



Universidade de São Paulo  
Escola de Engenharia de Lorena  
Departamento de Biotecnologia

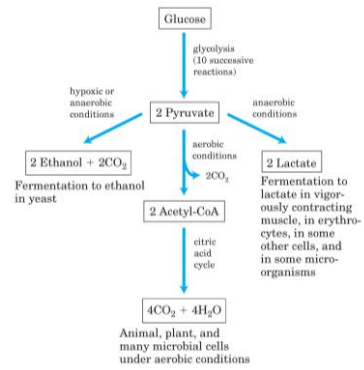


Curso Engenharia Química  
Disciplina Bioquímica

## Metabolismo de Carboidratos –Ciclo do Ácido Cítrico e Fosforilação Oxidativa

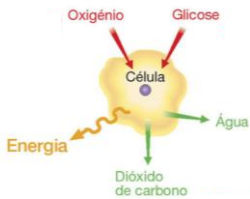
Prof: Tatiane da Franca Silva  
tatianedafranca@usp.br

### Destinos do Piruvato na Célula



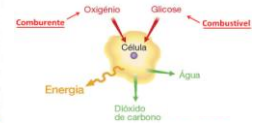
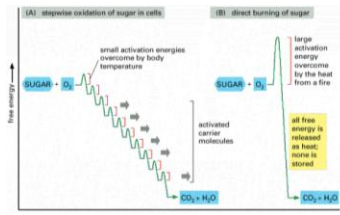
### Respiração Celular

- ❖ Fase aeróbica do catabolismo
  - ❖ Captação de O<sub>2</sub> e eliminação de CO<sub>2</sub>
- $$\text{Glucose} + \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$$



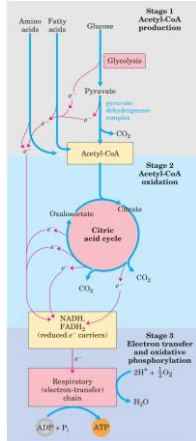
### Respiração Celular X Combustão

- ❖ Combustão Completa:
- $$\text{Combustível} + \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$$



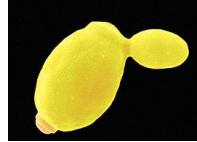
## Metabolismo Aeróbico

- ❖ Estágio 1: Produção de acetil-CoA
- ❖ Estágio 2: Ciclo do Ácido Cítrico
- ❖ Estágio 3: Fosforilação Oxidativa

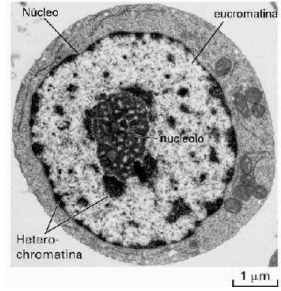


## Estágio 1: Produção de Acetil-coA

❖ Ocorre na mitocôndria



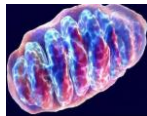
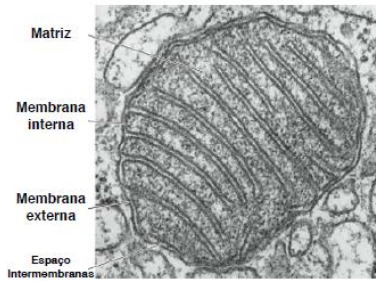
Microscopia de varredura  
*Saccharomyces cerevisiae*



Microscopia eletrônica *Saccharomyces cerevisiae*

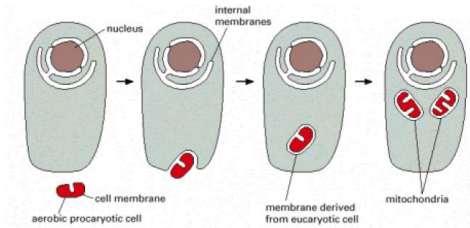
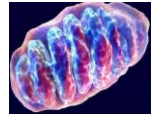
## Estrutura da Mitocôndria

❖ Mitocôndria: organela celular delimitados por duas membranas



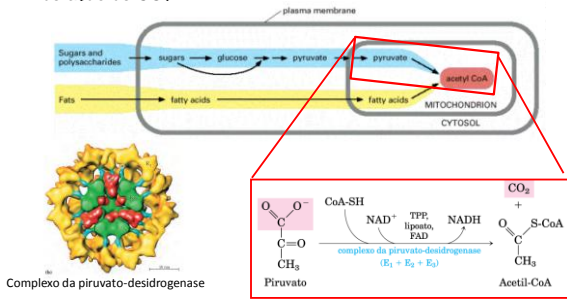
## Origem da Mitocôndria

- ❖ Teoria do Endossimbionte
- ❖ Procaríoto aeróbio



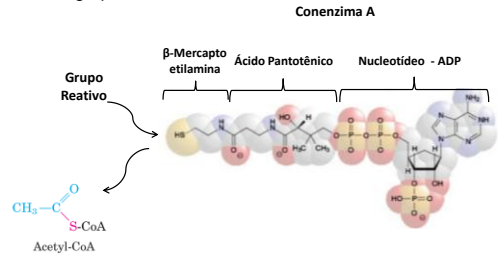
### Estágio 1: Produção de Acetil-coA

- ❖ Na matriz Mitocôndrial
- ❖ Conversão do Piruvato em Acetil-CoA
- ❖ Liberação de CO<sub>2</sub>



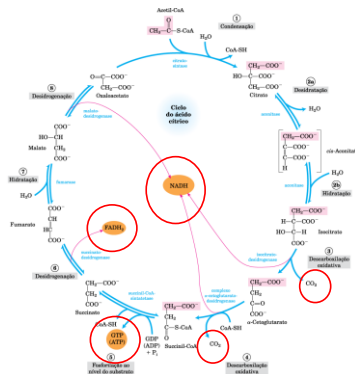
### O que é o acetil-coA?

- ❖ Coenzima A (coA ou coASH)
- ❖ Composto por diferentes elementos
- ❖ Doador de grupo Acetil



### Estágio 2: Reações do Ciclo do Ácido Cítrico

- ❖ Ciclo de Krebs
- ❖ Na matriz Mitocondrial
- ❖ Oxidação de acetil-CoA
- ❖ Total de 8 reações



### Produtos do ciclo do Ácido Cítrico

- ❖ Cada volta do Ciclo: 4 NADH + 1 ATP + 1 FADH<sub>2</sub> + 3CO<sub>2</sub>
- ❖ Até o segundo estágio da respiração

Cadê os ATPs??

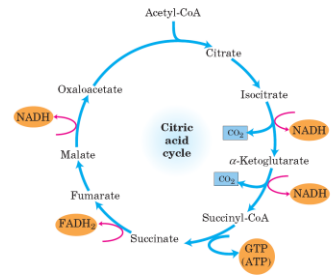
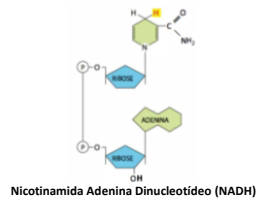
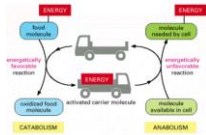
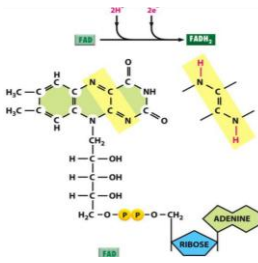


FIGURE 16-13 Products of one turn of the citric acid cycle. At each

### Conservação da energia da oxidação de acetil-coA

- ❖ Moléculas Carreadoras Ativas
- ❖  $FADH_2$  : flavina adenine dinucleotide



### Produção de Ácido Cítrico

- ❖ Aplicações na Industria Alimentícia, Farmacêutica, têxtil, etc..
- ❖ Principais produtores utilizados na industriais: Fungos Filamentosos. do gênero *Aspergillus*

This block contains a collage of images related to citric acid production. It includes a petri dish with *Aspergillus* fungus, the chemical structure of citrate (OC(CC(=O)O)(O)C(=O)O), and various commercial products like AFD citric acid powder, a jar of citric acid, and a bottle of citric acid solution. The text 'Produção: 2,1 milhões de ton. /ano' is also present.

### Produção de Citrato

The diagram illustrates the Citric Acid Cycle. It shows the conversion of Acetyl-CoA to Citrate, which is then converted to Isocitrate. The cycle continues through α-Ketoglutarate, Succinyl-CoA, Succinate, Fumarate, Malate, and Oxaloacetate, which then combines with Acetyl-CoA to form Citrate. The diagram is labeled 'Citric acid cycle' and includes a red 'X' over the Citrate to Isocitrate conversion step. A chemical reaction is shown in a red box: Citrate + H<sub>2</sub>O → cis-Aconitate + H<sub>2</sub>O, which is then converted to Isocitrate.

### Produção de Citrato

- ❖ Aconitase: Fe é um cofator
- ❖ Inibição: pH<3,0 ↓ Fe

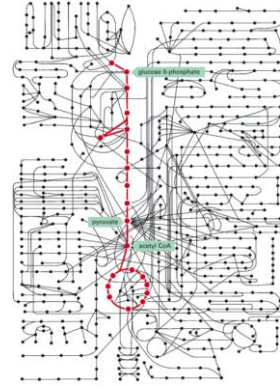
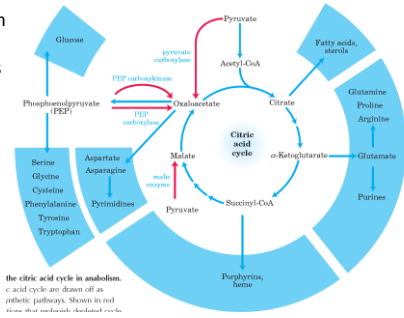


This block contains an image of a bowl containing citric acid powder and a lemon, and a 3D surface representation of the Aconitase enzyme. The text 'Aconitase' is written below the enzyme model.

## Uso de Intermediários do Ciclo

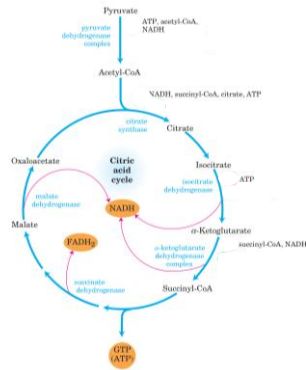
❖ Podem ser drenados para outras vias

❖ Reações repõem mantêm o nível dos intermediários suportando o ciclo



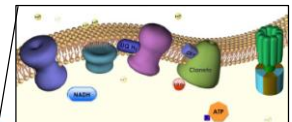
## Regulação de Fluxo Metabólito

-  Induz
-  Reprime

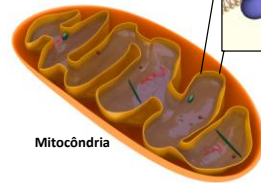


## Para aonde vão os elétrons carreados?

❖ Carreadores ativados produzidos na Glicólise e Ciclo do Ácido cítrico entregam seus elétrons à Cadeia Transportadora de Elétrons.



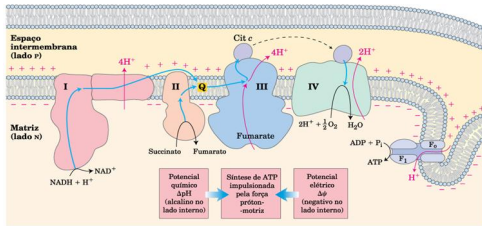
Membrana e interna com complexos da cadeia transportadora de elétrons



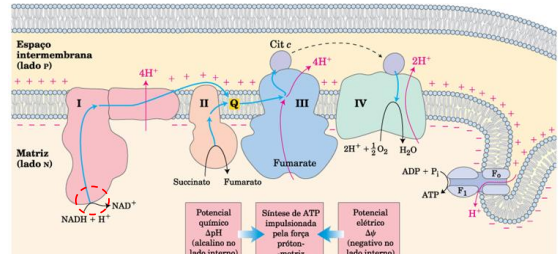
Mitocôndria

**Estágio 3: Fosforilação Oxidativa**

- ❖ Transporte de elétrons gera bombeamento de prótons para o espaço intermembrana.
- ❖ Cadeia Respiratória ou Transportadora de Elétrons: 4 Complexos



❖ **Complexo I: NADH desidrogenase** - a cada 2 elétrons bombeia 4 H<sup>+</sup>

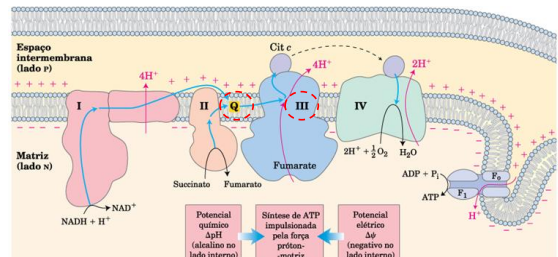
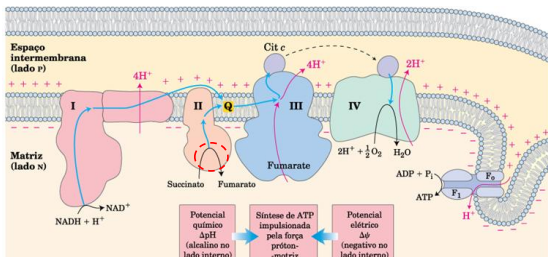


- ❖ **Complexo I: NADH desidrogenase** - a cada 2 elétrons bombeia 4 H<sup>+</sup>
- ❖ **Complexo II: Succinato desidrogenase** – Recebe elétrons de FADH

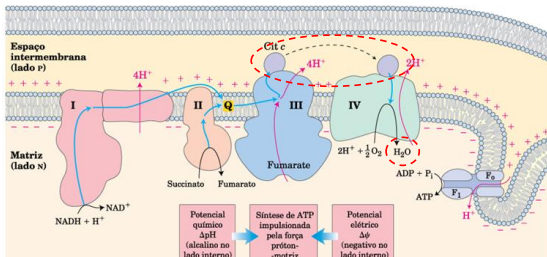
- ❖ **Complexo I: NADH desidrogenase** - a cada 2 elétrons bombeia 4 H<sup>+</sup>
- ❖ **Complexo II: Succinato desidrogenase**

❖ **Ubiquinona:** transportador móvel

❖ **Complexo III: Citocromo b-c1:** a cada 2 elétrons bombeia 4 H<sup>+</sup>

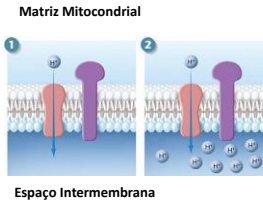


- ❖ Ubiquinona: transportador móvel
  - ❖ Complexo III: Citocromo b-c1- a cada 2 elétrons bombeia 4 H<sup>+</sup>
  - ❖ Citocromo C: transportador móvel
  - ❖ Complexo IV: Citocromo oxidase a cada 2 elétrons bombeia 1H<sup>+</sup>.
- Oxigênio recebe 4 elétrons formando 2H<sub>2</sub>O



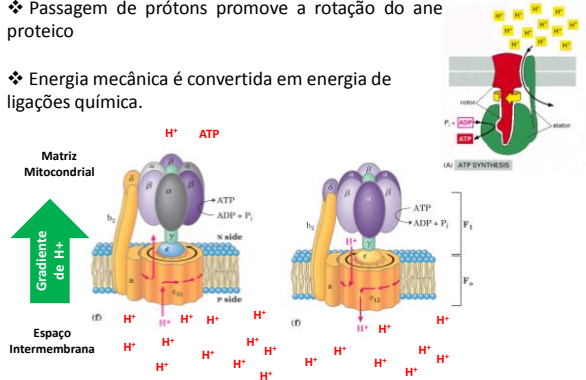
### Porque acumular prótons?

- ❖ Gradiente de prótons impulsiona a síntese de ATP
- ❖ Passagem de prótons de volta a Matriz através da ATP sintase
- ❖ Produção de energia baseado em membrana.



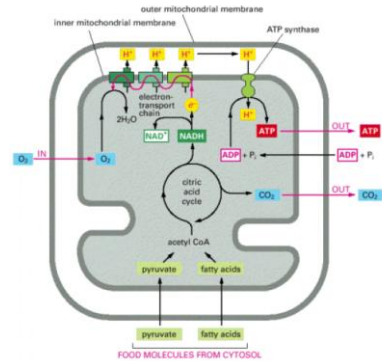
### Síntese de ATP

- ❖ Passagem de prótons promove a rotação do azeite proteico
- ❖ Energia mecânica é convertida em energia de ligações químicas.



### Visão geral do Metabolismo Aeróbico

- ❖ Mitocôndria



## Saldo Energético Metabolismo Aeróbio

❖  $4\text{H}^+ \rightarrow 1 \text{ATP}$

❖ 1 NADH desloca 10  $\text{H}^+$  , logo produz 2,5 ATP

❖ 1  $\text{FADH}_2$  desloca 6  $\text{H}^+$ , logo produz 1,5 ATP



**TABLE 19-5** ATP Yield from Complete Oxidation of Glucose

Process	Direct product	Final ATP
Glycolysis	2 NADH (cytosolic)	3 or 5*
	2 ATP	2
Pyruvate oxidation (two per glucose)	2 NADH (mitochondrial matrix)	5
Acetyl-CoA oxidation in citric acid cycle (two per glucose)	6 NADH (mitochondrial matrix)	15
	2 $\text{FADH}_2$	3
	2 ATP or 2 GTP	2
Total yield per glucose		30 or 32

\*The number depends on which shuttle system transfers reducing equivalents into the mitochondrion.

**Rendimento Líquido: ~32 ATP**