



# BIOLOGIA

com **Arthur Jones**

Respiração celular



# RESPIRAÇÃO CELULAR

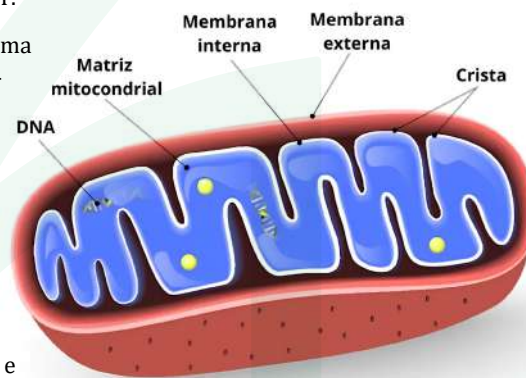
É a degradação de compostos orgânicos (ex: carboidratos, lipídios, proteínas...) para a obtenção de energia que será utilizada na síntese de ATP. Este ATP vai ser utilizado pela célula para execução de trabalhos, como transporte ativo de substâncias através da membrana, síntese de proteínas entre outros. A energia química extraída na respiração não é, entretanto, utilizada diretamente pela célula.

Principal molécula da respiração: **GLICOSE** e **FRUTOSE**.

## ESTRUTURA DAS MITOCÔNDRIAS

As mitocôndrias são organelas essenciais encontradas em praticamente todas as células eucarióticas, com uma forma oval predominante. O conjunto dessas mitocôndrias dentro de uma célula é chamado de condrioma. Elas são constituídas por duas membranas, a externa e a interna, separadas pelo espaço intermembranar, formando assim o envelope mitocondrial. A membrana interna apresenta dobras que formam estruturas chamadas cristas mitocondriais, onde se encontram os oxissomos, responsáveis pela produção de ATP.

No interior da membrana interna, existe uma massa amorfa conhecida como matriz mitocondrial, que contém água, sais minerais, diversas enzimas, DNA circular desprovido de histonas, RNA e ribossomos 70S, denominados mitorribossomos. Essa composição guarda semelhanças com a de uma bactéria, o que não é mera coincidência, como será explicado adiante. A presença de DNA, RNA e ribossomos na mitocôndria possibilita a síntese de proteínas e sua capacidade de se duplicar independentemente, processo conhecido como condriocinese.



Fonte: Biologianet



**Se liga**

**mamífero**

O DNA mitocondrial humano compreende 37 genes responsáveis pela síntese de proteínas relacionadas à respiração, bem como pela produção de RNA<sub>t</sub> e RNA<sub>r</sub>. Essas moléculas de DNA são idênticas e representam múltiplas cópias do mesmo material genético, frequentemente chamadas de DNAm. Devido ao fato de que as mitocôndrias são herdadas exclusivamente através do gameta feminino na espécie humana, o DNAm é sempre e unicamente transmitido pela mãe.

Quando ocorrem defeitos nos genes mitocondriais, podem surgir doenças genéticas, como a neuropatia óptica de Leber, e também podem contribuir para o desenvolvimento de outras condições, como diabetes mellitus e a doença de Alzheimer.

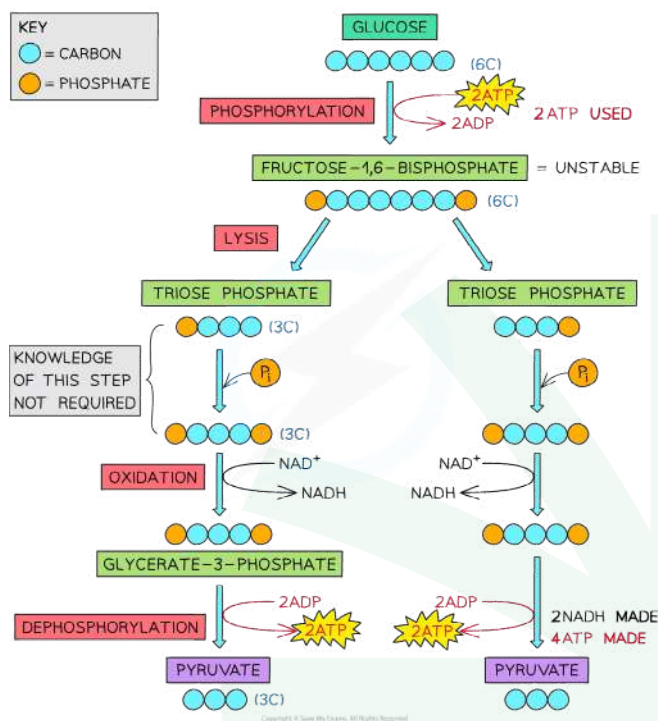
## FASES DA RESPIRAÇÃO CELULAR

A respiração celular aeróbica envolve a ocorrência de várias fases:

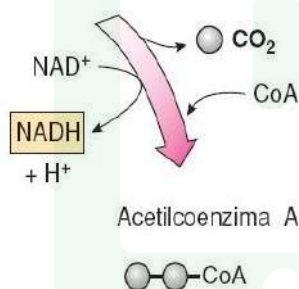
- ▶ **GLICÓLISE:** ocorre no citoplasma.
- ▶ **CICLO DE KREBS, CICLO DO ÁCIDO CÍTRICO, OU CICLO DOS ÁCIDOS TRICARBOXÍLICOS:** ocorre na matriz mitocondrial
- ▶ **CADEIA RESPIRATÓRIA OU CADEIA TRANSPORTADORA DE ELÉTRONS:** ocorre nas cristas mitocondriais.

## GLICÓLISE

Nesta fase, em que não ocorre a participação do  $O_2$ , a glicose é desmontada no hialoplasma em duas moléculas de **piruvato** ou **ácido pirúvico**, ao final de uma longa sequência de reações químicas que veremos a seguir:



Após o processo de glicólise, o **PIRUVATO** (OU **ÁCIDO PIRÚVICO**) sofrerá algumas reações para a formação da molécula de acetil.



- ▶ **1ª Passo:** Entrada do ácido pirúvico no espaço intermembranar das mitocôndrias.
- ▶ **2ª Passo:** retirada de  $CO_2$  da molécula e de 2 hidrogênios ( $NADH_2$ )
- ▶ **3ª Passo:** Formação do acetil.
- ▶ **4ª Passo:** Formação do Acetil- Coenzima A.

## CICLO DE KREBS (OU CICLO DO ÁCIDO TRICARBOXÍLICO)

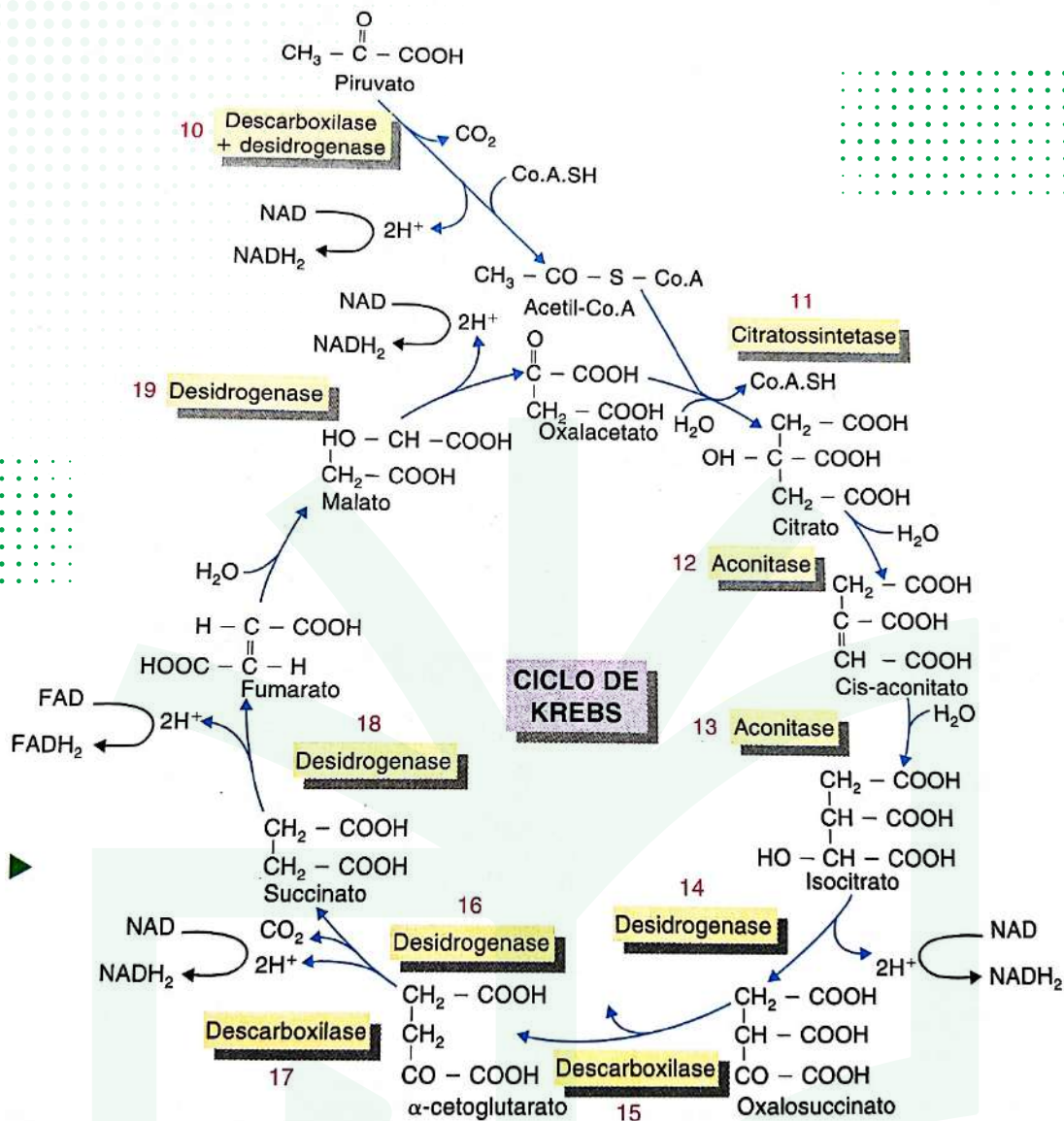
Estudada pelo bioquímico alemão Hans Krebs (1900-1981) esta etapa ocorre na matriz mitocondrial. No ciclo de Krebs observamos outros processos de oxidação que ocorrem na matriz mitocondrial. Quando o Acetil-CoA é formado, ele entra no ciclo de Krebs. Lembra-se que a Co-A (coenzima A) é uma enzima que vai fazer a transferência do acetil para o ciclo de Krebs. O acetil ao entrar no ciclo de Krebs, vai reagir com o ácido oxalacetato ou oxalacético para a formação do ácido cítrico. Após a formação do ácido cítrico teremos a formação de compostos intermediários, que são oxidados durante o processo. Vale a pena ficar ligado que durante os processos de oxidação, teremos a formação de:

- ▶ 3 moléculas de  $NADH_2$
- ▶ 2 moléculas de  $FADH_2$
- ▶ 1 uma molécula de  $GTP / ATP$



**Anote aqui**

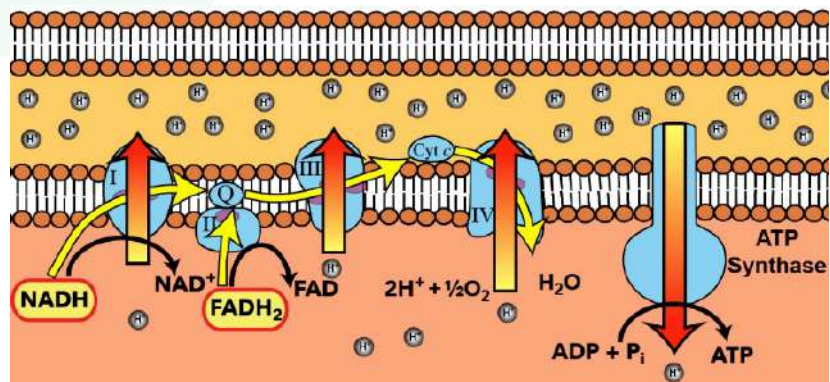




Fonte: Googleimagens

## CADEIA RESPIRATÓRIA (TEORIA QUIMIOSMÓTICA DA RESPIRAÇÃO/PROCESSOS DE FOSFORILAÇÃO OXIDATIVA)

A cadeia respiratória ocorre na membrana interna da mitocôndria, principalmente nas cristas mitocondriais. Nesta etapa, os átomos de hidrogênio retirados pelo NAD durante a glicólise e ciclo de Krebs, e pelo FAD no ciclo de Krebs, serão transportados por várias moléculas intermediárias (cadeia de proteínas presente nas cristas das mitocôndrias) até o oxigênio (aceptor final de elétrons e H<sup>+</sup>). Com ele, formam água e grande quantidade de moléculas de ATP, como mostra o esquema.



Fonte: Googleimagens

## A CADEIA TRANSPORTADORA TRANSPORTAR ELÉTRONS E LIBERA ENERGIA

(Texto retirado do livro: Vida a ciência da biologia volume I)

A cadeia de transporte de elétrons contém proteínas integrais grandes, proteínas móveis menores e ainda uma molécula de lipídeo menor:

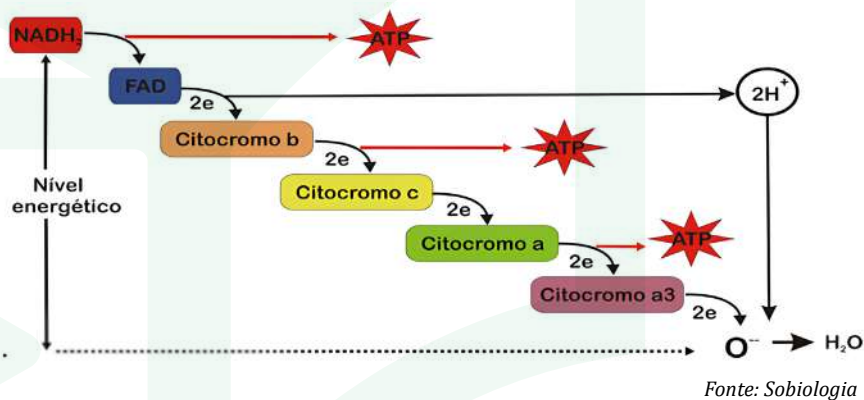
- ▶ Quatro complexos proteicos grandes (I, II, III e IV) contendo transportadores de elétrons e enzimas associadas são proteínas integrais da membrana mitocondrial interna em eucariotos (ver Figura acima). Três delas são proteínas transmembranas (se estendem através dos dois lados da membrana).
- ▶ O **citocromo c** consiste em uma proteína periférica pequena que se encontra no espaço intermembrana, presa frouxamente a membrana mitocondrial interna.
- ▶ Um componente não protéico chamado de **ubiquinona** (abreviadamente, **Q**) é uma molécula pequena, não polar, que se move livremente no interior hidrofóbico da bicamada fosfolipídica da membrana mitocondrial interna.

Conforme mostra a figura acima, NADH + H<sup>+</sup> passa elétrons ao primeiro complexo proteico grande (I), denominado NADH-Q redutase, que, por sua vez, transfere os elétrons a Q. O segundo complexo (II), succinato-desidrogenase, passa elétrons a Q a partir de FADH, durante a formação do fumarato proveniente do succinato na reação 6 do ciclo do ácido cítrico (ver o ciclo de Krebs). Esses elétrons ingressam na cadeia mais tarde do que os provenientes de NADH.

O terceiro complexo (III), citocromo c redutase recebe elétrons de Q e os transfere ao citocromo c. O quarto complexo (IV), citocromo c oxidase, recebe elétrons do citocromo c e **os passa ao oxigênio, que junto com esses elétrons extras (.O<sub>2</sub>-) toma dois íons hidrogênio (H<sup>+</sup>) para formar H<sub>2</sub>O**. Os transportadores de elétrons, da cadeia de transporte de elétrons (incluindo aqueles contidos nos três complexos proteicos transmembrana), diferem quanto ao grau de alteração que sofrem quando se tornam reduzidos. NAD<sup>+</sup>, por exemplo, aceita H<sup>-</sup> (um íon híbrido – um próton e dois elétrons), permitindo o desprendimento do próton do outro átomo de hidrogênio, ou seja, o resultado é NADH + H<sup>+</sup>. Outros transportadores, incluindo Q, ligam tanto prótons quanto elétrons, tornando-se QH<sub>2</sub>, por exemplo. Além de Q, a cadeia transporta apenas elétrons. Os elétrons, não os prótons, transferem-se de Q para o citocromo c. Um elétron oriundo de QH<sub>2</sub> reduz um íon ferro do citocromo, de Fe<sup>3+</sup> a Fe<sup>2+</sup>.

A função básica da cadeia respiratória é a formação de ATP, processo denominado **FOSFORILAÇÃO OXIDATIVA**.

**Fosforilação** = adição de fosfato ao ADP.



Fonte: Sobiologia

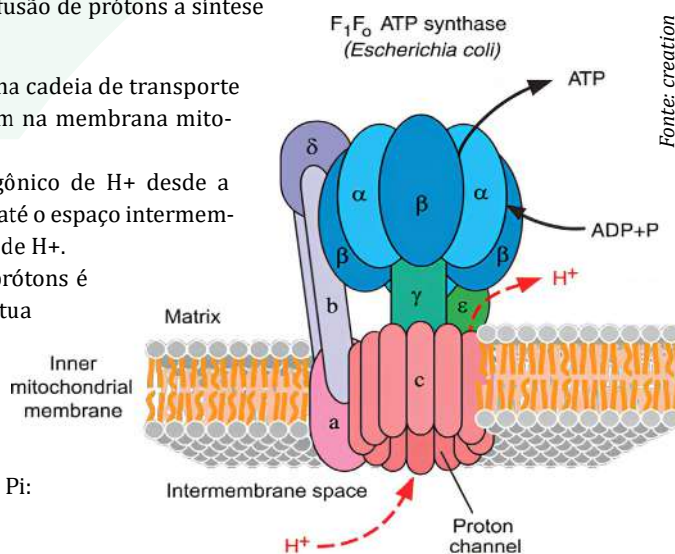
## ATP SINTASE OU ATP SINTETASE – TEORIA QUIMIOSMÓTICA

O mecanismo quimiosmótico usa ATP-sintase para conectar a difusão de prótons a síntese de ATP. Esse mecanismo apresenta três partes:

- ▶ O fluxo de elétrons, de um transportador de elétrons a outro na cadeia de transporte de elétrons, e uma série de reações exergônicas que ocorrem na membrana mitocondrial interna.
- ▶ Essas reações exergônicas acionam o bombeamento endergônico de H<sup>+</sup> desde a matriz mitocondrial, atravessando a membrana interna e indo até o espaço intermembrana. Esse bombeamento estabelece e mantém um gradiente de H<sup>+</sup>.
- ▶ A energia potencial do gradiente de H<sup>+</sup> ou força motora de prótons é utilizada pela ATP-sintase. Essa proteína possui dois papéis: atua como canal que permite ao H<sup>+</sup> difundir-se de volta ao interior da matriz e usa a energia daquela difusão para produzir ATP a partir de ADP e Pi.

A síntese de ATP é uma reação reversível e a ATP-sintase pode também atuar como ATPase, hidrolisando ATP a ADP e Pi:

**ATP → ADP + Pi + energia livre**

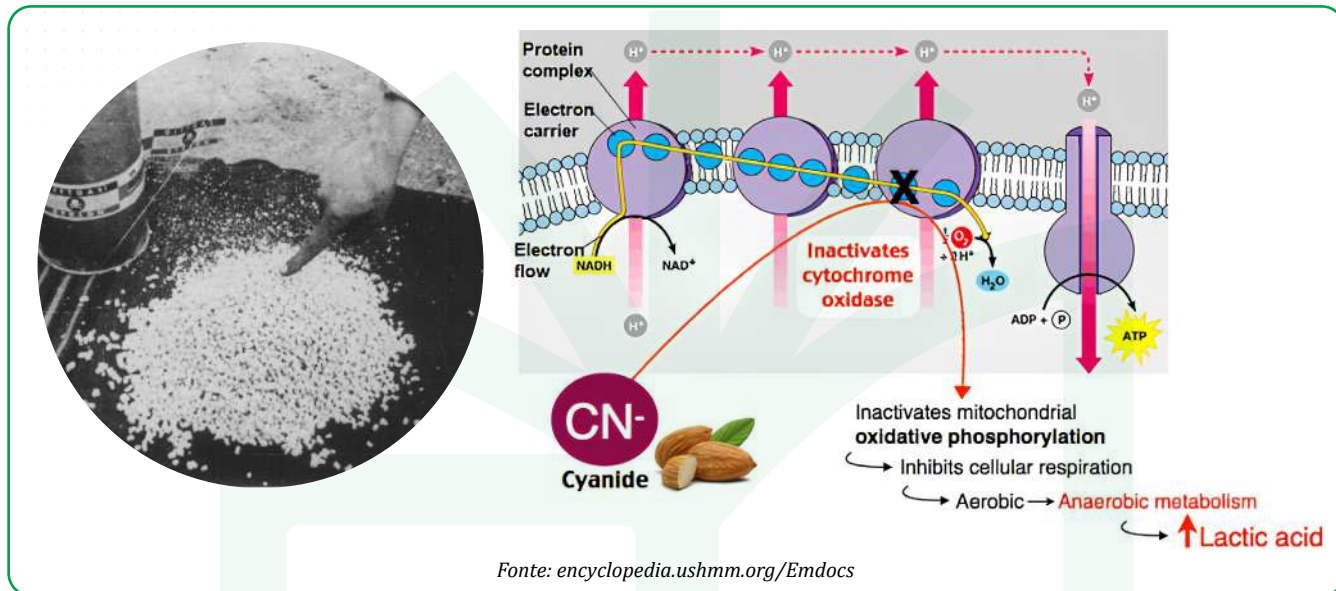


Fonte: creation

## ENVENENAMENTO POR CIANETO

O cianeto, também conhecido como ácido cianídrico, é um veneno amplamente reconhecido. Foi utilizado nas câmaras de gás durante o período da Alemanha nazista, sendo denominado **Zyklon B**, para perpetrar o genocídio em massa de judeus nos campos de concentração. Por outro lado, o monóxido de carbono é liberado a partir da combustão incompleta de combustíveis fósseis, como ocorre nos escapamentos de veículos automotores.

Ambos os agentes tóxicos, o cianeto e o monóxido de carbono, têm a capacidade de se ligar irreversivelmente ao ferro dos citocromos, principalmente ao citocromo a3, impedindo sua oxidação e redução. Como resultado, ocorre a interrupção do transporte de elétrons na cadeia respiratória. Essa interrupção reduz drasticamente a produção de energia celular, levando a uma condição de asfixia. No caso específico do cianeto, sua ligação com o ferro ocorre por meio da formação do íon ferricianeto, que bloqueia a capacidade dos citocromos de desempenhar suas funções na cadeia respiratória, resultando na interrupção do fornecimento de oxigênio às células e, consequentemente, na morte celular.



## RESPIRAÇÃO CELULAR: SALDO POR ETAPA

- ▶ **Glicólise:**  $2 \text{ NADH} \times 3 \text{ ATP ou } 2,5 \text{ ATP} = 6 \text{ ATP ou } 5 \text{ ATP}$
  - ▶ **Formação de acetil coA:**  $2 \text{ NADH} \times 3 \text{ ATP ou } 2,5 \text{ ATP} = 6 \text{ ATP ou } 5 \text{ ATP}$
  - ▶ **Ciclo de Krebs:**  $6 \text{ NADH} \times 3 \text{ ATP ou } 2,5 \text{ ATP} = 18 \text{ ATP ou } 15 \text{ ATP}$
- $2 \text{ FADH}_2 \times 2 \text{ ATP ou } 1,5 \text{ ATP} = 4 \text{ ATP ou } 3 \text{ ATP}$

Isto é, Somando a produção de ATP:

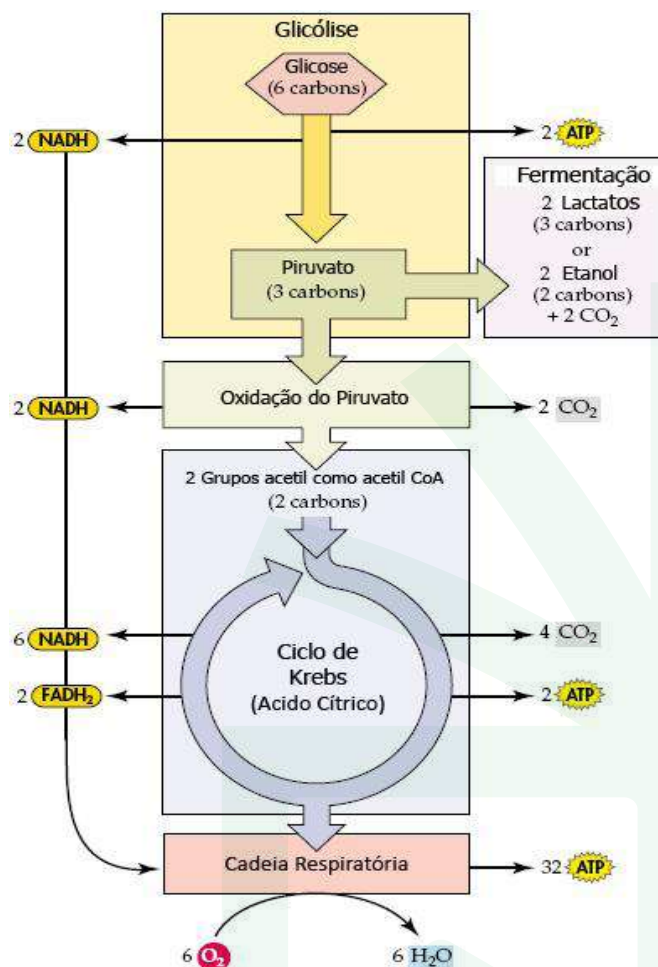
- ▶ Glicólise: 2 ATP
- ▶ Ciclo de Krebs: 2 ATP
- ▶ Cadeia respiratória: 34 ATP ou 28 ATP
- ▶ Total: 38 ATP ou 32 ATP.



**Anote aqui**



## RESUMO GERAL DA RESPIRAÇÃO CELULAR



Fonte: Googleimagens



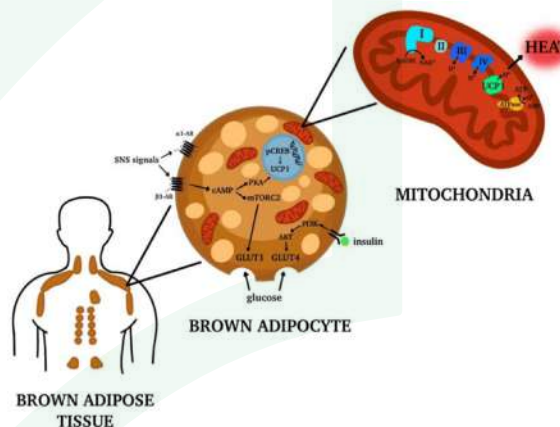
### Leitura complementar

#### DESACOPLADORES DA FOSFORILAÇÃO OXIDATIVA

Existem moléculas chamadas **desacopladores**, como o **2,4-dinitrofenol (2,4-DNP)**, que têm a capacidade de transportar prótons de hidrogênio do espaço intermembranar para a matriz mitocondrial sem passar pelos complexos de oxidação-fosforilação (oxissomos). Isso interrompe o processo normal de produção de ATP, pois os prótons não passam pelo oxissomo (FoF1ATPase) para gerar energia, mas sim retornam diretamente à matriz, liberando energia na forma de calor.

#### TERMOGENINA - DESACOPLADOR MITOCONDRIAL EM TECIDO ADIPOSITO MARROM:

Existe um tipo específico de tecido adiposo conhecido como **tecido adiposo multilocular**. Esse tecido se destaca pela presença de várias pequenas gotículas de gordura dentro de cada célula. Essa característica torna mais fácil a quebra dessas gorduras, pois elas já estão parcialmente decompostas, podendo ser utilizadas para produzir calor. O **tecido adiposo multilocular** é rico em mitocôndrias, o que lhe confere uma coloração amarronzada, sendo por isso também chamado de **tecido adiposo marrom**. As mitocôndrias nesse tecido são especialmente adaptadas para produzir calor. Elas possuem uma proteína especial chamada **termogenina**, que age como um **desacoplador**, transportando prótons de hidrogênio do espaço entre as membranas para dentro da matriz mitocondrial sem passar pelos complexos envolvidos na produção de ATP. Esse **processo resulta na liberação de energia na forma de calor**. O tecido adiposo multilocular é encontrado em animais polares e em recém-nascidos humanos, especialmente na região próxima à nuca. Nos recém-nascidos, esse tecido é importante porque ajuda a manter a temperatura corporal, já que eles ainda não possuem um sistema de regulação térmica completamente desenvolvido.



Fonte: MDPI.com

#### Os hormônios tireoidianos também possuem ação desacopladora?

Sim, os hormônios tireoidianos, triiodotironina (T3) e tetraiodotironina (T4), também têm ação desacopladora, semelhante à termogenina presente nas mitocôndrias do tecido adiposo marrom. Esses hormônios atuam aumentando a atividade metabólica das células, o que inclui o aumento da produção de calor. Isso resulta em um aumento do gasto energético e, consequentemente, na diminuição do rendimento da produção de energia a partir da glicose, o que pode levar ao emagrecimento.

# REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA:

- AMABIS, Jose Mariano. Fundamentos da Biologia Moderna. 3 ed. São Paulo: Moderna, 2002.
- BURNIE, David. Dicionário Temático de Biologia. São Paulo: Scipione, 2001.
- CORSON, Walter H. ed. Manual Global de Ecologia: o que você pode fazer a respeito da crise do meio ambiente. São Paulo: Augustos, 1996.
- FAVARETTO, Jose Arnaldo. Biologia. 2 ed. São Paulo: Moderna, 2003.
- MORANDINI, Clezio & BELLINELLO, Luiz Carlos. São Paulo: Atual, 1999.
- PAULINO, Wilson Roberto. Biologia. São Paulo: Ática, 1998.
- SILVA Jr, Cesar da & SASSON, Sezar. Biologia. 3 ed. São Paulo: Saraiva, 2003.
- SOARES, Jose Luis. Biologia. São Paulo: Scipione, 1997.
- UZUNIAN, Armenio. Biologia. 2 ed. São Paulo: Harbra, 2004.
- ZAMPERETTI, Kleber Luiz. Biologia Geral. Rio Grande do Sul: Sagra-dc Luzzatto, 2003.
- FUTUYMA, Douglas J. Biologia Evolutiva. 2 ed. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1993.
- GOWDAK, Demetrio. Biologia. São Paulo: FTD, 1996.
- MORANDINI, Clezio & BELLINELLO, Luiz Carlos. São Paulo: Atual, 1999.
- PAULINO, Wilson Roberto. Biologia. São Paulo: Ática, 1998.
- SILVA Jr, Cesar da & SASSON, Sezar. Biologia. 3 ed. São Paulo: Saraiva, 2003.
- SOARES, Jose Luis. Biologia. São Paulo: Scipione, 1997.
- UZUNIAN, Armenio. Biologia. 2 ed. São Paulo: Harbra, 2004.
- ZAMPERETTI, Kleber Luiz. Biologia Geral. Rio Grande do Sul: Sagra-dc Luzzatto, 2003.
- FAVARETTO, J. A . e MERCADANTE, C.. Biologia, Vol. Único. São Paulo, Moderna, 2000.
- LINHARES, S. e GEWANDSZNAJDER. Biologia Hoje. Vols. 1, 2 e 3. Editora Ática, 1996.
- LOPES, S., Bio, Volumes 1, 2 e 3., Saraiva, 1997.
- SOARES, J. L.. Biologia no Terceiro Milênio, vols. 1, 2 e 3., São Paulo, 1998.
- EDITORA
- CHEIDA, L.E. Biologia Integrada, Vol. 1, 2, 3 , São Paulo, Moderna, 2002.
- AMABIS e MARTHO, Fundamentos da Biologia Moderna, vol. Único, Moderna, São Paulo, 2003.
- PAULINO, W. R., Biologia, Vols. 1, 2, 3, Ática, São Paulo, 2002





*Estamos juntos nessa!*



CURSO  
**FERNANDA PESSOA**  
ONLINE

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS.