pelos mitocôndrios vegetais.

Esqueletos carbonados

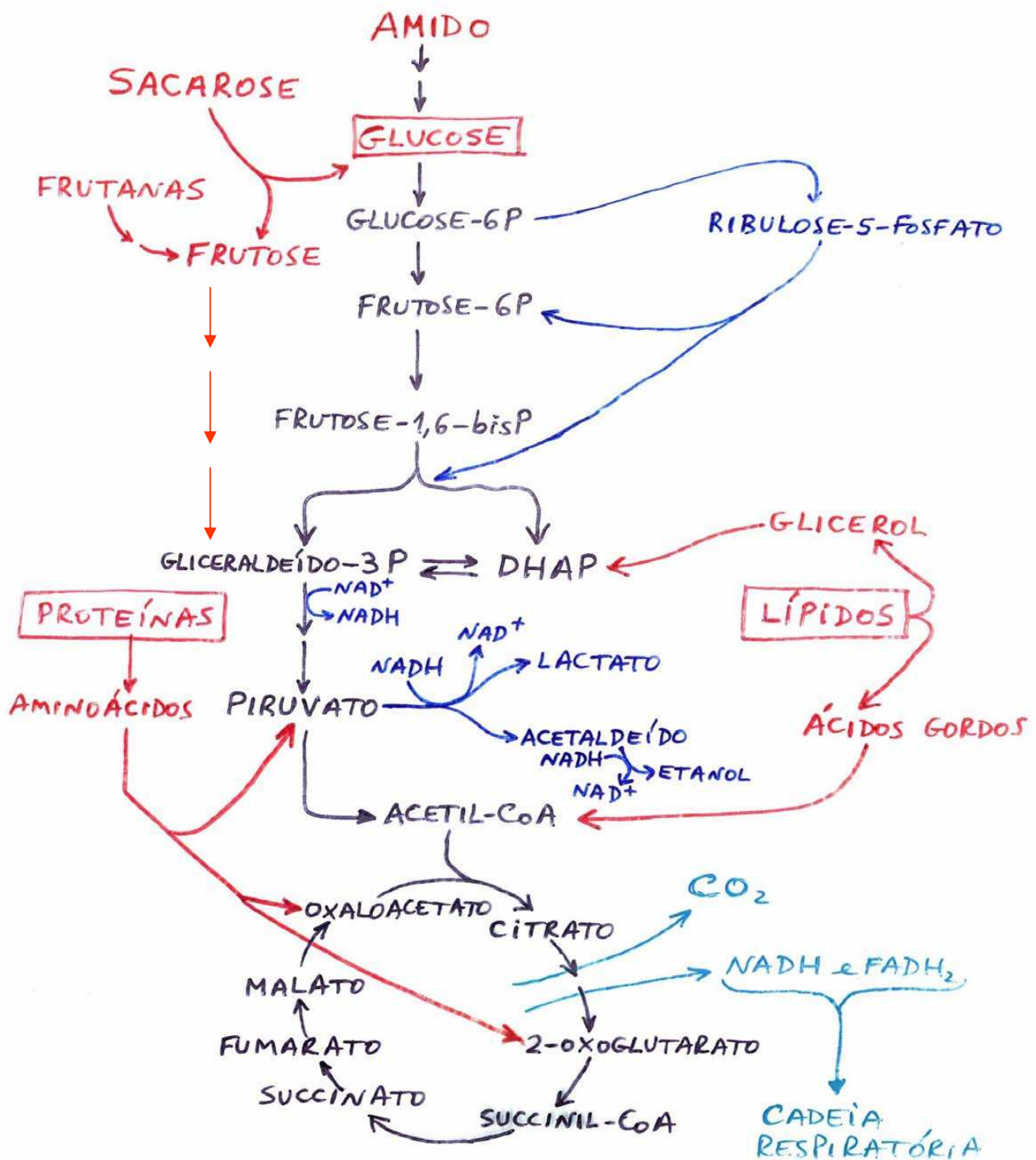
MUITOS INTERMEDIÁRIOS DA RESPIRAÇÃO SÃO UTILIZADOS COMO PRECURSORES EM REACÇÕES BIOSINTÉTICAS



As células utilizam três tipos principais de substratos respiratórios:

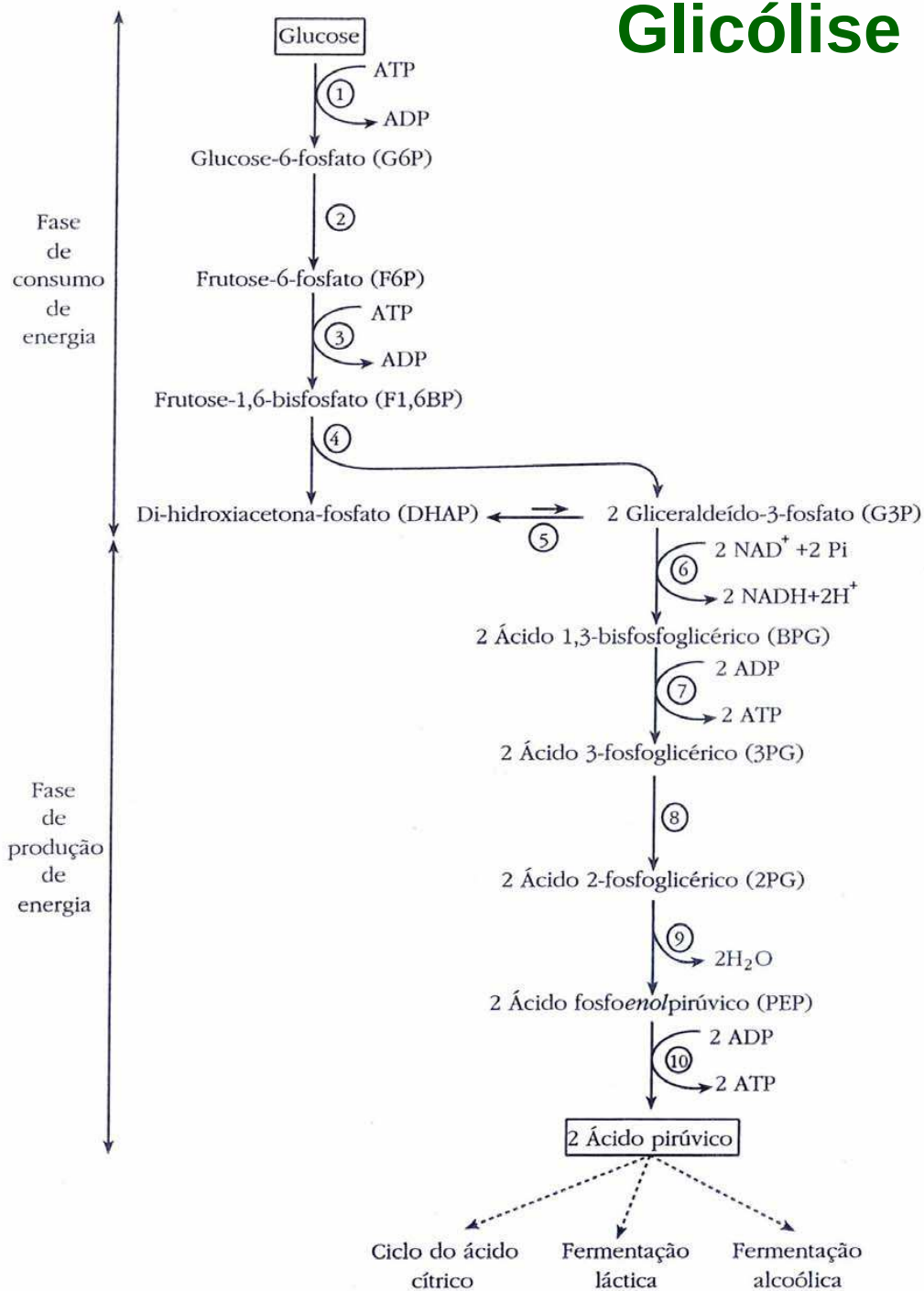
- Hidratos de carbono**
- Lípidos**
- Proteínas**

AS VIAS DEGRADATIVAS DOS DIFERENTES SUBSTRATOS RESPIRATÓRIOS CONVERGEM NO CICLO DO ÁCIDO CÍTRICO



Respiração de Hidratos de Carbono

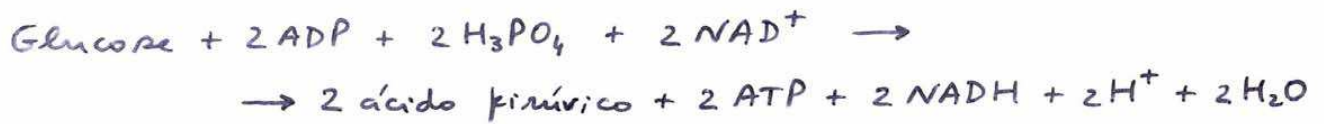
Glicólise



Esquema geral da glicólise

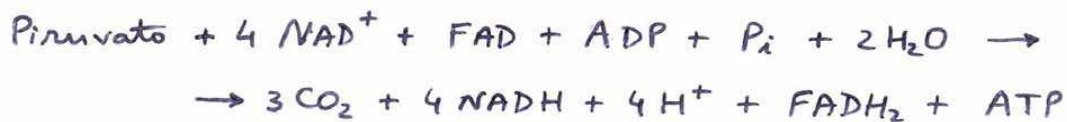
- 1- Hexocinase (EC 2.7.1.1)
- 2- Fosfoglucoisomerase ou gluco-6-fosfato isomerase (EC 5.3.1.9)
- 3- 6-fosfofrutocinase ou fosfofrutocinase 1 (EC 2.7.1.11)
- 4- Frutose-bisfosfato aldolase ou aldolase (EC 4.1.2.13)
- 5- Triose-fosfato isomerase (EC 5.3.1.1)
- 6- Gliceraldeído-3-fosfato desidrogenase (EC 1.2.1.12)
- 7- Fosfoglicerato cinase (EC 2.7.2.3)
- 8- Fosfoglicerato mutase (EC 5.4.2.1)
- 9- Enolase (EC 4.2.1.11)
- 10- Piruvato cinase (EC 2.7.1.40)

Equação global da glicólise

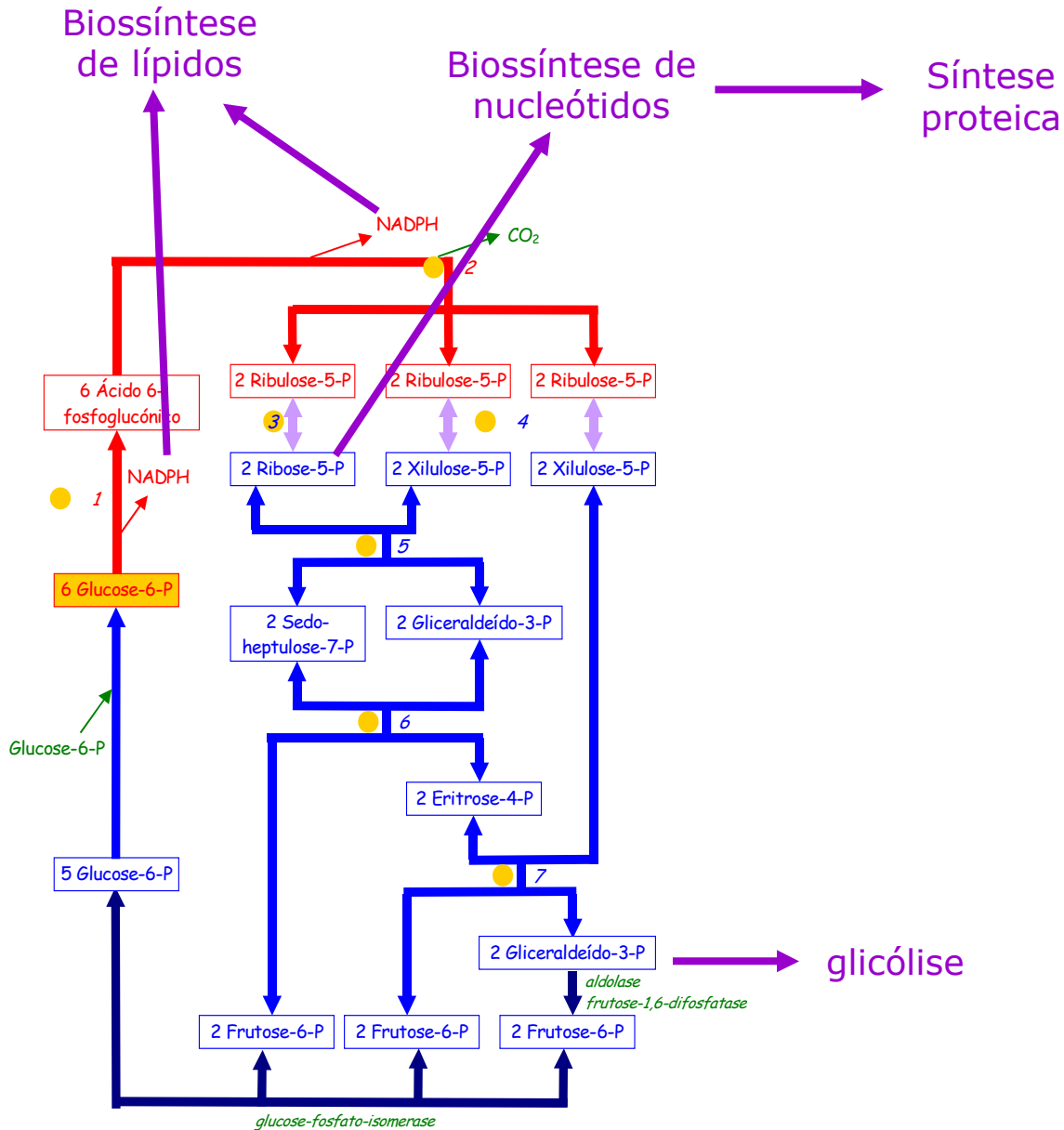


Equação global do ciclo do ácido cítrico

Considerado com a ~~via~~ via de oxidação aeróbica do piruvato



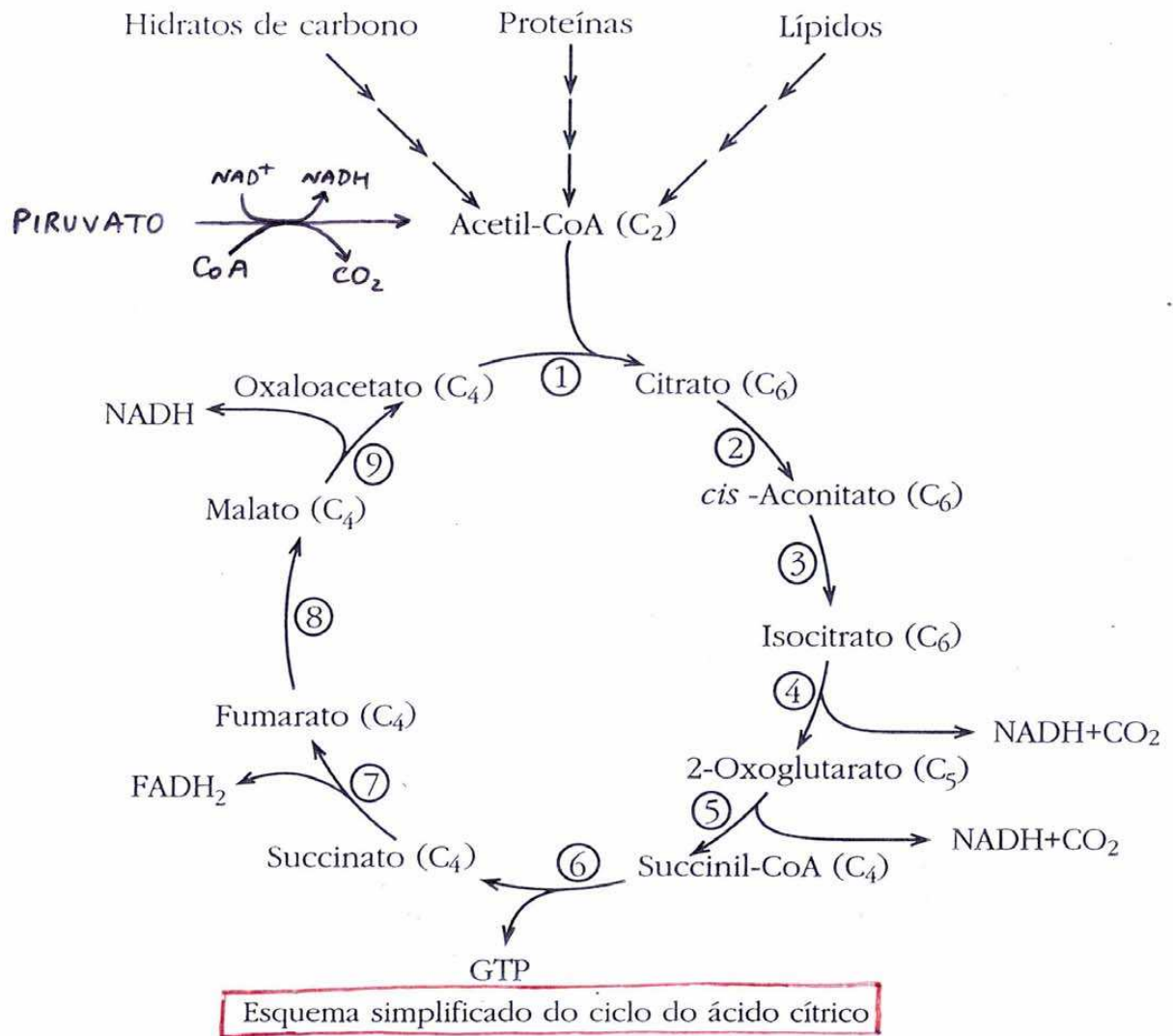
Via dos fosfatos de pentose



Principais produtos:

- NADPH
- Ribose-5-fosfato

Ciclo do ácido cítrico



- 1 - Citrato sintase (EC 4.1.3.7)
- 2 - Aconitato hidratase ou aconitase (EC 4.2.1.3)
- 3 - Aconitato hidratase ou aconitase (EC 4.2.1.3)
- 4 - Isocitrato desidrogenase (EC 1.1.1.41-42)
- 5 - Complexo multienzimático 2-oxoglutarato desidrogenase (EC 1.2.4.2)
- 6 - Succinato-CoA ligase ou succinil-CoA sintetase (EC 6.2.1.4-5)
- 7 - Succinato desidrogenase (EC 1.3.99.1)
- 8 - Fumarato hidratase ou fumarase (EC 4.2.1.2)
- 9 - Malato desidrogenase (EC 1.1.1.37)

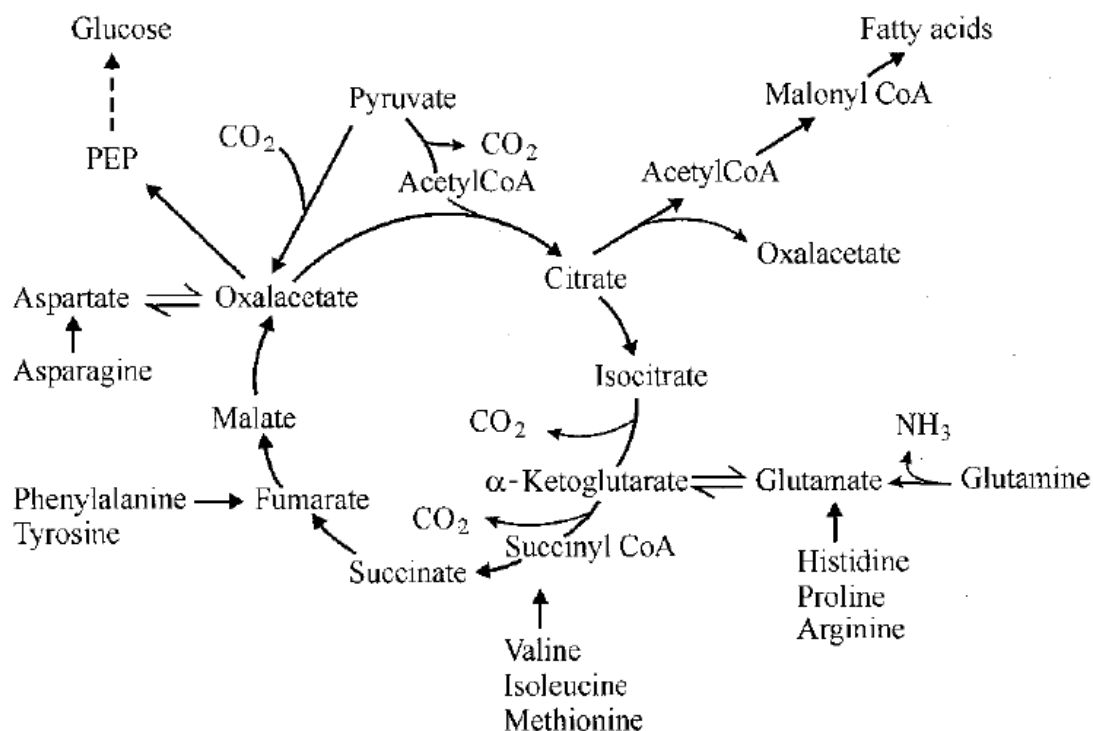
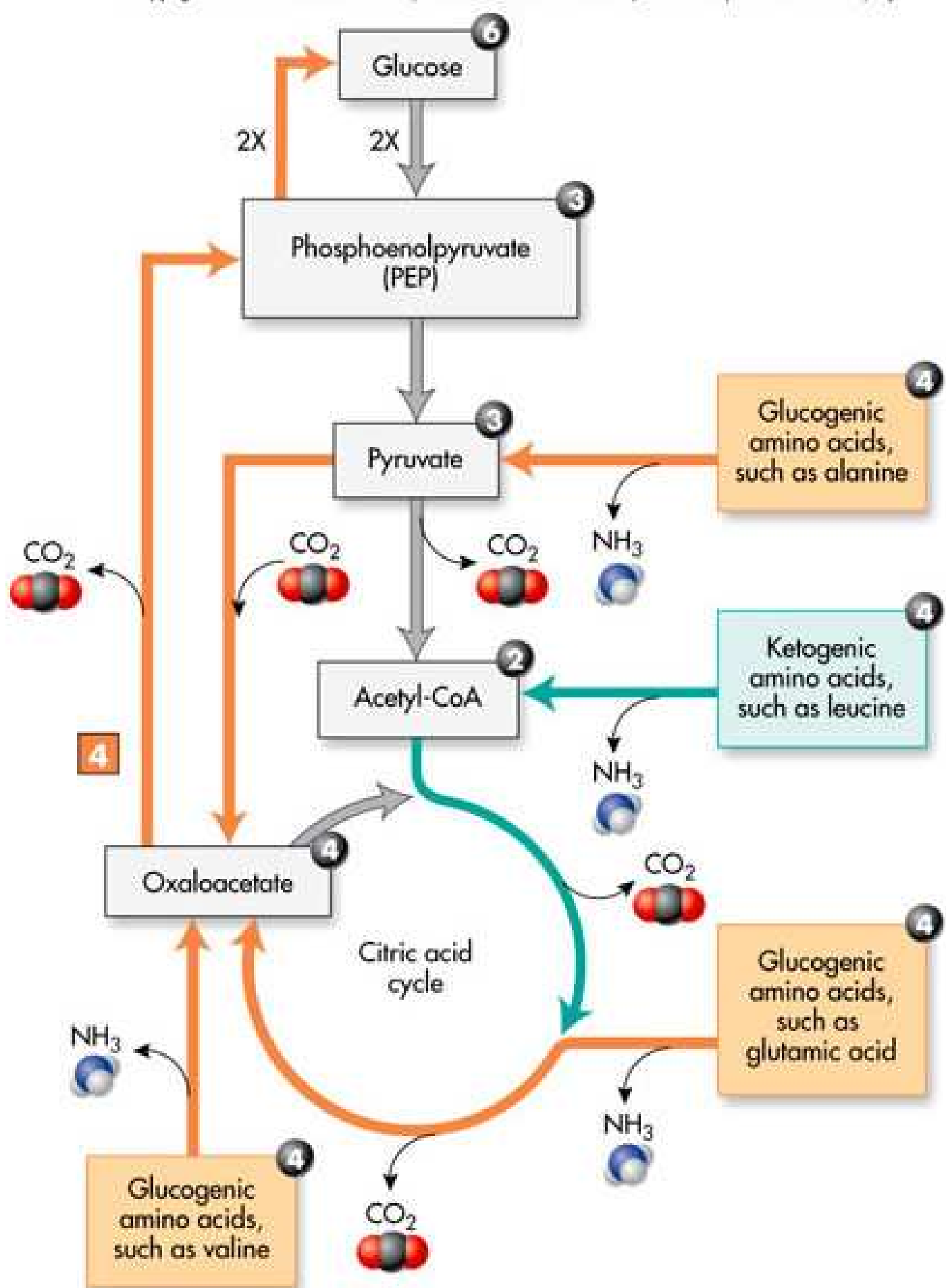


FIG. 1. Anaplerosis and cataplerosis in the TCA cycle. The TCA cycle is presented with the major anaplerotic and cataplerotic reactions illustrated. These include the net entry of amino acids into the cycle and the generation of oxaloacetate from pyruvate via pyruvate carboxylase. The cataplerotic reactions in the figure illustrate the linkage of this process to both gluconeogenesis and lipogenesis.

TABLE I
Metabolic fates of amino acids in the TCA cycle

Pyruvate can enter the TCA cycle after being carboxylated to oxaloacetate via pyruvate carboxylase (anaplerosis). Malate synthesized from the oxaloacetate exits the TCA cycle for gluconeogenesis. Pyruvate may also be decarboxylated to acetyl-CoA by pyruvate dehydrogenase complex and the acetyl-CoA then fully oxidized to CO₂ in the TCA cycle.

1. Amino acids converted to pyruvate
Alanine, serine, glycine, threonine, cysteine, tryptophan
2. Amino acids converted to oxaloacetate
Aspartate, asparagine
3. Amino acids converted to α-ketoglutarate
Glutamate, glutamine, proline, histidine, arginine
4. Amino acids converted to fumarate
Phenylalanine, tyrosine
5. Amino acids converted to succinyl-CoA
Methionine, isoleucine, valine
6. Amino acids converted to acetyl-CoA
Leucine, isoleucine, lysine, phenylalanine, tyrosine, tryptophan, threonine



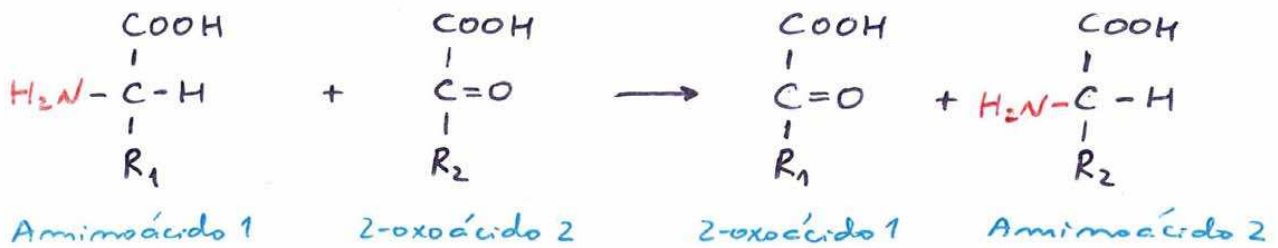
Respiração de Proteínas

α -Aminoácido:

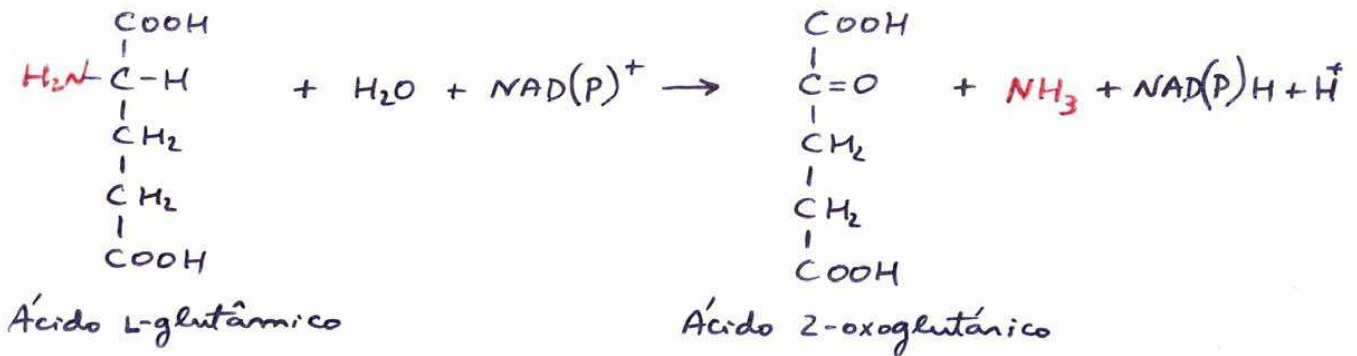


Catabolismo dos aminoácidos

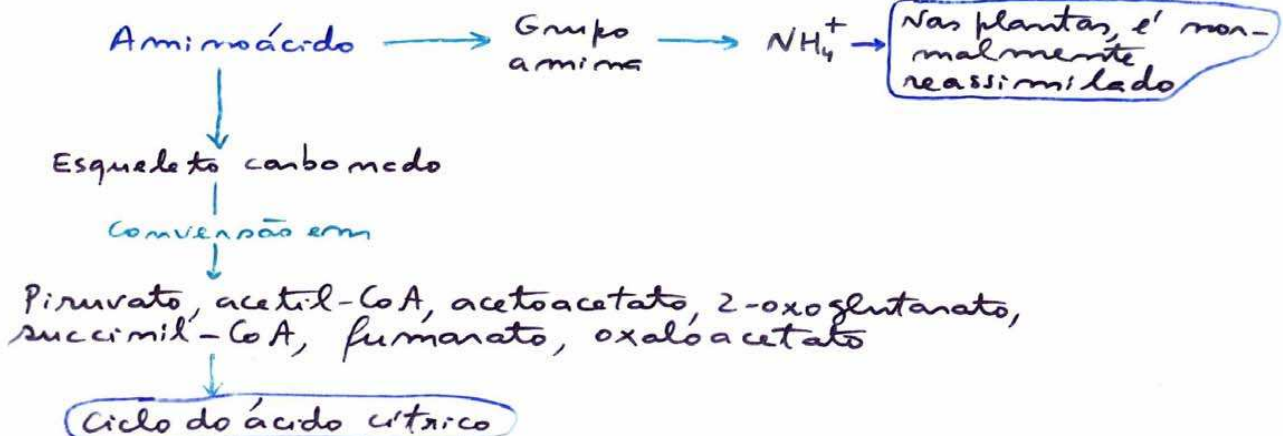
Exemplo de uma reação de transaminação



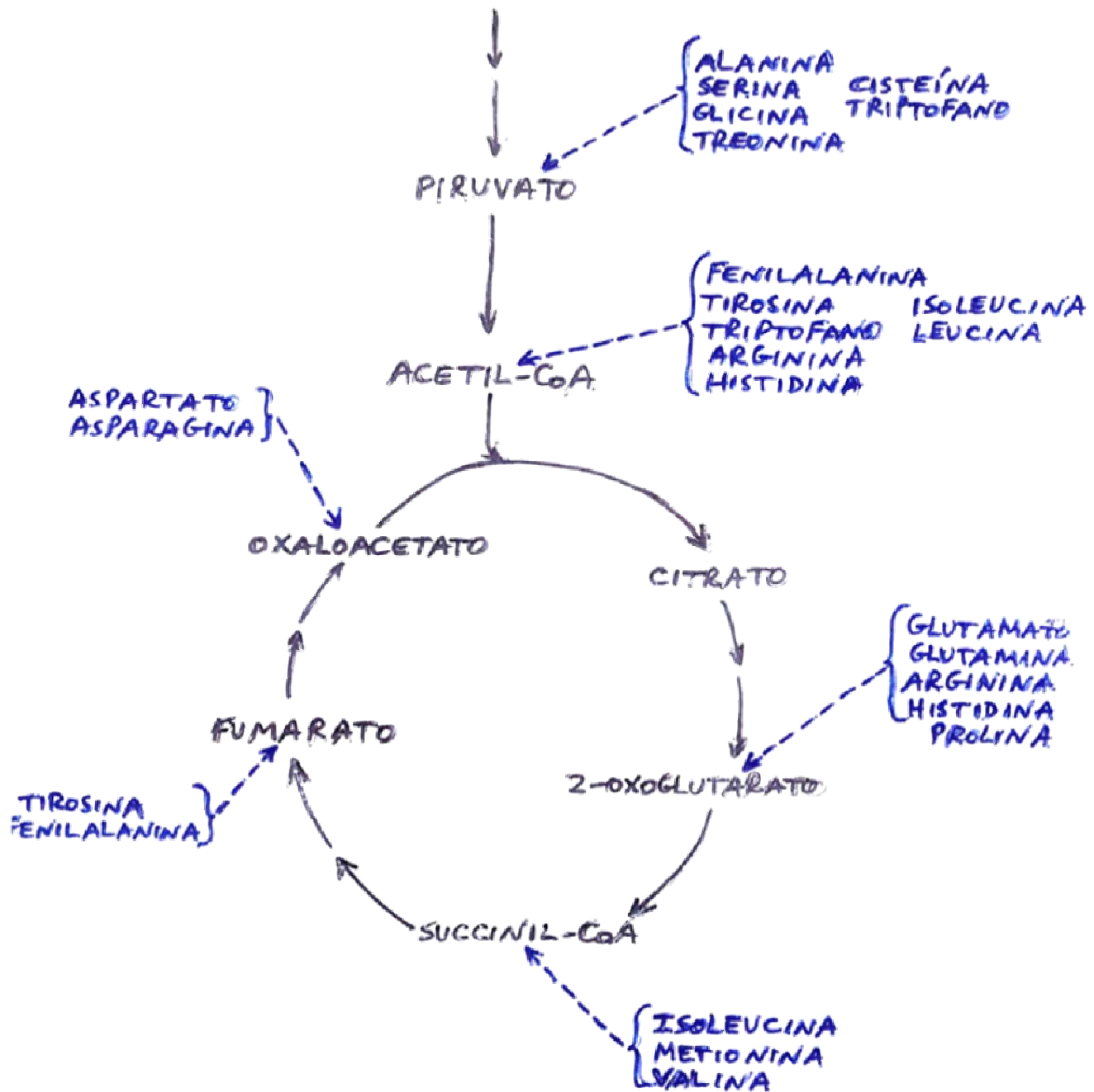
Reação de desaminação oxidativa catalisada pela enzima glutamato desidrogenase

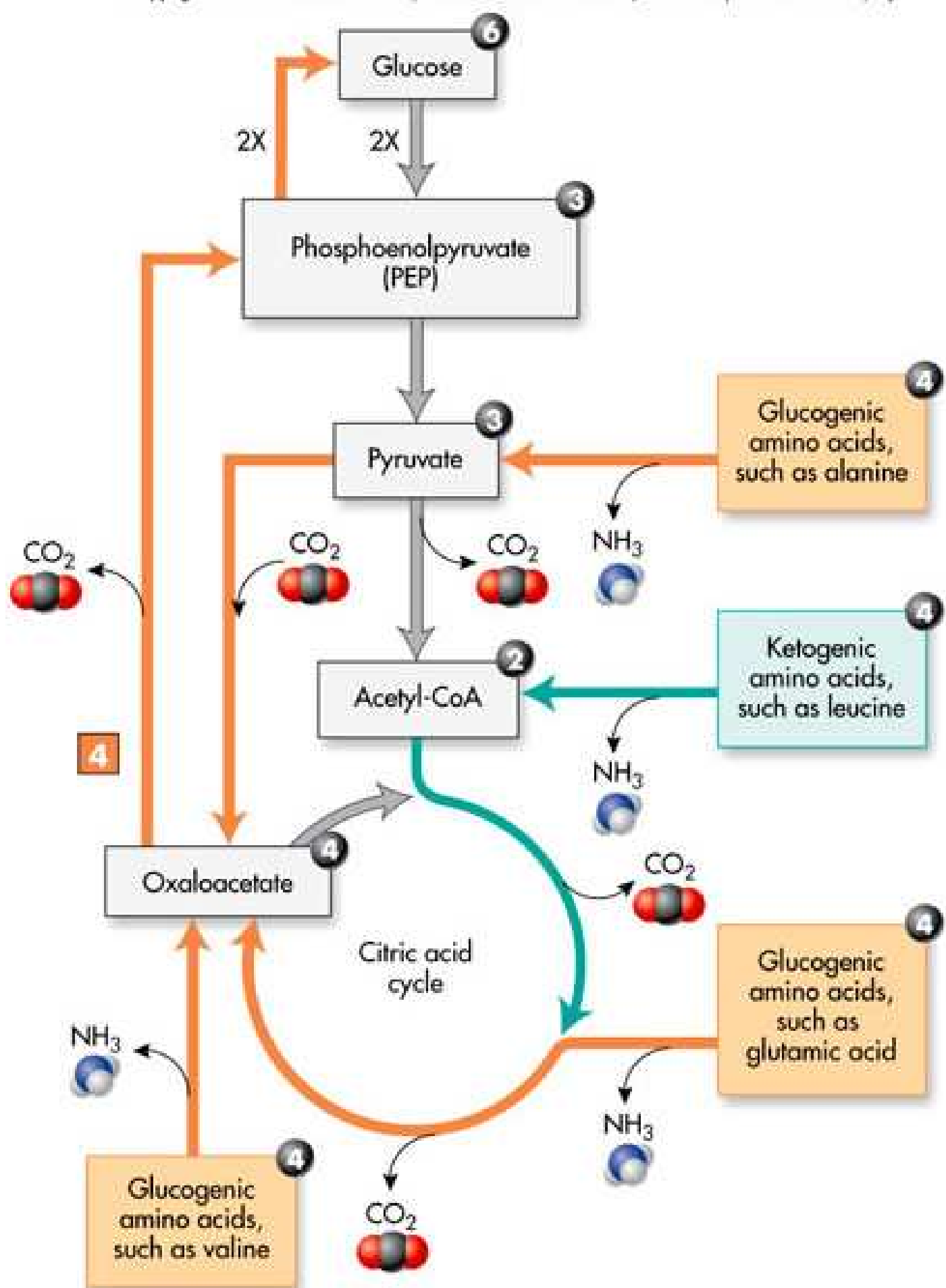


CATABOLISMO DOS AMINOÁCIDOS



O CATABOLISMO DOS AMINOÁCIDOS DA ORIGEM A 10
DIFERENTES INTERMEDIÁRIOS DAS SEQUÊNCIAS RESPIRATÓRIAS





Respiração de Lípidos

Catabolismo dos lípidos

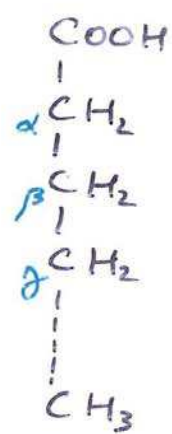
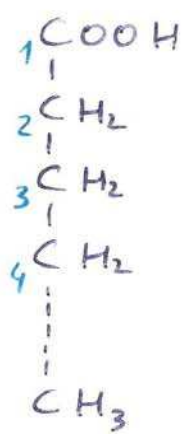
RS.3

A - DEGRADAÇÃO INICIAL DOS TRIACILGLICERÓIS



B - METABOLISMO DO GLICEROL

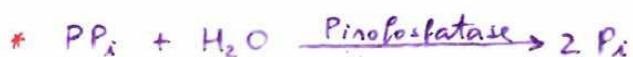
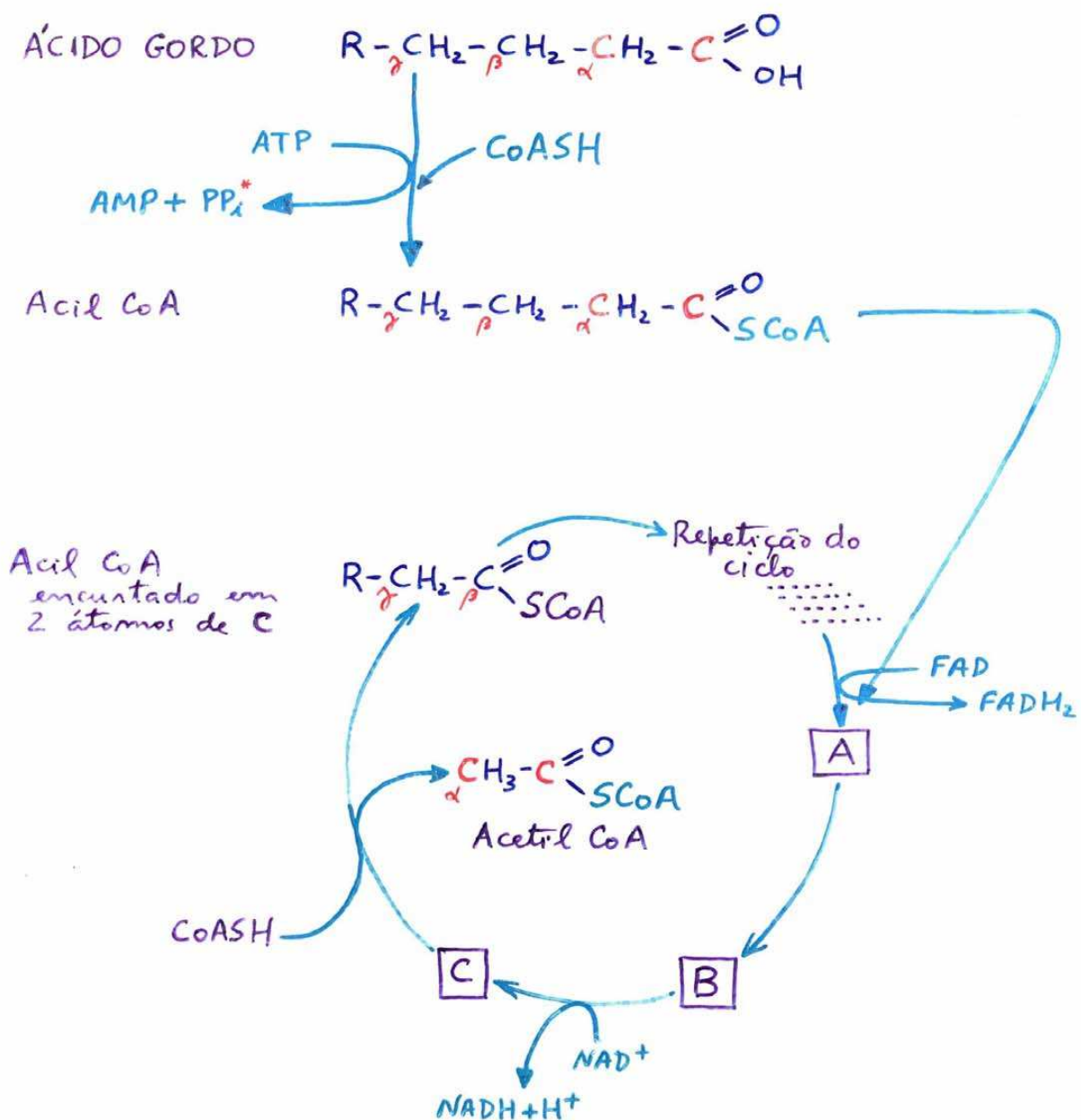




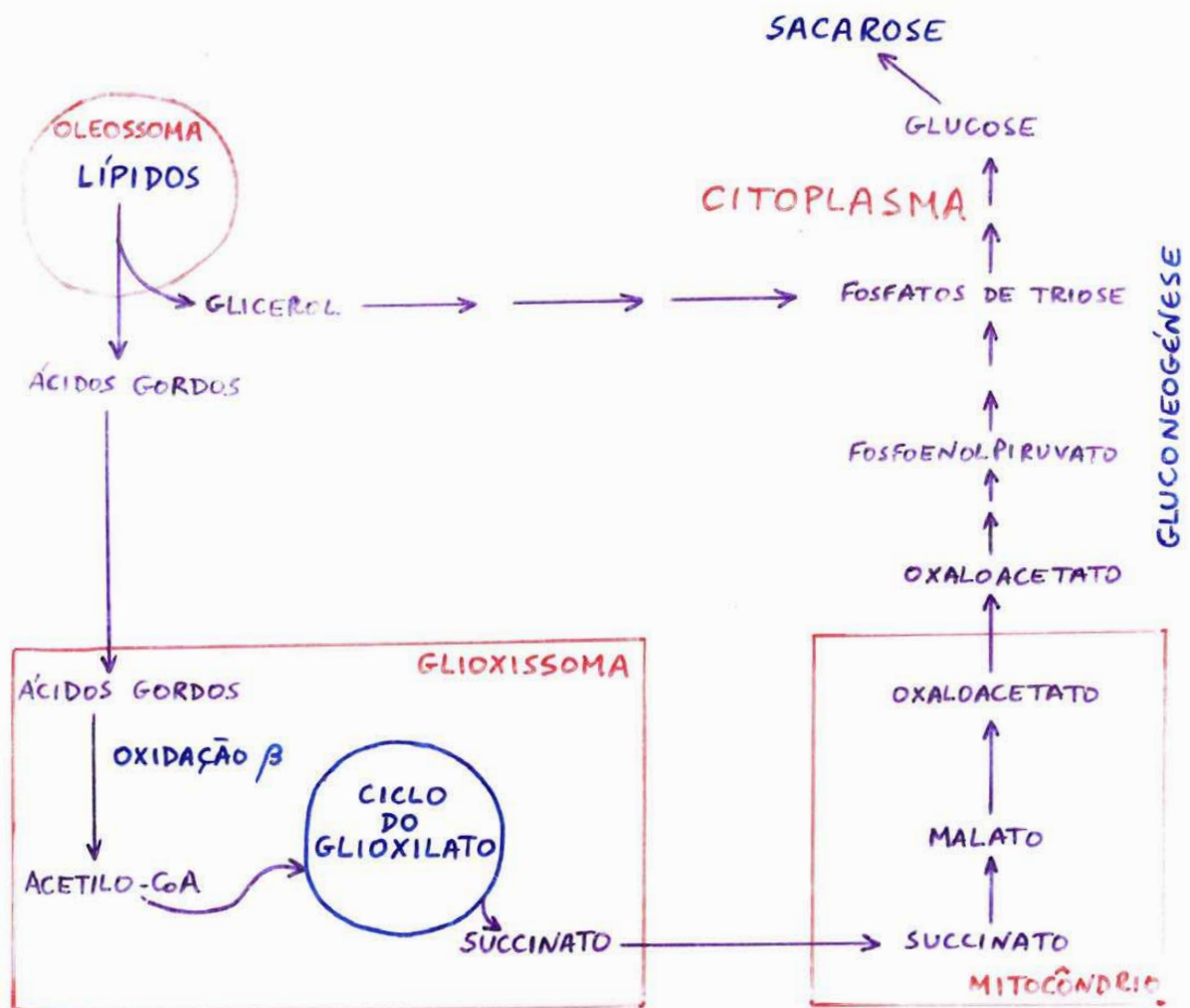
Oxidação β dos ácidos gordos

O qual ocorre na matriz mitocondrial.

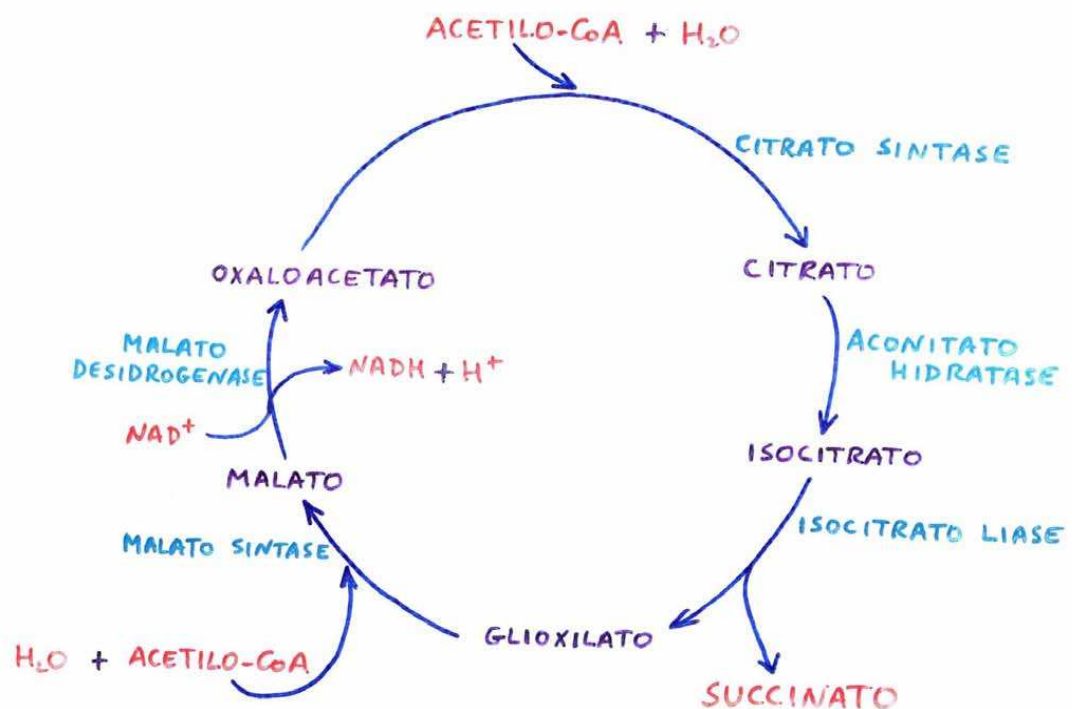
Cada volta do ciclo encunsta o ácido gordo em 2 átomos de C, produzindo uma molécula de acetil-CoA, uma de NADH, e uma de $FADH_2$.



REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA CONVERSÃO DOS LÍPIDOS A SACAROSE DURANTE A GERMINAÇÃO DAS SEMENTES OLEAGINOSAS.



Ciclo do glioxilato



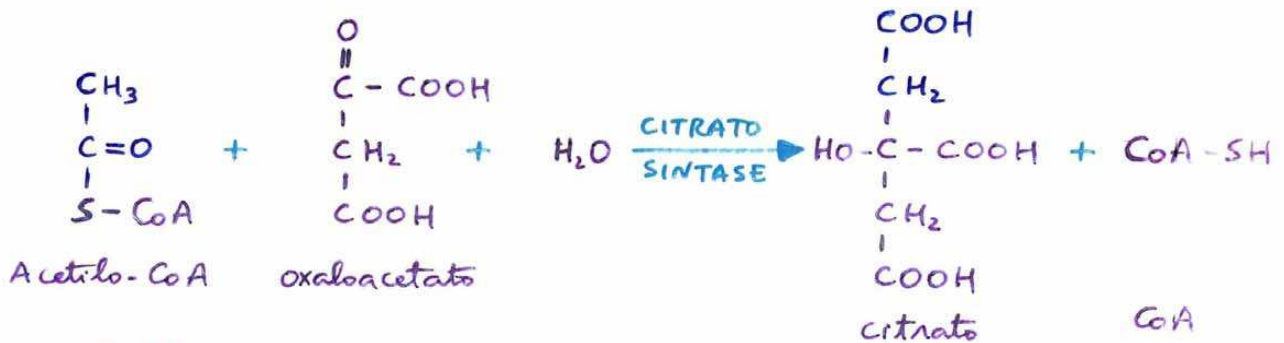
EQUAÇÃO GLOBAL DO CICLO DO GLIOXILATO



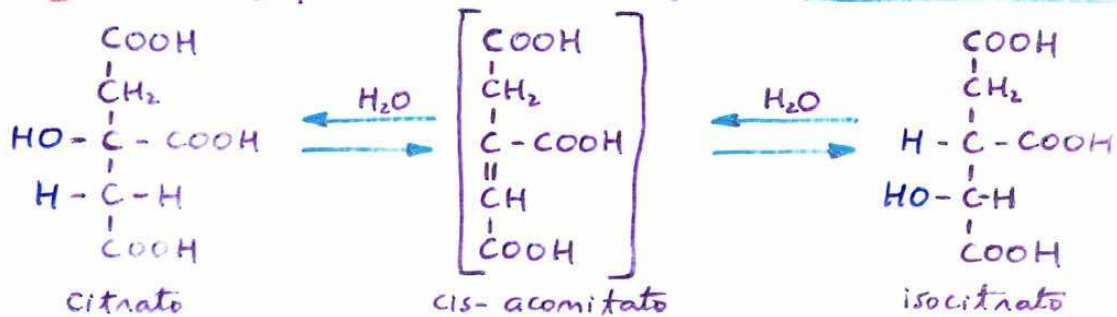
REACÇÕES DO CICLO DO GLIOXILATO

RS.7

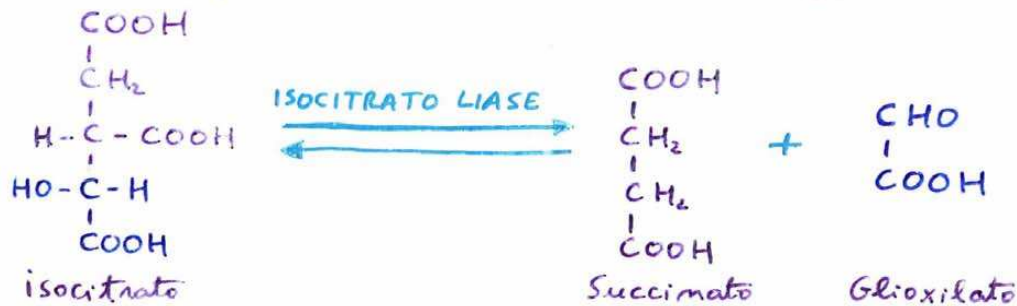
REACÇÃO ① - Condensação do Acetilo-CoA com o oxaloacetato
Enzima: Citrato sintase



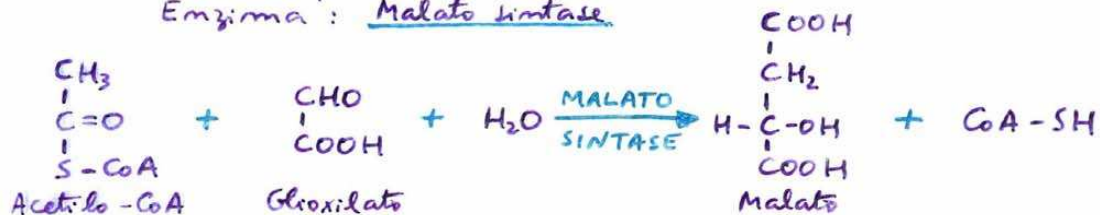
REACÇÃO ② - Isomerização do citrato. Enzima: Aconitase desidratase



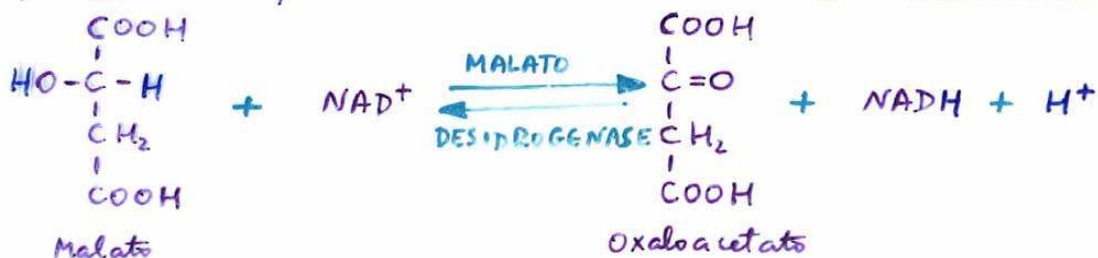
REACÇÃO ③ - Clivagem de isocitrato. Enzima: Isocitrato liase



REACÇÃO ④ - Condensação do glioxilato com outra molécula de Acetilo-CoA
Enzima: Malato sintase



REACÇÃO ⑤ - Oxidação do malato a oxaloacetato. Enzima: Malato desidrogenase

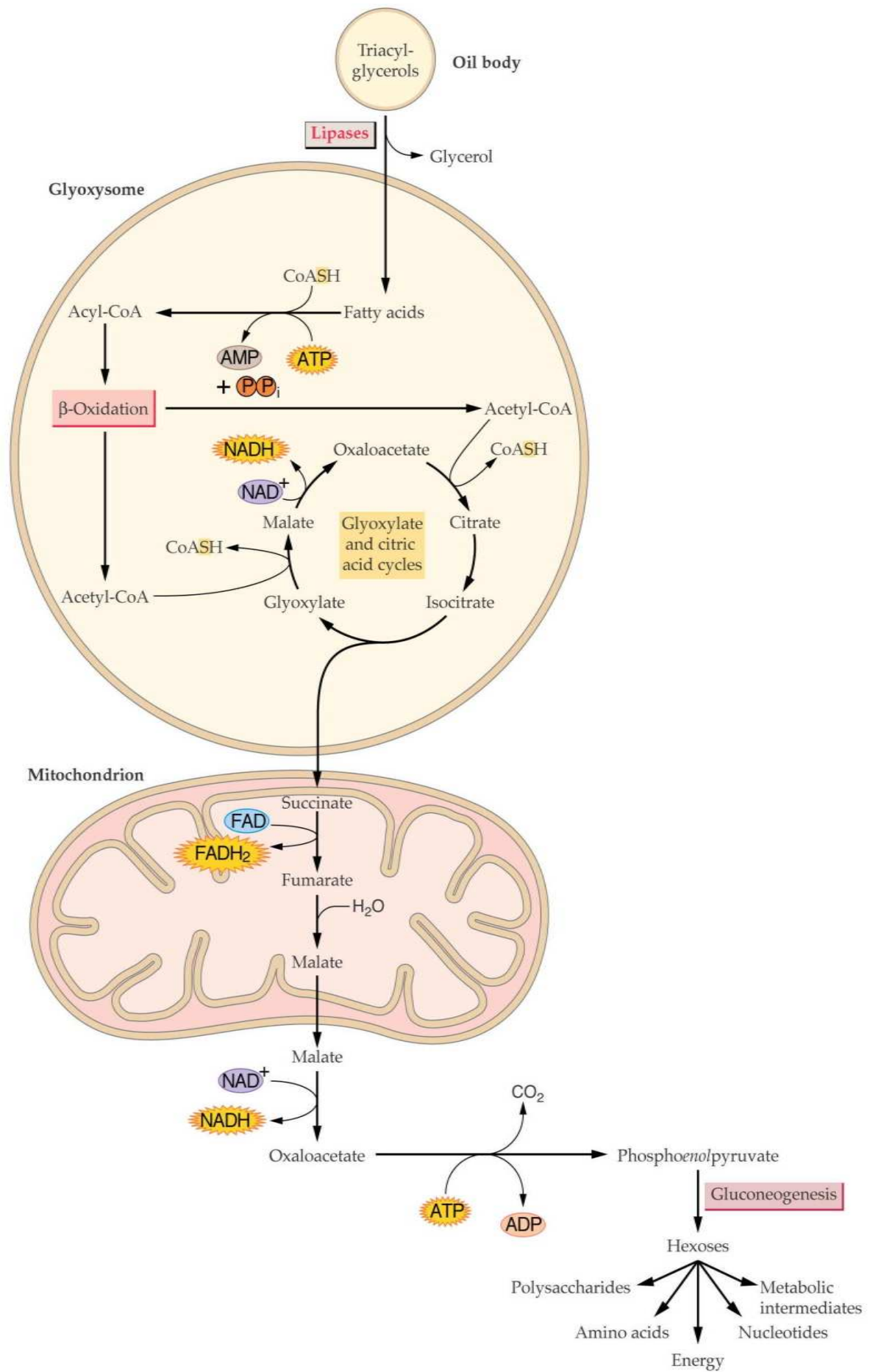


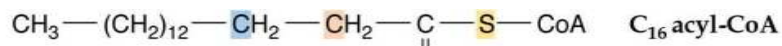
Breakdown of stored lipids

- This occurs in germinating seeds
- Plants can convert stored lipids to hexoses for transport
- Fatty acids $\longrightarrow$ hexoses $\rightarrow$ sucrose
- Sucrose is transported to the growing tissues

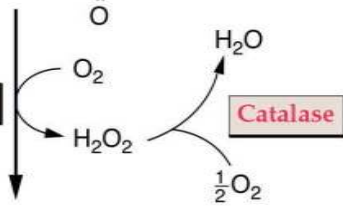
Breakdown of stored lipids

- **Fatty acids are broken down to acetyl CoA via beta oxidation**
- **Occurs in the glyoxysome**
- **Acetyl CoA is then converted to succinate via the glyoxylate cycle also in the glyoxysome**
- **Succinate is converted to PEP in the mitochondria and cytoplasm**
- **PEP is converted to sugar via gluconeogenesis**

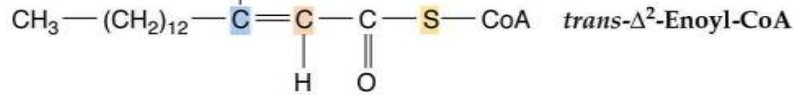




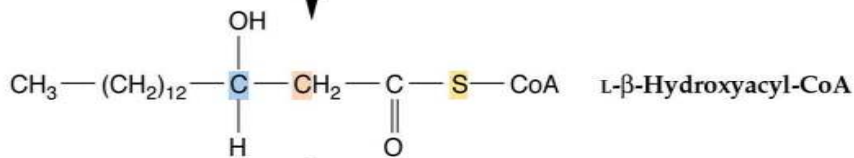
Acyl-CoA oxidase



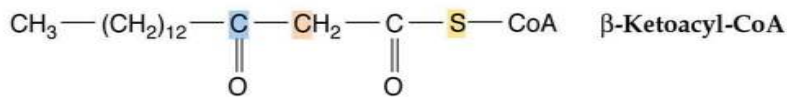
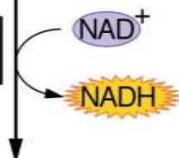
Peroxide is a toxic biproduct



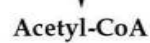
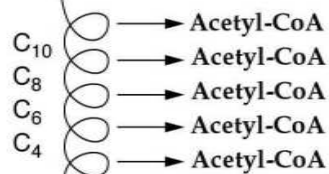
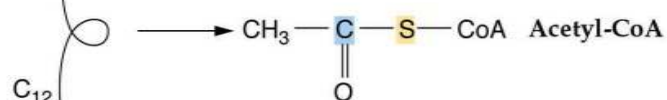
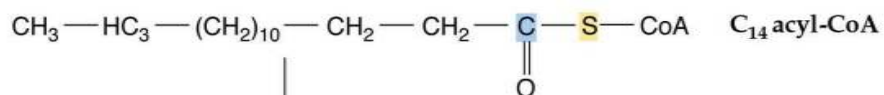
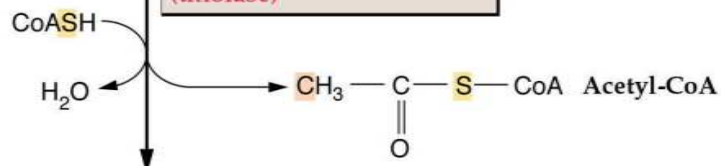
Enoyl-CoA hydratase



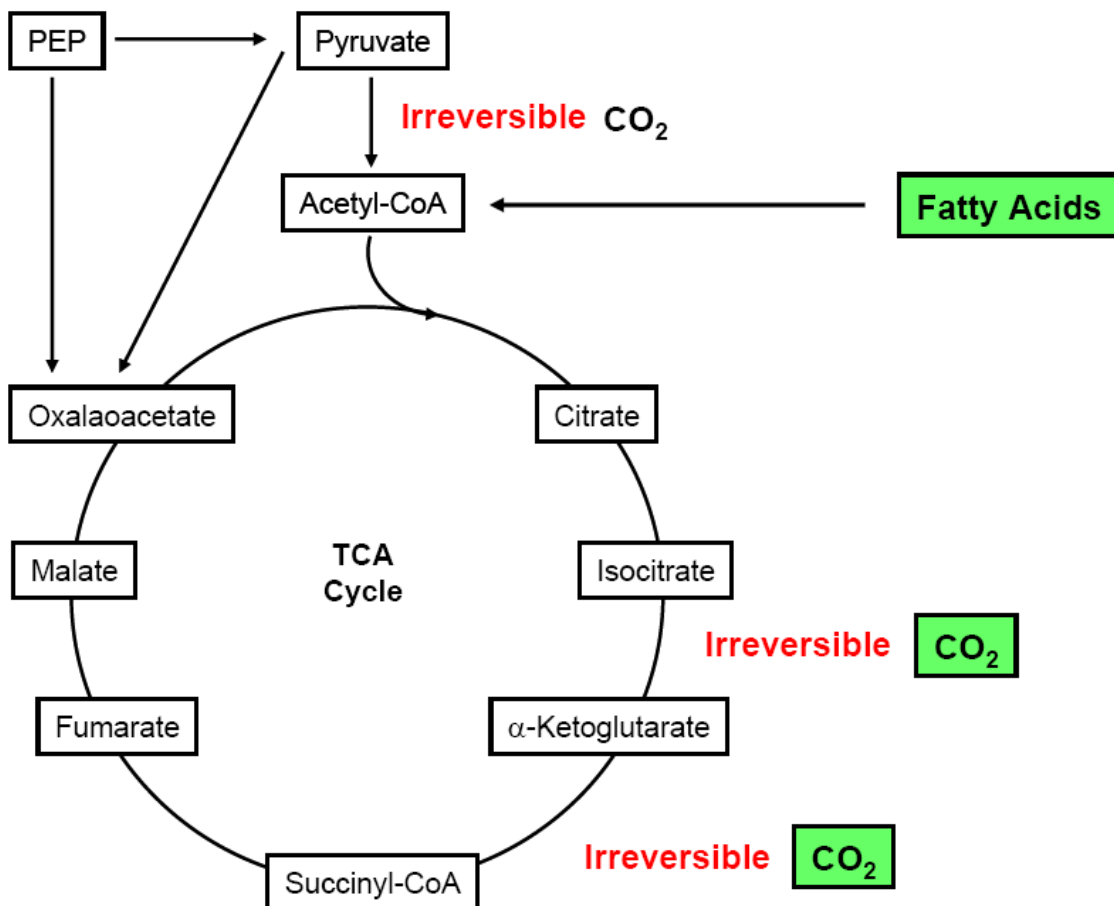
β -Hydroxyacyl-CoA dehydrogenase



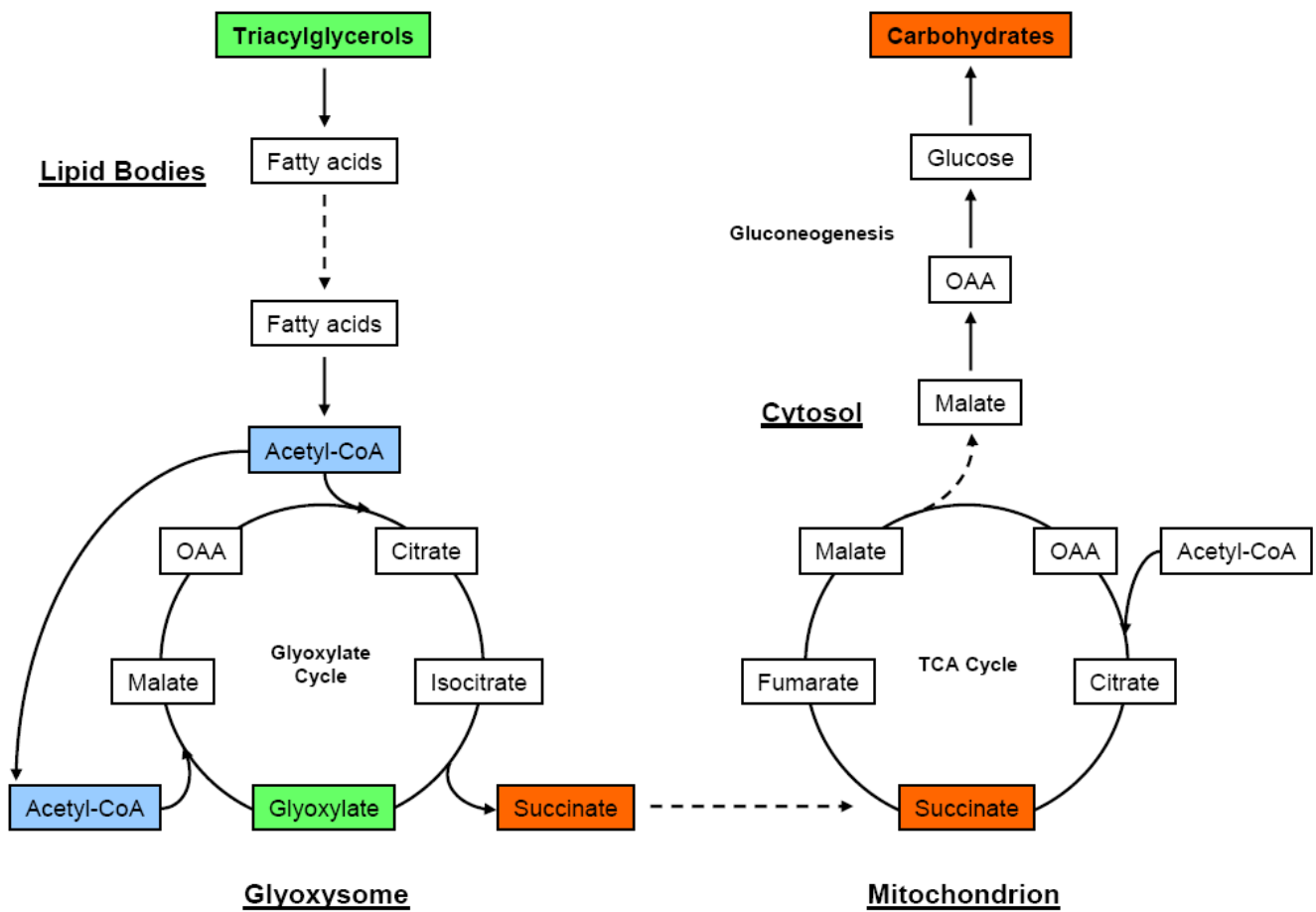
Acyl-CoA acetyltransferase (thiolase)



In Humans: No Gluconeogenesis from Acetyl-CoA !!



Eukaryotic Glyoxylate Cycle (Plants, Fungi)



Unique Reactions of Glyoxylate Cycle

A. Isocitrate Lyase

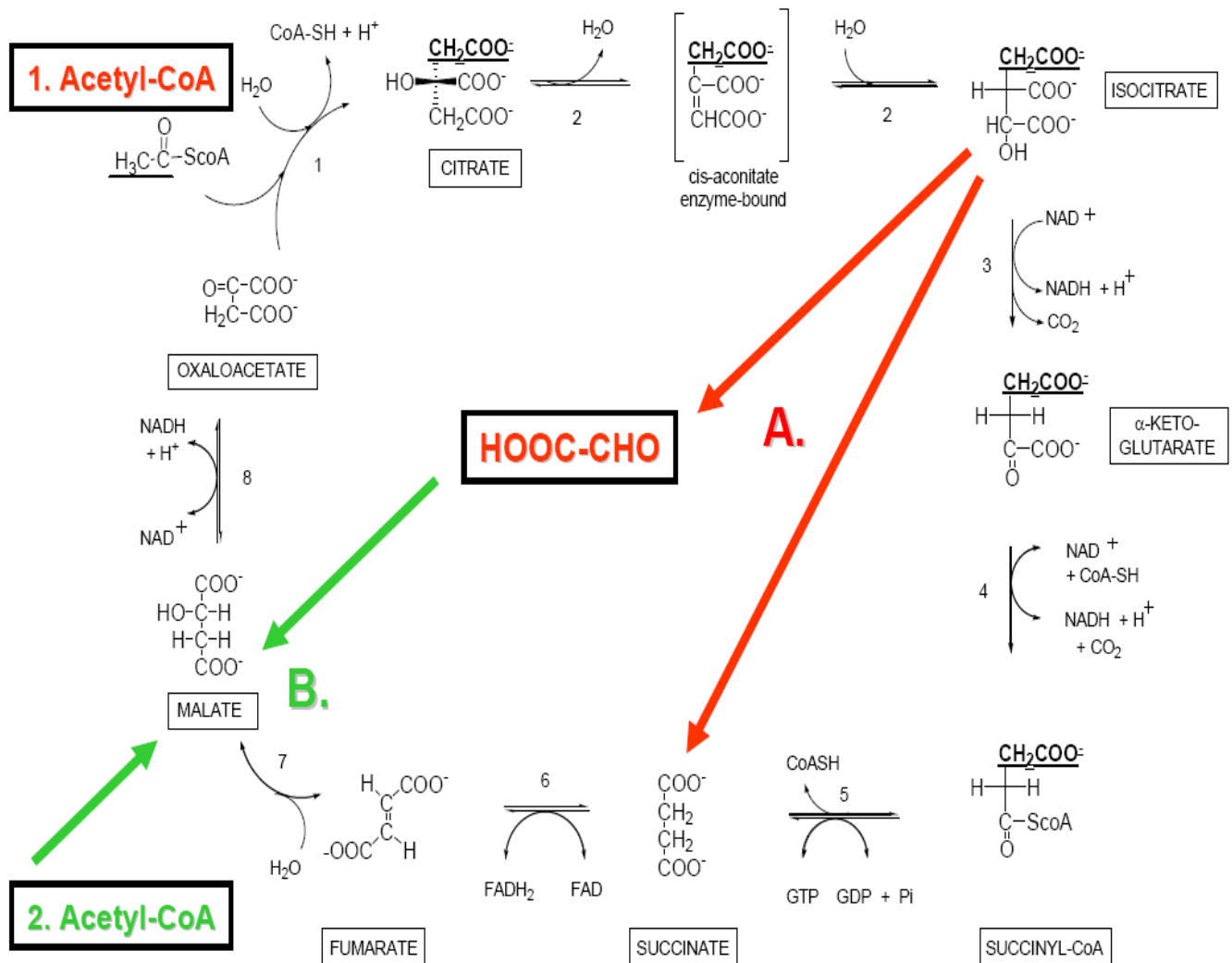
Isocitrate → Succinate + Glyoxylate

HOOC-CHO

B. Malate Synthase

Glyoxylate + Acetyl-CoA + H₂O → Malate + CoA-SH

TCA Cycle versus Glyoxylate Cycle



Algumas questões:

1 - Considere uma plântula de abóbora pouco tempo após a germinação de uma semente. Após terem sido gastos os poucos _____, os cotilédones ficam apenas com _____ como substratos respiratórios. O catabolismo destes na _____, _____ e _____ produz grande quantidade de _____ e de _____, mas não permite à jovem plântula obter os _____ de que necessita para crescer. Embora com perda de eficiência energética, ela é obrigada a converter os ácidos gordos em _____, por meio da _____, _____ e _____. Os hidratos de carbono assim formados podem então ser usados pela plântula para produção de _____, de _____ e dos _____ que necessita para crescer.

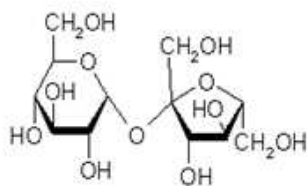
2 - Considere três processos metabólicos importantes das plantas: fotossíntese, respiração e fotorrespiração.

- a) Indique quais funcionam apenas de dia, apenas de noite e de noite e dia.
- b) A acumulação de matéria seca por uma planta depende do balanço relativo entre estes três processos. Indique, justificando, se a acumulação de matéria seca aumenta, diminui ou se mantém para uma planta de trigo incubada nas condições seguintes:
 - (i) – Um dia normal de Primavera (20 °C);
 - (ii) – Durante a noite (15 °C);
 - (iii) – A meio de um dia de Verão (35 °C).

3 – Considere o ciclo do glioxilato durante a germinação das sementes ricas em lípidos.

- a) Identifique três plantas em que este ciclo ocorre;
- b) Qual a principal diferença entre este ciclo e o ciclo do ácido cítrico?
- c) Porque razão estas sementes em germinação recorrem a este ciclo, se poderiam seguir, de um modo energeticamente mais eficiente, a via universal de degradação dos ácidos gordos?
- d) O fornecimento, às escuras, de sacarose marcada com carbono radioactivo (^{14}C) a plântulas mutantes de *Arabidopsis thaliana* que não expressam a enzima isocitrato liase, permitiu observar que, tanto a sacarose fornecida exogenamente, como os ácidos gordos presentes nos lípidos de reserva são mobilizados. Como explica esta observação? Onde espera encontrar o ^{14}C depois da metabolização da sacarose radioactiva?

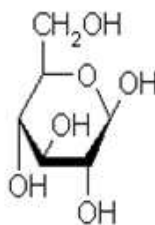
4 - Considere os seguintes compostos envolvidos na respiração durante a germinação de uma semente de feijão:



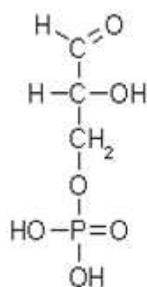
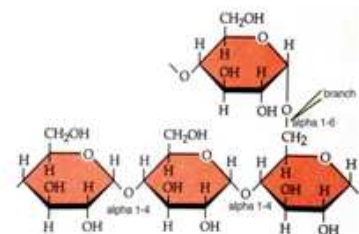
A



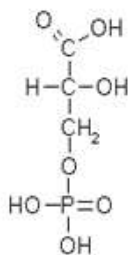
B



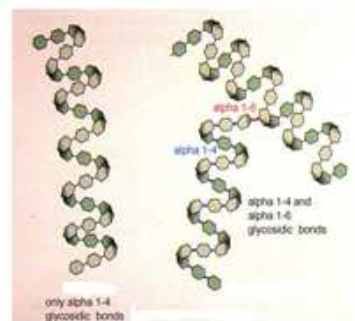
C



D



E



E

- Indique os **três** elementos principais que as plantas obtêm com a respiração;
- Quais os **três** tipos principais de substratos respiratórios?
- Há alguma relação entre o estado de redução de um composto e o seu conteúdo em energia? Em caso afirmativo, indique qual?
- Identifique cada um destes compostos;
- Coloque-os pela ordem sequencial em que aparecem na respiração;
- Há uma fase, entre dois destes compostos, que fornece energia e potencial redutor à célula e que assume grande importância fisiológica quando a plântula de feijão é passada de um solo normal para um terreno alagado. Explique porquê?
- Indique o papel desempenhado por cada um na respiração.

5 - Considere a respiração e a fotossíntese.

- a) Indique as 3 funções principais da respiração.
- b) Indique os 3 principais tipos de substratos respiratórios utilizados pelas células na respiração.
- c) Porque razão as sementes ricas em lípidos transformam estes compostos em sacarose durante a germinação?

6 - Considere o catabolismo dos lípidos durante a germinação de uma semente de rícino.

- a) Quais as principais vias metabólicas envolvidas no catabolismo dos triacilgliceróis?
- b) Explique porque razão estas células, ao contrário das células animais, conseguem crescer se lhes for fornecido acetato como única fonte de carbono.
- c) Sendo a via universal de degradação dos lípidos (β -oxidação dos ácidos gordos, ciclo de Krebs e cadeia mitocondrial de transporte de electrões) muito mais eficiente do ponto de vista energético, justifique porque usam as sementes de rícino outro processo.

7 - Identifique uma semelhança e uma diferença fundamental entre cada um dos seguintes conceitos:

- a) A Rubisco e a PEP carboxilase.
- b) O metabolismo C_4 e o metabolismo CAM.
- c) A Rubisco do tipo I de plantas superiores e a Rubisco do tipo I de bactérias fotossintéticas.
- d) Peroxissomas e glioxissomas.

FIM