

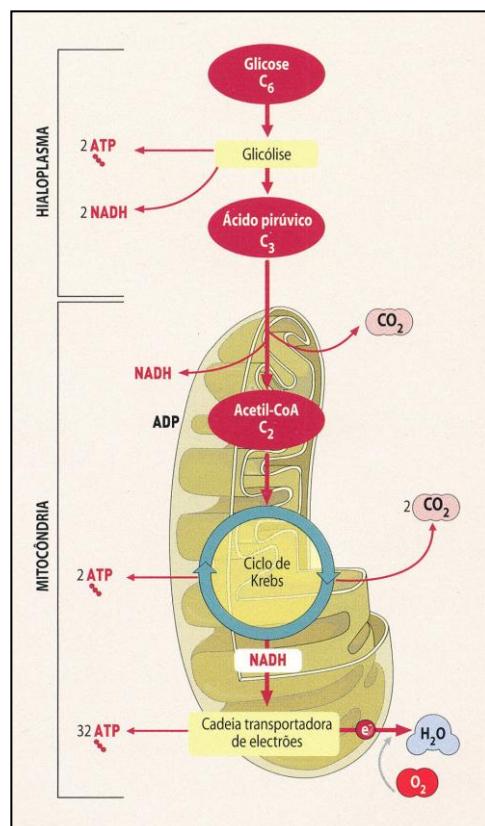
RESPIRAÇÃO AERÓBIA

À medida que as células evoluíram, as suas necessidades energéticas foram aumentando. Nas células eucarióticas surgiram organelos especializados – as mitocôndrias, capazes de realizar a oxidação completa do ácido pirúvico obtido na glicólise. Assim, originam-se compostos muito simples (água e dióxido de carbono) e a quantidade de energia obtida por este processo é maior. Note-se que a fermentação só permite obter cerca de 5% da energia que pode ser retirada por oxidação completa de uma molécula de glicose. Este processo só ocorre na presença de oxigénio, sendo por isso designado respiração aeróbia.

As células dos tecidos animais e vegetais consomem oxigénio e libertam dióxido de carbono. Esta troca de gases resulta do processo catabólico que conduz à oxidação dos compostos orgânicos com vista à obtenção de energia.

Analise atentamente a figura e responda às questões propostas.

1. Identifique a etapa comum à fermentação e respiração aeróbia e indique onde se realiza.
2. Identifique as restantes etapas representadas na figura e indique onde se realizam.
3. Indique quais as fases onde ocorre formação de ATP.
4. Em que fase se produz maior número de moléculas de ATP?
5. Das fases que ocorrem na mitocôndria, indique aquelas onde ocorrem reacções de oxidação-redução.
6. Qual será o papel do O_2 neste processo?
7. Explique como se formarão os produtos finais destas reacções.
8. Porque é que a respiração aeróbia é mais rentável do que a fermentação?



Podem considerar-se a existência de quatro etapas na respiração aeróbia:

- 1 – Glicólise:** etapa comum à fermentação. Forma-se ácido pirúvico, 2NADH e 2 ATP.
- 2 – Formação de Acetil Co-A:** forma-se por descarboxilação do piruvato. Liberta-se CO_2 e forma-se 2NADH.
- 3 – Ciclo de Krebs:** conjunto de reacções metabólicas que leva à oxidação completa da glicose. Liberta-se CO_2 , e forma-se ATP, 3NADH e $FADH_2$.
- 4 – Cadeia transportadora de elétrones:** as moléculas de NADH e $FADH_2$ formadas durante as etapas anteriores transportam elétrões que percorrem uma cadeia de proteínas até serem captadas por um aceitador final: o oxigénio. Essa passagem gera energia suficiente para que as ATP sintetases promovam a síntese de 32 moléculas de ATP.

O quadro seguinte resume as várias etapas da respiração aeróbia.

1: Etapa Glicólise	$\text{Glicose} \xrightarrow[2 \text{ ADP} + 2 \text{ Pi}]{} 2 \text{ Ácido pirúvico}$ $2 \text{ NAD}^+ \xrightarrow{} 2 \text{ NADH} + 2 \text{ H}^+$ 2 ATP	Ocorre no hialoplasma
2: Etapa Formação de Acetil-CoA	$2 \text{ Ácido pirúvico} \xrightarrow[2 \text{ NAD}^+]{} 2 \text{ Acetil-CoA}$ CO_2 CoA $2 \text{ NADH} + 2 \text{ H}^+$	Ocorre na matriz mitocondrial
3: Etapa Ciclo de Krebs	$\text{Acetil-CoA} \xrightarrow{\text{C}_2} \text{C}_6 \xrightarrow{\text{C}_4} \text{C}_2$ $3 \text{ NAD}^+ \xrightarrow{} 3 \text{ NADH} + 3 \text{ H}^+$ $\text{FAD} \xrightarrow{} \text{FADH}_2$ 2 CO_2 $\text{ATP} \xrightarrow[\text{ADP} + \text{Pi}]{} \text{ADP}$	Ocorre no hialoplasma
4: Etapa Cadeia transportadora de eléctriões e fosforilação oxidativa	$\text{NADH} \xrightarrow{\text{e}^-} \text{FADH}_2$ $\text{FADH}_2 \xrightarrow{\text{H}^+} \text{FAD}$ $\text{FAD} \xrightarrow{\text{ADP} + \text{Pi}} \text{ATP}$ $2 \text{ e}^- + 2 \text{ H}^+ \xrightarrow{\text{O}_2} \text{H}_2\text{O}$	Ocorre nas cristas mitocondriais da membrana interna

Glicólise: ocorre no hialoplasma, de forma semelhante à fermentação.

Formação de acetil-coenzima A:

O ácido pirúvico formado na glicólise entra na mitocôndria e é descarboxilado (liberta-se CO₂) e oxidado (leva à formação de NADH)

Ciclo de Krebs

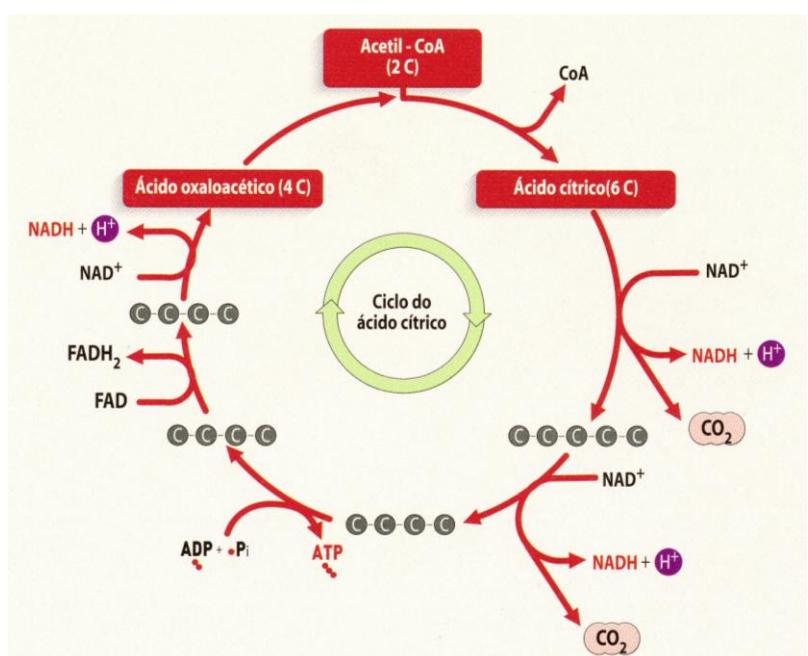
1. Qual o composto que vai reagir com o Acetil-CoA?

2. Relativamente ao ciclo representado, indique quantas:

- 2.1. oxidações ocorrem num ciclo
- 2.2. descarboxilações ocorrem num ciclo
- 2.3. fosforilações ocorrem num ciclo

3. Quais as funções do NAD⁺ e do FAD?

4. Indique o número de moléculas de NADH, FADH₂, ATP e CO₂ formados nesta fase a partir de uma molécula de glicose. Note que, por cada molécula de glicose, formam-se 2 moléculas de ácido pirúvico.



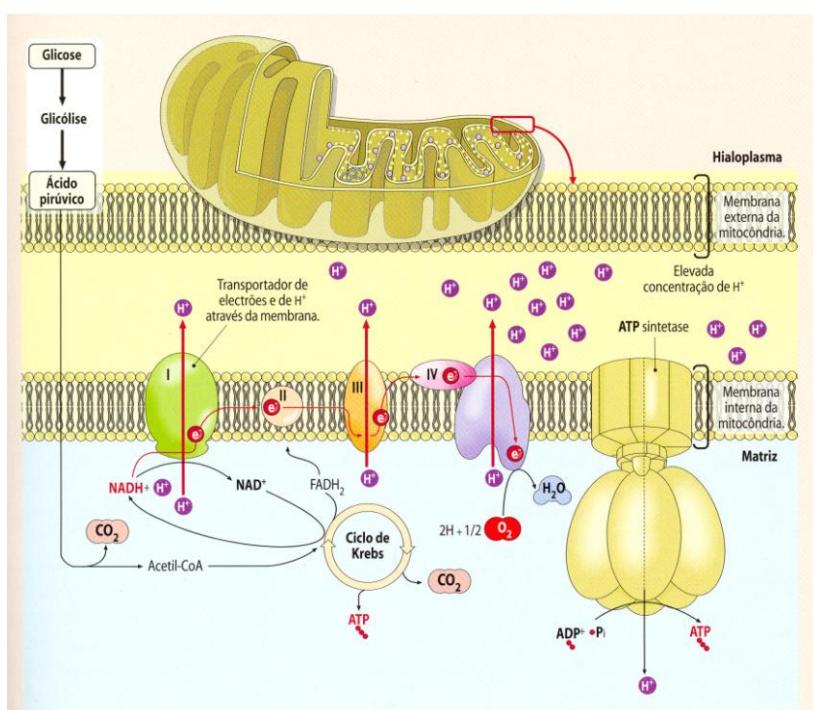
Cadeia transportadora de electrões e fosforilação oxidativa

As moléculas de NADH e FADH₂ formadas durante as etapas anteriores da respiração transportam electrões que vão agora percorrer uma série de proteínas existentes na membrana interna da mitocôndria até serem captadas por um aceitador final: o oxigénio. Inicia-se assim um fluxo, ao longo do qual as moléculas vão sendo reduzidas e oxidadas.

O oxigénio, depois de receber os electrões, capta os H⁺ existentes na matriz da mitocôndria, formando-se água.

À medida que os electrões passam de transportador em transportador liberta-se energia. Essa energia é utilizada para bombear iões H⁺ da matriz da mitocôndria para o espaço intermembranar, criando-se assim um gradiente.

À semelhança do que acontece nos cloroplastos, a membrana interna da mitocôndria possui enzimas – ATP sintetases – que utilizam a energia do fluxo de H⁺ que as atravessam, para fosforilar o ADP, formando ATP.

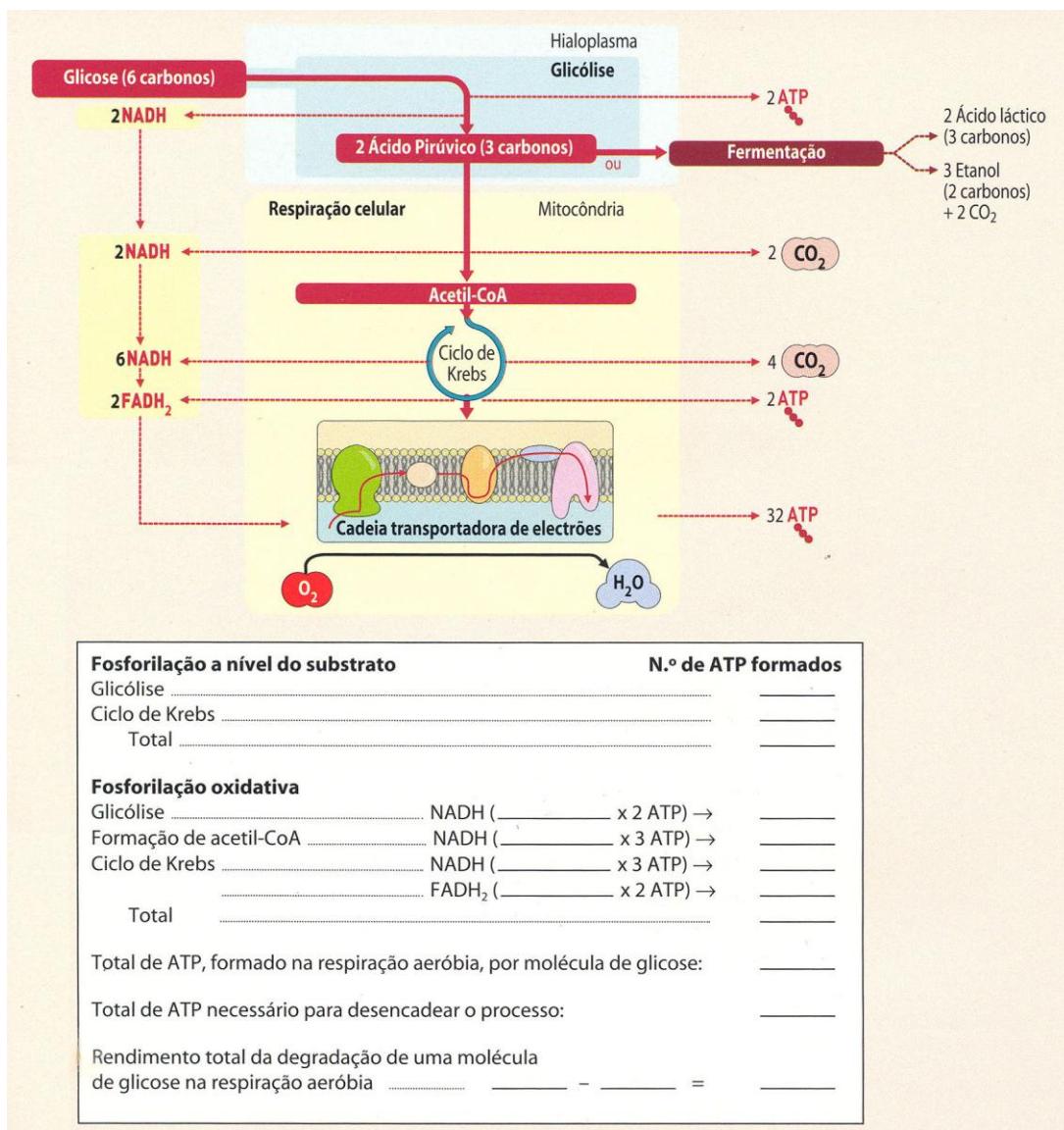


Os electrões transportados pelo NADH são transferidos para a primeira proteína transportadora, enquanto que os electrões do FADH₂ são transferidos para o segundo transportador. Por isso, por cada molécula de NADH formam-se 3 moléculas de ATP, enquanto que por cada FADH₂ apenas se formam 2 moléculas de ATP.

A tabela que se segue apresenta o balanço energético da respiração aeróbia:

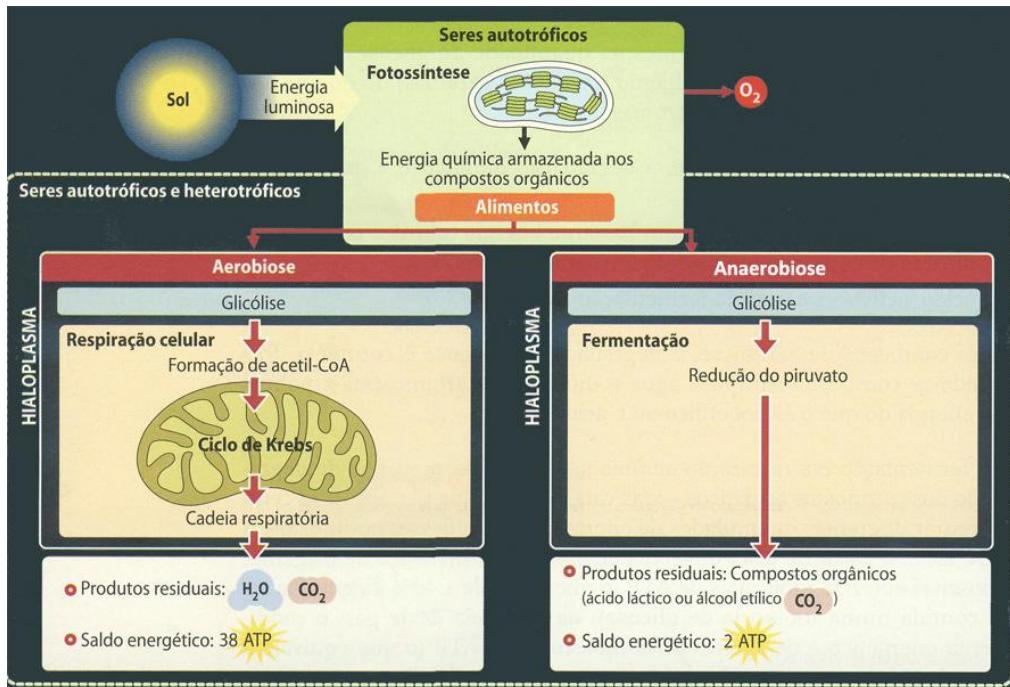
Etapas da Respiração	Moléculas de ATP formados por fosforilação a nível do substrato	Moléculas de ATP formados por fosforilação oxidativa	Total de moléculas de ATP
Glicólise	2 ATP	2 NADH 2 X 3 = 6 ATP	8 ATP
Formação de acetil-CoA	-	2 NADH 2 X 3 = 6 ATP	6 ATP
Ciclo de Krebs	2 ATP	6 NADH 6 X 3 = 18 ATP 2 FADH ₂ 2 X 2 = 4 ATP	24 ATP
Total de ATP por glicose degradada	4 ATP	34 ATP	38 ATP

Com base no esquema que se segue, tente calcular por si o rendimento da glicólise. Complete o quadro.



A membrana interna da mitocôndria é impermeável às moléculas de NADH presentes no hialoplasma. Assim, os electrões transportados por estas moléculas são cedidos a uma molécula de FAD, presente na matriz da mitocôndria, formando-se assim apenas 2 moléculas de ATP por cada par de electrões transportados pelo NADH gerados na glicólise. Contudo, por vezes, o NADH transfere os seus electrões para uma molécula de NAD+ presente na matriz mitocondrial, gerando-se assim 3 moléculas de ATP por cada NADH resultante da glicólise.

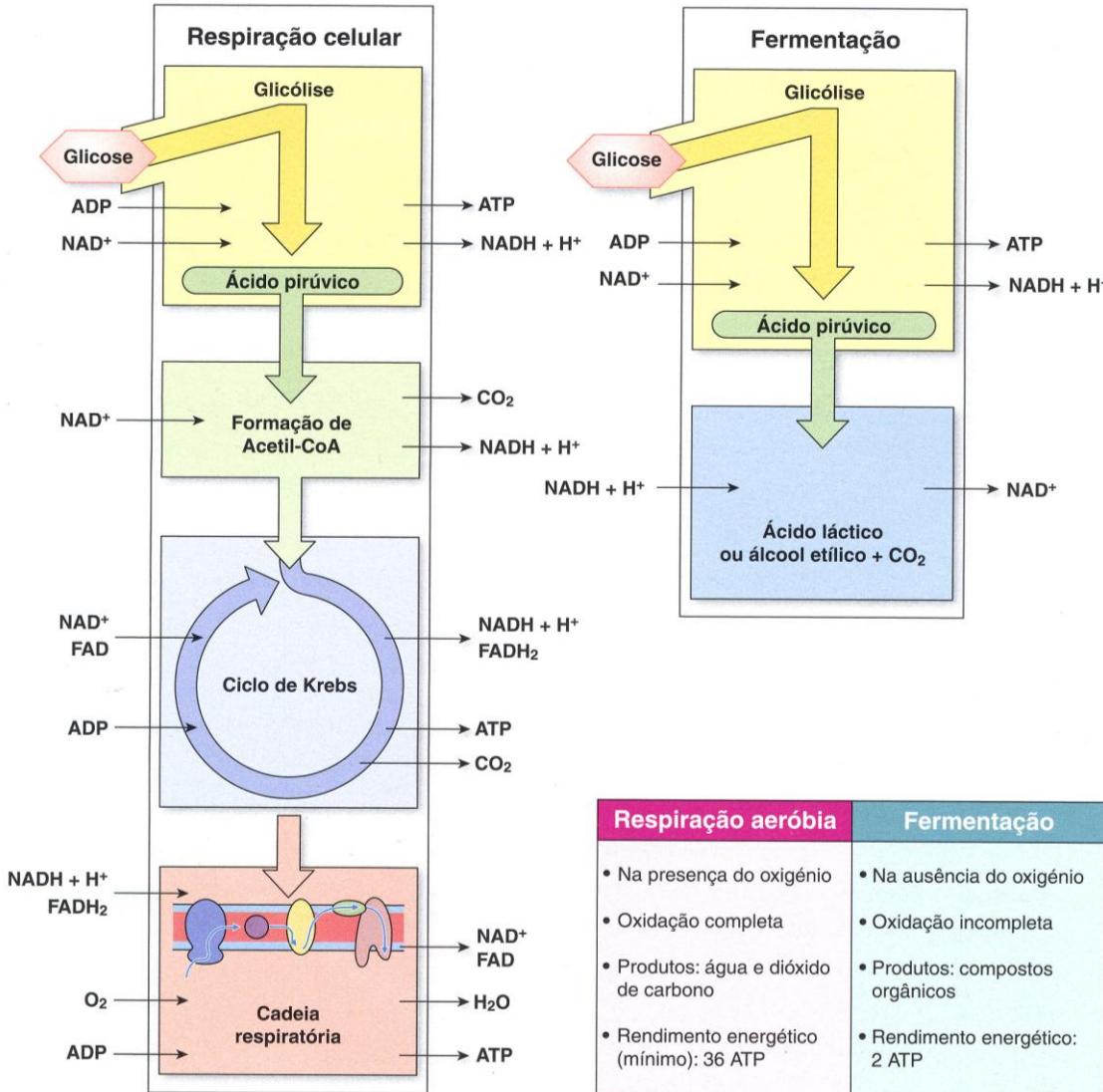
O balanço energético da respiração aeróbia pode, assim, ser de 36 ATP ou 38 ATP.



Resumo das etapas da respiração aeróbia

Etapas	Glicólise	Formação de acetil-CoA	Ciclo de Krebs	Fosforilação oxidativa
Ocorrência na célula	Hialoplasma	Matriz mitocondrial	Matriz mitocondrial	Cristas mitocondriais
Fenómenos que ocorrem	<ul style="list-style-type: none"> - Há activação da glicose com consumo de ATP. - Há produção de ATP por fosforilação a nível do substrato. 	<ul style="list-style-type: none"> - Há descarboxilação e desidrogenação do ácido pirúvico a acetil-CoA. - Há formação de CO₂. - Redução do NAD⁺ que passa a NADH + H⁺. 	<ul style="list-style-type: none"> - Há formação de dióxido de carbono. - Há produção de ATP, por fosforilação a nível do substrato. - Há uma série de reacções enzimáticas ciclicas que permitem a oxidação do grupo acetil a CO₂, devido a desidrogenações e descarboxilações. - Os hidrogénios resultantes das quatro oxidações vão ser aceites por NAD⁺ e FAD, que os vão transportar para a cadeia respiratória. 	<ul style="list-style-type: none"> - Há produção de ATP por fosforilação oxidativa. - Há formação de água por aceitação dos electrões e dos protões (H⁺) pelo oxigénio. - Há cedência de electrões do NADH e do FADH₂ a uma cadeia de transportadores de electrões ordenados de acordo com o potencial redox.
Resultado final (por cada molécula de glicose degradada)	duas moléculas de ácido pirúvico 2 NADH + 2H ⁺ 4 ATP	duas moléculas de acetil-CoA 2 NADH + 2H ⁺ 2 CO ₂	quatro moléculas de CO ₂ 6 NADH + 6H ⁺ 2 FADH ₂ 2 ATP	Água 34 moléculas de ATP

Fermentação e Respiração Aeróbia: aspectos comparativos



A professora

Ana Rita Rainho