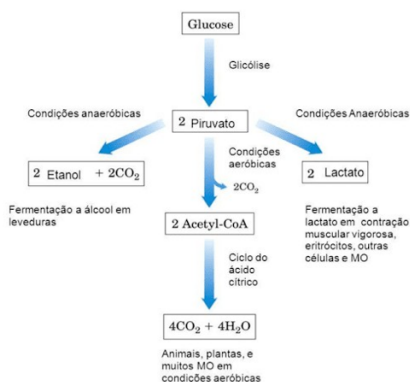


BIOENERGÉTICA – parte II

CONCEITOS INICIAIS

Terminada a glicólise é importante saber qual será o destino do ácido pirúvico. E olha que a glicólise é apenas a primeira etapa da complexa oxidação da glicose. Vamos lembrar o que temos até agora: **um saldo positivo de 2 ATP, 2 ácidos pirúvicos e 2 NADH.**

O Piruvato formado segue um dos seus **três** destinos: **formação do etanol ou lactato** (ambas são vias anaeróbicas) – estudadas em nossa aula anterior; ou a **formação da Acetil-CoA** (via aeróbica). Os organismos mais desenvolvidos como o homem, transformam o Piruvato em Acetil-CoA, para que no final, ele seja oxidado a H₂O e CO₂ – quebra total da glicose (respiração).

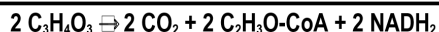


Resumo das três vias (destinos) possíveis para o piruvato resultante da glicólise.

Como já foi compreendido o que ocorre com o ácido pirúvico em ambiente anaeróbico, vamos verificar o evento de oxidação do piruvato e consequente formação do Acetil, ocorrido na matriz mitocondrial.

OXIDAÇÃO DO PIRUVATO

O **ácido pirúvico**, que tem 3 carbonos, ao **penetrar na matriz mitocondrial**, o que só ocorre se há oxigênio na célula, libera um dióxido de carbono (CO₂) e passa a acetil, que tem 2 carbonos. O acetil encontra-se ligado a um composto, a coenzima A, formando um composto denominado acetil-coA que entra no ciclo de Krebs. No processo, há liberação de 1 CO₂ e formação de 1 NADH₂ por ácido pirúvico.



Assim, ocorre uma reação **irreversível de descarboxilação oxidativa**, na qual o grupo carboxila é removido do Piruvato na forma de uma molécula de CO₂ e há a **oxidação** do grupo hidroxila a um grupo acetil, unindo-se à coenzima A.

Com outras palavras, o Piruvato é uma molécula que contém 3 carbonos em sua estrutura, e ao entrar na mitocôndria, 1 carbono é retirado, saindo na forma de CO₂.

Resta o grupo acetil, que é fixada no –SH de uma substância conhecida como CoA (Coenzima A) formando a Acetil-CoA, por uma reação de oxidação.

Esta reação é catalisada pelo **Complexo Piruvato Desidrogenase (PDH)**, que é composto por um grupo de enzimas localizadas nas mitocôndrias de células eucarióticas – e no citosol de bactérias.

Agora sim temos o Acetil-CoA, para iniciarmos o Ciclo de Krebs propriamente dito.

CICLO DE KREBS

O **ciclo de Krebs**, ou **ciclo do ácido cítrico (citrato)**, é uma sequência circular de 8 (oito) reações que **ocorre na matriz mitocondrial**. Nessas reações, os grupos acetil (que provêm dos dois piruvatos que, por sua vez, vieram da glicose) são degradados em duas moléculas de gás carbônico, ao mesmo tempo que quatro elétrons são transferidos para três NAD e um FAD, e uma molécula de ATP é formada por fosforilação pelo nível de substrato.

Para entrar no ciclo do ácido cítrico, o piruvato deve ser primeiramente, descarboxilado, liberando CO₂ e formando NADH – oxidação do ácido pirúvico. A molécula de gás carbônico produzida será tal qual outras resultantes do ciclo de Krebs, excretada no nível dos alvéolos pulmonares, no processo conhecido como respiração sistêmica. A molécula com dois carbonos (grupo acetil) combina-se com a coenzima A, formando a acetil-CoA. Radicais acetil provindos de lipídios também entram no ciclo de Krebs como acetil-CoA. Alguns aminoácidos oriundos do catabolismo de proteínas podem ser convertidos em intermediários do ciclo de Krebs.

Durante as reações do ciclo, são retirados hidrogênios do acetil e estes são passados para os nucleotídeos NAD⁺ e FAD, que levam estes hidrogênios para as cristas mitocondriais, onde acontece a fosforilação oxidativa, que gera ATP. No processo de fosforilação oxidativa ocorrem: o transporte de elétrons; a síntese de ATP por meio de uma enzima; o consumo de oxigênio molecular e a produção de moléculas de água.

Para cada molécula de acetil-coA, há a liberação de 2 CO₂, 1 ATP, 3 NADH₂ e 1 FADH₂. Contando os dois acetil-coA, temos um saldo de 4 CO₂, 2 ATP, 6 NADH₂ e 2 FADH₂

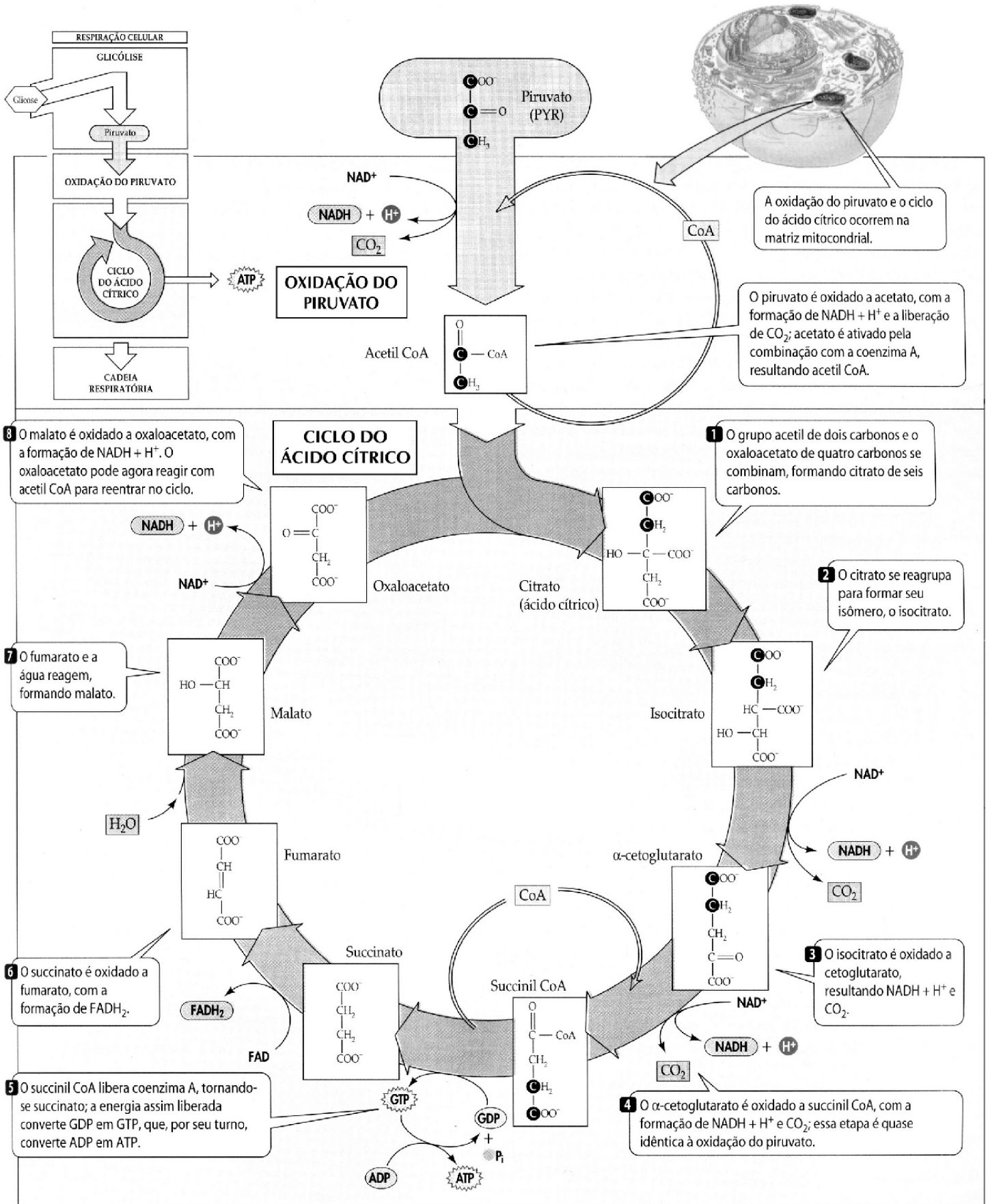
A CADA VOLTA DO CICLO (LEMBRE-SE QUE SÃO DOIS CICLOS) SÃO LIBERADAS PARA A CÉLULA:

- 3 NADH₂
- 1 FADH₂
- 2 CO₂
- 1 GTP = 1 ATP

NO TOTAL, PARA CADA MOLÉCULA DE GLICOSE OXIDADA, TEMOS:

- Da cadeia Glicolítica (glicólise): 2 ATPs (saldo) + 2 NADH₂
- Da oxidação do piruvato: 2 NADH₂ + 2 CO₂
- Do Ciclo de Krebs (dois ciclos): 2 ATPs + 6 NADH₂ + 2 FADH₂ + 4 CO₂.

- TOTAL:** 4 ATPs
10 NADH₂
2 FADH₂
6 CO₂.



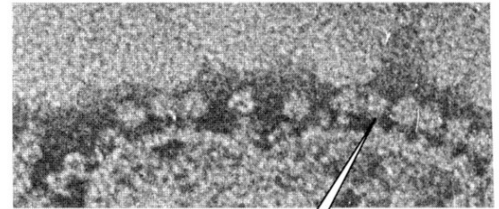
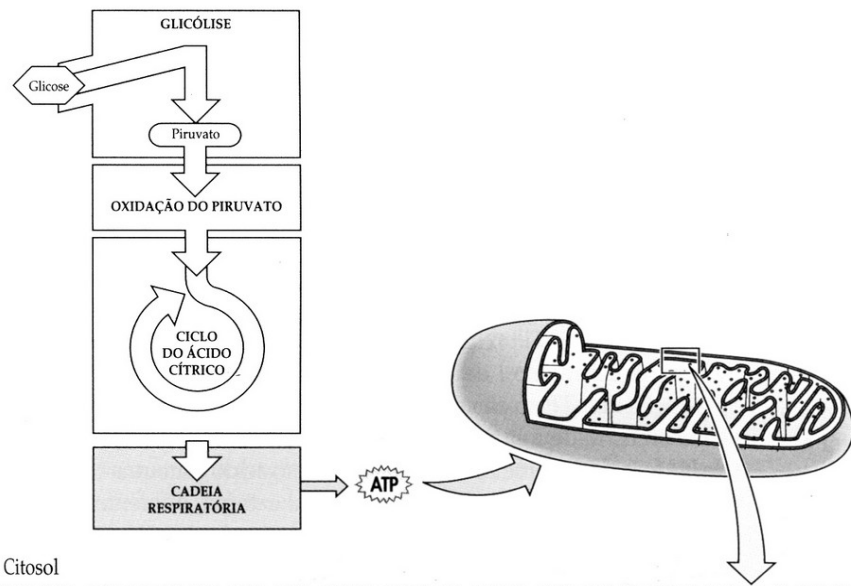
Etapas químicas que caracterizam a oxidação do ácido pirúvico e o ciclo de Krebs

CADEIA RESPIRATÓRIA E A FOSFORILAÇÃO OXIDATIVA

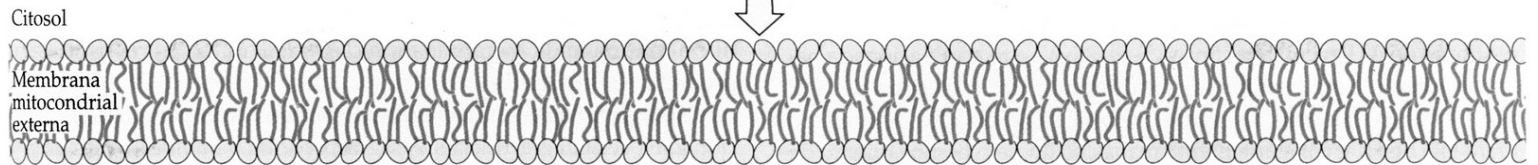
A maior parte do ATP formado na respiração celular provém do processo de **fosforilação oxidativa** que ocorre nas cristas mitocondriais. Nas membranas internas da mitocôndria existe uma série de **enzimas contendo ferro** (chamadas **citocromos**) que constituem a cadeia respiratória. Os citocromos da cadeia respiratória, inicialmente, transferem os elétrons do NADH_2 e do FADH_2 para si e, após, cedem estes elétrons para o oxigênio, reduzindo-o a água. No processo de **transporte de elétrons ao longo da cadeia respiratória**, acontece liberação de energia. Parte dessa energia é perdida (dissipada) sob a forma de calor, outra parte é **usada para transportar prótons (H^+)**, através da membrana interna, da matriz até o espaço intermembranoso. Deste modo, a **energia é guardada sob a forma de um gradiente de prótons entre a matriz e o espaço intermembranar**. Os prótons acumulados tendem a voltar para a matriz e o fazem atravessando a **enzima ATP-sintase**, situada na membrana interna mitocondrial.

Quando os prótons atravessam a enzima, sua **energia é utilizada para produzir ATP a partir de ADP e um fosfato inorgânico (PO_4^-)**. Esta teoria que procura explicar a síntese de ATP a partir da energia do gradiente de prótons é conhecida como **hipótese quimiosmótica**. O fluxo de prótons do gradiente pode ser comparado à água de uma represa que tem sua energia potencial transformada em energia elétrica quando da passagem da água por uma turbina.

Ao final do transporte de elétrons pela cadeia respiratória, estes elétrons liberaram uma energia suficiente para, por meio da ATP-sintase, regenerar trinta e quatro moléculas de ATP; somando-se os 34 ATP's às quatro moléculas de ATP's sintetizadas pela glicólise e ciclo de Krebs, temos o total de 38 moléculas de ATP formadas a partir da energia química oriunda de uma molécula de glicose. Desses, observe que os 2 ATP's da glicólise e os 2 ATP's do ciclo de Krebs são produzidos por fosforilação em nível de substrato e os 34 ATP's da **cadeia respiratória são produzidos por fosforilação oxidativa**.

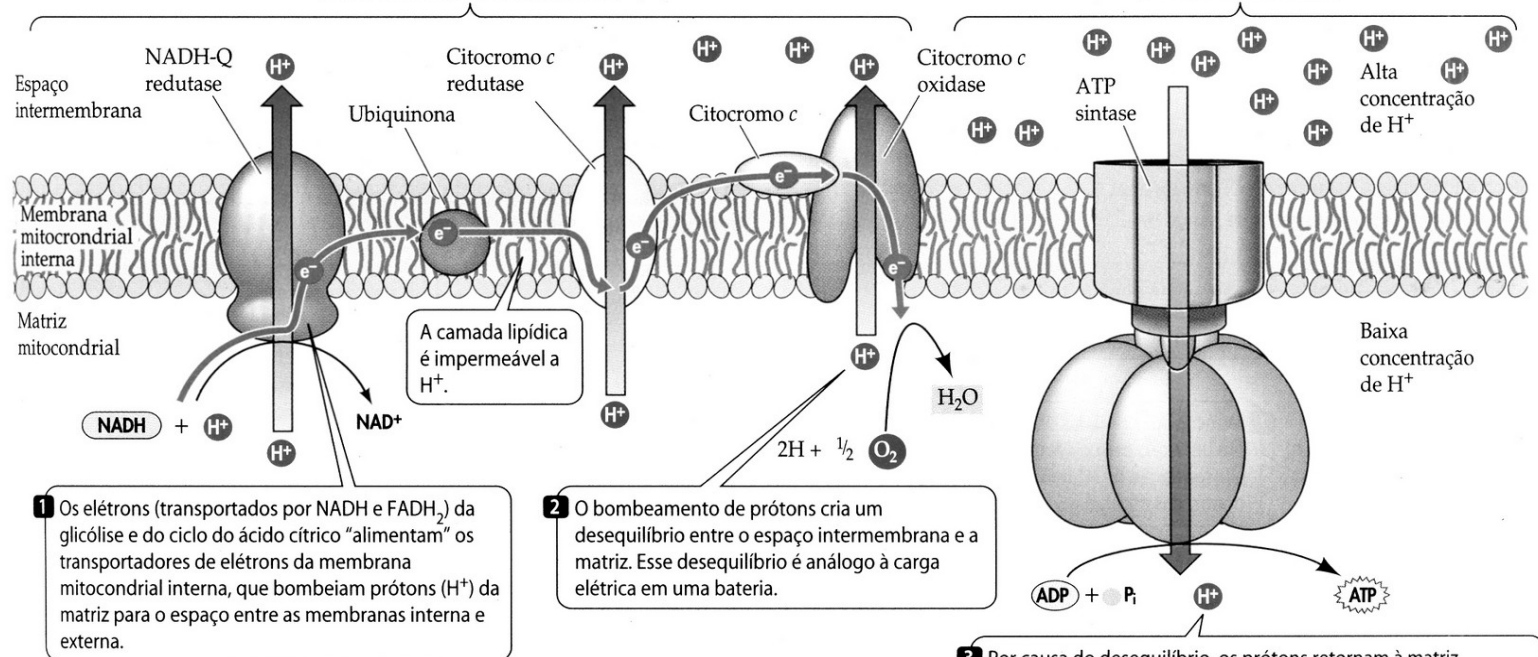


Uma vista da membrana mitocondrial interna, altamente ampliada. "Saliências" esféricas projetam-se para dentro da matriz mitocondrial; essas saliências catalisam a síntese de ATP.



TRANSPORTE DE ELÉTRONS

SÍNTESE DE ATP



Quadro resumo da Cadeia Transportadora de Elétrons ou Fosforilação Oxidativa

EM CÉLULAS EUCARIÓTICAS, O SALDO É DE APENAS 36 ATP'S

Em células eucarióticas, o saldo da respiração aeróbica, às vezes, é menor, de apenas 36 ATP's. Isto acontece porque os 2 NADH₂ produzidos no citoplasma a partir da glicólise precisam entrar na mitocôndria. Dado que os NADH₂ não podem passar através da membrana mitocondrial interna, a transferência destes NADH₂, para a liberação dos elétrons na cadeia transportadora de elétrons, é feita por "sistemas de porte" ou, ainda, "efeito lançadeira". Este "efeito lançadeira" consome 1 ATP por molécula de NADH₂ que entra na mitocôndria. Como 2 NADH₂ são produzidos na glicólise, há o consumo de 2 ATP's para esse transporte, o que faz com que o saldo final caia de 38 para 36 ATP's.

RENDIMENTO ENERGÉTICO POR NAD E FAD

Lembre-se que o NADH₂ libera seus elétrons antes do FADH₂, e a energia liberada nessa passagem do NADH₂ para o FADH₂ fornece

1 ATP. Já a passagem de elétrons do FADH₂ até o O₂ libera energia para gerar 2 ATP.

Assim, para cada NADH₂ na cadeia respiratória, a energia é suficiente para a produção de 3 ATP's, e para cada FADH₂, apenas 2 ATP's (lembramos que o FAD capta elétrons menos energéticos).

Saiba Mais:

Para alguns autores, o rendimento energético do NAD e FAD na cadeia transportadora de elétrons é um pouco menor que anteriormente descrito. Novos experimentos bioquímicos têm revelado que cada NADH₂ permitiria a liberação de apenas 2,5 ATP's, enquanto o FADH₂ resultaria em 1,5 ATP. Desta forma, a cadeia respiratória renderia 28 ATP's produzidos, menos 2 ATP's consumidos no efeito lançadeira: 26 ATP's. Somado aos 4 ATP's produzidos por fosforilação em nível de substrato, o real saldo energético a partir de uma molécula de glicose seria 30 ATP's.

PAPEL DO O₂ NO PROCESSO RESPIRATÓRIO

Perceba que os elétrons são captados no final pelo O₂, que passa a ser um ânion. Qual o objetivo deste processo? Quando o NADH₂ e o FADH₂ liberaram seus elétrons, produziram íons H⁺ que podem acidificar a célula (queda de pH), o que certamente alteraria as condições de funcionamento enzimático e levar ao óbito. O ânion de O₂ liga-se ao cátion de H⁺, formando água e impedindo queda de pH na célula. Podemos afirmar que o oxigênio é acceptor final de elétrons na respiração aeróbica.

Na falta de oxigênio, o indivíduo morre por produzir ATP em quantidade insuficiente, uma vez que não haverá ciclo de Krebs, nem cadeia respiratória, e a glicólise tem saldo apenas de 2 ATP. Sem energia, os músculos respiratórios param, não havendo a eliminação de CO₂ da corrente

sanguínea, o que torna o pH do sangue muito ácido e culmina numa acidose. A acidose leva a morte cerebral.

Perceba que apesar do oxigênio não participar diretamente do ciclo de Krebs, sua ausência bloqueia o processo bioenergético na glicólise, não havendo continuidade mitocondrial.

RESPIRAÇÃO ANAERÓBICA

A respiração anaeróbica ocorre quando a quebra total da molécula de carboidrato acontece sem que o oxigênio seja o acceptor final dos hidrogênios. Em algumas formas de respiração anaeróbica, existe uma outra molécula de que pode substituir o oxigênio, havendo então a cadeia transportadora de elétrons mesmo em anaerobiose.

A fermentação é um processo biológico anaeróbico (na ausência de oxigênio) de obtenção de energia metabólica (síntese de ATP), a partir da degradação parcial de substâncias orgânicas, resultando em uma disponibilidade energética inferior se comparada à respiração aeróbica.

Na fermentação, a glicose (um carboidrato / glicídio / açúcar) é catabolizada em substâncias orgânicas mais simples. Nesse mecanismo não ocorrem etapas como ciclo de Krebs e a cadeia respiratória, o acceptor final de hidrogênio (próton H⁺) é um composto orgânico e não mais o oxigênio, justamente por ser anaeróbio.

Contudo, esse processo pode ser estrito, ou seja, a única forma pela qual um organismo disponibiliza para adquirir energia dependida nas reações do metabolismo; ou facultativo, significando uma alternativa extra, evolutivamente uma característica mais favorável, isto é, melhor adaptada, visto que tanto permite a um organismo realizar fermentação como também respiração aeróbica, alternando conforme as condições do meio (bactérias facultativas) ou sujeições requeridas pelo potencial do próprio organismo (atividade esportiva praticada por atleta maratonista / velocista).

LEITURA COMPLEMENTAR:

Italianos descobrem animal que vive em água sem oxigênio

Um ambiente capaz de asfixiar todos os animais conhecidos do planeta foi colonizado por pelo menos três espécies diferentes de invertebrados marinhos.

Descobertos a mais de 3.000 m de profundidade no Mediterrâneo, eles são os primeiros membros do reino animal a prosperar mesmo diante da ausência total de oxigênio.

Até agora, achava-se que só bactérias pudessem ter esse estilo de vida, conhecido como anaeróbico. Não admira que os bichos pertençam a um grupo pouco conhecido, o dos **loricíferos**, que mal chegam a 1mm.

Apesar do tamanho, possuem cabeça, boca, sistema digestivo e uma carapaça. As três espécies foram achadas pela equipe de Roberto Danovaro, da Universidade Politécnica das Marche, na Itália, ao sondar a chamada bacia do Atalante, abismo marinho entre a Itália, a Grécia e o norte da África.

Além de desprovida de oxigênio, a bacia possui altas concentrações de sal e é rica em **sulfeto de hidrogênio**, gás tóxico que dá o cheiro aos ovos podres. Numa região tão profunda e inóspita, é esperada a presença de cadáveres de invertebrados, que "chovem" das partes mais superficiais do oceano. Por isso, Danovaro e companhia, para comprovar que os bichos realmente viviam lá, trouxeram os animais para a superfície e administraram um nutriente "marcado" com átomos radioativos, fáceis de detectar. Viram, então, que as criaturas estavam mesmo vivas, já que devoraram a comida recebida.

Os resultados estão em artigo publicado na revista científica "BMC Biology". "Os argumentos deles são convincentes. De fato, trata-se de um metabolismo antes só conhecido para bactérias e outros micróbios", diz Angelo Bernardino, do Departamento de Ecologia e Oceanografia da Universidade Federal do Espírito Santo. **A adaptação dos bichos à vida no sufoco é tão profunda que suas células dispensaram as chamadas mitocôndrias**, estruturas que ajudam qualquer animal "normal" a usar oxigênio. É uma mudança evolutiva radical, já que as mitocôndrias acompanham os ancestrais dos animais há bilhões de anos. Os habitantes das profundezas parecem ter trocado suas mitocôndrias por outras estruturas, mais adequadas a condições pouco oxigenadas.

"Esses loricíferos representam o primeiro caso dessa adaptação, mas as etapas do metabolismo deles provavelmente são parecidas com as que vemos em outros ambientes do mar profundo, onde há animais que se associam a bactérias capazes de aproveitar compostos químicos do lugar", afirma Bernardino, que espera mais descobertas do tipo.

<https://www1.folha.uol.com.br/fsp/ciencia/fe0804201001.htm>

EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM

01. (UNIFOR) Cientistas descobriram um mecanismo biológico que transforma gordura branca em gordura marrom. A primeira acumula energia no corpo e está associada à obesidade; a segunda está ligada à regulação da temperatura. Esta descoberta representa uma estratégia para combater a obesidade.

O mecanismo de regulação da temperatura realizado pela gordura marrom está associado à:

- A utilização de ATP (trifosfato de adenosina) para produção de calor.
- A presença de termogenina, uma proteína desacopladora.
- A inibição da cadeia transportadora de elétrons na mitocôndria, dissipando calor.
- A ativação da fosforilação oxidativa na matriz mitocondrial.
- A hidrólise de ATP (trifosfato de adenosina) em ADP (difosfato de adenosina) liberando calor.

02. (UNICHRISTUS) A Bioenergética compreende o estudo quantitativo das transformações de energia que ocorrem nas células vivas, bem como a natureza e função dos processos químicos envolvidos nessas transformações. Em relação ao tema do enunciado, é incorreto afirmar que

- a completa oxidação da glicose até CO_2 e H_2O é um processo favorável, pois ocorre o aumento da entropia e uma variação negativa da entalpia.
- a energia liberada por oxidações ocorridas no ciclo de Krebs é conservada em moléculas de NAD e FAD reduzidas.
- o ciclo de Krebs não é um processo altamente energético, porque ocorre a fosforilação de apenas um GTP.
- NAD e FAD reduzidos se reoxidam na cadeia respiratória.
- elétrons conduzidos ao longo da cadeia respiratória liberam energia que será conservada na forma de ATP, pela fosforilação oxidativa.

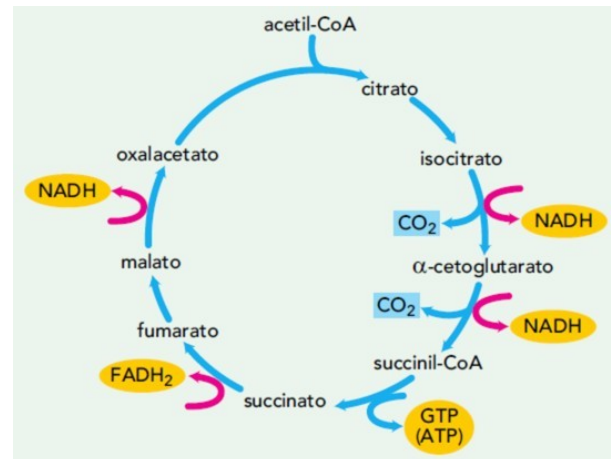
03. (UECE) Com relação à respiração celular é correto afirmar que

- a glicose é totalmente degradada durante a glicólise.
- a formação de ATP ocorre, somente, dentro da mitocôndria.
- não ocorre liberação de CO_2 durante o Ciclo de Krebs.
- o O_2 é o aceptor final de elétrons na respiração aeróbia

04. (FACISA) As mitocôndrias são organelas membranosas, geralmente em forma de bastonete, responsáveis pela respiração celular aeróbia em eucariontes como nos humanos. Dentre as etapas do referido processo de respiração celular (a partir da glicose), ocorrem fora e dentro da mitocôndria, respectivamente:

- Glicólise e Ciclo de Krebs.
- Glicólise e formação de piruvato.
- Formação do acetil-CoA e Cadeia respiratória.
- Formação de acetil-CoA e formação de piruvato.
- Ciclo de Krebs e Glicólise.

05. (UERJ) O ciclo de Krebs, que ocorre no interior das mitocôndrias, é um conjunto de reações químicas aeróbias fundamental no processo de produção de energia para a célula eucarionte. Ele pode ser representado pelo seguinte esquema:



Admita um ciclo de Krebs que, após a entrada de uma única molécula de acetil-CoA, ocorra normalmente até a etapa de produção do fumarato. Ao final da passagem dos produtos desse ciclo pela cadeia respiratória, a quantidade total de energia produzida, expressa em adenosinas trifosfato (ATP), será igual a:

- 3.
- 4.
- 9.
- 12.

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO

01. (UNICAMP 2020) As concentrações de arsênio no oceano se alteraram ao longo do tempo geológico. No período Pré- Cambriano, os oceanos receberam grandes quantidades de arsênio, em consequência do intemperismo de minerais continentais de sulfeto de arsênio. Recentemente foram identificados micro-organismos com expressão proteica das enzimas arsenito oxidase e arsenato redutase no Oceano Pacífico Norte Oriental, nas zonas deficientes de oxigênio em regiões pelágicas, sugerindo que a comunidade microbiológica é capaz de utilizar arsênio para respiração celular.

(Fonte: Jaclyn Saunders e outros, PNAS, Washington, v. 116, n. 20, p. 9925-9930, maio 2019.)

Assinale a alternativa que preenche corretamente as lacunas nas frases a seguir.

Assim como as formas oxidadas de nitrogênio e enxofre, o arsênio pode ser utilizado como acceptor (i) na respiração celular desses micro-organismos nas zonas deficientes de oxigênio. No período (ii), surgiram as cianobactérias, os primeiros seres fotossintetizantes.

- a) (i) final de elétrons; (ii) arqueano.
- b) (i) intermediário de elétrons; (ii) arqueano.
- c) (i) final de elétrons; (ii) fanerozoico.
- d) (i) intermediário de elétrons; (ii) fanerozoico.

02. (ENEM 2019) O 2,4-dinitrofenol (DNP) é conhecido como desacoplador da cadeia de elétrons na mitocôndria e apresenta um efeito emagrecedor. Contudo, por ser perigoso e pela ocorrência de casos letais, seu uso como medicamento é proibido em diversos países, inclusive no Brasil. Na mitocôndria, essa substância captura, no espaço intermembranas, prótons provenientes da atividade das proteínas da cadeia respiratória, retornando-os à matriz mitocondrial. Assim, esses prótons não passam pelo transporte enzimático, na membrana interna.

GRUNDLINGH, J. et. al. 2,4-Dinitrophenol (DNP): a Weight Loss Agent with Significant Acute Toxicity and Risk of Death. *Journal of Medical Toxicology*, v.7, 2011 (adaptado).

O efeito emagrecedor desse composto está relacionado ao(à)

- a) obstrução da cadeia respiratória, resultando em maior consumo celular de ácidos graxos.
- b) bloqueio das reações do ciclo de Krebs, resultando em maior gasto celular de energia.
- c) diminuição da produção de acetil resultando em maior gasto celular de piruvato.
- d) inibição da glicólise de ATP, resultando em maior gasto celular de nutrientes.
- e) redução da produção de ATP, resultando em maior gasto celular de nutrientes.

03. (UECE 2019) Atente para o seguinte trecho sobre respiração aeróbica e assinale a opção que completa correta e respectivamente as lacunas:

“Visto que a _____ é a forma de energia usada pelas células para realizar os processos biológicos, os elétrons ricos em energia capturados na glicólise (NADH)

e _____ (NADH) e (FADH₂) devem ser convertidos para ATP. Este processo é dependente de _____ e envolve uma série de carreadores de elétrons, conhecida como _____”.

- a) fotossíntese — no ciclo do ácido cítrico — CO₂ — ciclo de Calvin
- b) fosforilação — no ciclo do ácido cítrico — O₂ — cadeia de transporte de elétrons
- c) fosforilação — no ciclo de Calvin — O₂ — cadeia de transporte de elétrons
- d) fotofosforilação — no ciclo de Calvin — CO₂ — ciclo do ácido cítrico

04. (CFTMG 2018) Durante a atividade física, o glicogênio muscular é catabolizado, formando moléculas de glicoses que, pela respiração celular, serão quebradas em CO₂ e H₂O com consequente liberação de energia na forma de ATP. Porém, quando o exercício físico se torna muito exaustivo e/ou vigoroso, a quebra da glicose não acontece totalmente.

Disponível em: <http://globoesporte.globo.com/atletismo/corrida-de-rua/noticia/2011/09/glicogenio-muscular.html>. Acesso: 20 out. 2017 (adaptado).

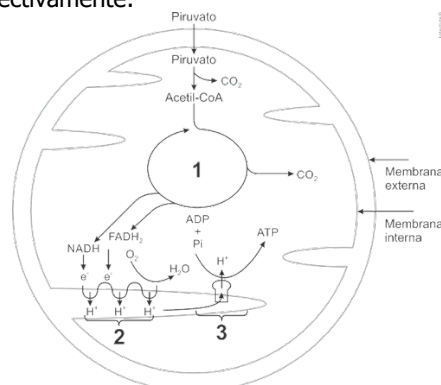
Nessa condição, a degradação completa da glicose fica impedida porque o ambiente celular apresenta limitações na quantidade de

- a) ATP.
- b) água.
- c) oxigênio.
- d) gás carbônico.

05. (UECE 2017) Qualquer ser vivo precisa de energia para realizar suas funções metabólicas. Seres vivos aeróbios realizam o processo conhecido como respiração celular, sobre o qual é correto afirmar que

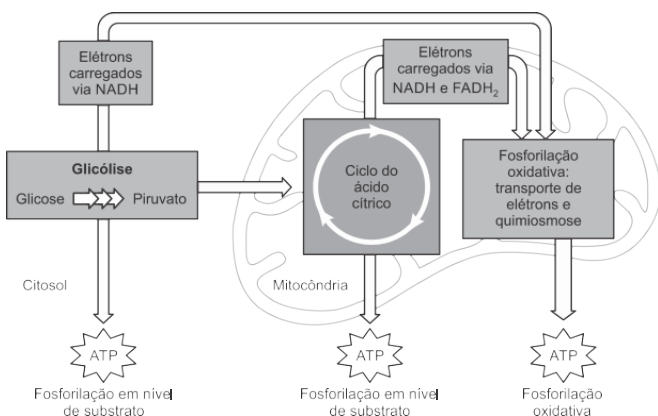
- a) a glicólise, etapa da respiração celular também conhecida como fermentação, acontece na ausência de oxigênio.
- b) compreende um processo pouco eficiente, pois são obtidos apenas 2 ATP
- c) o ATP é utilizado e produzido na respiração celular, sendo moeda energética também na respiração anaeróbica.
- d) na cadeia respiratória o receptor final do carbono é o oxigênio, formando o CO₂

06. (FCMMG 2017) As etapas do processo de respiração celular ocorridos no interior de uma mitocôndria e representados no esquema abaixo pelos números 1, 2 e 3 são, respectivamente:



- a) Glicólise, Ciclo de Krebs e Cadeia Respiratória
- b) Glicólise, Fosforilação Oxidativa e Cadeia Respiratória
- c) Ciclo de Krebs, Cadeia Respiratória e Fosforilação Oxidativa
- d) Ciclo do Ácido Cítrico, Fotofosforilação e Fosforilação Oxidativa

07. (UEMG 2017) Analise o esquema, a seguir, que representa as três etapas de um processo metabólico energético.



Sobre esse processo metabólico, é correto afirmar que

- a) as plantas realizam as etapas II e III, mas não realizam a I.
- b) a maior produção de ocorrerá na fosforilação oxidativa.
- c) a etapa I é comum aos metabolismos de respiração anaeróbia e aeróbia.
- d) os procariotos, por não apresentarem mitocôndrias, não realizam a etapa III.

08. (UECE 2016) As mitocôndrias são organelas citoplasmáticas com formas variáveis medindo aproximadamente de a de diâmetro e a de comprimento. Existem teorias sobre a origem das mitocôndrias que discutem o provável surgimento dessas organelas nas células eucariontes durante a evolução. Supõe-se que, por volta de 2,5 bilhões de anos, células procarióticas teriam fagocitado, sem digestão, arqueobactérias capazes de realizar respiração aeróbia, disponibilizando energia para a célula hospedeira, garantindo alimento e proteção (uma relação harmônica de dependência).

(Krukemberghe Fonseca, *BRASIL ESCOLA. Em: <http://www.brasilecola.com/biologia/mitocondrias.htm>. Acessado em 2015.*)

A respeito das mitocôndrias, pode-se afirmar corretamente que

- a) são constituídas por duas membranas das quais a mais interna é lisa e a externa é pregueada, formando as cristas mitocondriais que delimitam a matriz mitocondrial local onde ficam dispersas estruturas ribossomais, enzimas e um filamento de DNA circular.

b) a membrana externa das mitocôndrias é rica em enzimas respiratórias.

c) durante o processo de respiração aeróbia, ocorrem reações determinantes nas mitocôndrias: o Ciclo de Krebs nas cristas mitocondriais e a Cadeia Respiratória na matriz mitocondrial.

d) o fato de esta organela possuir material genético próprio permite a ela capacidade de autoduplicar-se, principalmente em tecidos orgânicos que requerem uma compensação fisiológica maior quanto à demanda energética; isso é percebido pela concentração de mitocôndrias em células de órgãos como o fígado (células hepáticas) e a musculatura (fibra muscular).

09. (FATEC 2016) Um dos problemas enfrentados atualmente pelas cidades é o grande volume de esgoto doméstico gerado por seus habitantes. Uma das formas de minimizar o impacto desses resíduos é o tratamento dos efluentes realizado pelas estações de tratamento. O principal método utilizado para isso é o tratamento por lodos ativados, no qual o esgoto é colocado em contato com uma massa de bactérias em um sistema que garante a constante movimentação e oxigenação da mistura, ambas necessárias para que o processo de decomposição possa ocorrer.

As bactérias envolvidas no método de tratamento de esgoto descrito obtêm energia por meio do processo de

- a) fermentação, pois necessitam do gás oxigênio para promover a transformação da matéria inorgânica em matéria orgânica.
- b) respiração anaeróbia, pois necessitam do gás oxigênio para realizar a transformação da matéria orgânica em matéria inorgânica.
- c) respiração anaeróbia, pois necessitam do gás oxigênio para promover a transformação da matéria inorgânica em matéria orgânica.
- d) respiração aeróbia, pois necessitam do gás oxigênio para promover a transformação da matéria inorgânica em matéria orgânica.
- e) respiração aeróbia, pois necessitam do gás oxigênio para promover a transformação da matéria orgânica em matéria inorgânica.

10. (PUCPR 2016) Leia o texto a seguir:

Algas poderiam substituir petróleo em produtos sintéticos

De camisas de poliéster, jarras de leite de plástico e tubos de PVC à produção de etanol industrial de alta qualidade, a matéria-prima química etileno pode ser encontrada por toda parte ao redor do globo. Esse hidrocarboneto de baixo custo é feito de petróleo e gás natural, e o modo como é produzido emite mais dióxido de carbono que qualquer outro processo químico. À medida que as preocupações sobre os níveis de na atmosfera têm aumentado, alguns cientistas andaram realizando experimentos alternativos para tornar a produção de etileno mais "verde", ou ecologicamente correta. No Laboratório Nacional de Energia Renovável do Departamento de Energia (NREL, em inglês), pesquisadores estão tendo um sucesso inesperado com a ajuda de cianobactérias, ou algas verde-azuladas. Jianping Yu, do Grupo de Fotobiologia do

NREL, lidera uma equipe que está trabalhando com esses organismos. Em seu laboratório, eles conseguiram produzir etileno diretamente a partir de algas geneticamente modificadas. Para isso, os cientistas introduziram em cianobactérias um gene que codifica uma enzima produtora de etileno, alterando efetivamente seu metabolismo. Isso permite que os organismos convertam em etileno parte do utilizado normalmente para produzir açúcares e amidos durante a fotossíntese. (...) Os pesquisadores conseguem produzir etileno a partir de algas ao alterarem uma parte do metabolismo do organismo chamada ciclo dos ácidos tricarbóxicos (TCA), envolvida na biossíntese e produção de energia. Em algas verde-azuladas geneticamente inalteradas, esse ciclo só pode absorver uma fração relativamente pequena, de 13% dos 2% a 3% do CO₂ fixado.

Niina Heikkinen e ClimateWire. Disponível em:
<http://www2.uol.com.br/sciam/noticias/algas_poderiam_substituir_pe_troleo_em_produtos_sinteticos.html>.

Sobre o TCA citado no texto, podemos afirmar que:

- é sinônimo de ciclo de Calvin-Benson.
- este ciclo é posterior à cadeia respiratória.
- é o ciclo da fase clara da fotossíntese.
- este ciclo pertence à respiração.
- é o ciclo anterior à entrada no ciclo de Krebs.

11. (UFRGS 2016) Sobre a respiração celular, é correto afirmar que

- a glicólise consiste em uma série de reações químicas na qual uma molécula de glicose resulta em duas moléculas de ácido pirúvico ou piruvato.
- a glicólise é uma etapa aeróbica da respiração que ocorre no citosol e que, na ausência de oxigênio, produz etanol.
- o ciclo do ácido cítrico é a etapa da respiração celular aeróbica que produz maior quantidade de ATP.
- o ciclo do ácido cítrico ocorre na membrana interna da mitocôndria e tem como produto a liberação de CO₂.
- a fosforilação oxidativa ocorre na matriz mitocondrial, utilizando o oxigênio para a produção de H₂O e CO₂.

12. (UDESC 2016) Um importante fenômeno na obtenção de energia é o Ciclo de Krebs, também denominado de ciclo do ácido cítrico ou ciclo dos ácidos tricarbóxicos.

Com relação a este ciclo, analise as proposições.

- O ácido pirúvico no início do ciclo provém da quebra da molécula de glicose (glicólise).
- Este ciclo ocorre no citoplasma tanto das células de organismos procariontes quanto nas dos eucariontes.
- O aceptor final dos hidrogênios liberados neste ciclo, quando realizado na respiração aeróbica, é o oxigênio.
- Nas células musculares este ciclo pode ocorrer tanto no interior das mitocôndrias como no citoplasma da célula.

Assinale a alternativa correta.

- Somente as alternativas I e III são verdadeiras.
- Somente as alternativas I e II são verdadeiras.
- Somente as alternativas II e III são verdadeiras.
- Somente as alternativas II e IV são verdadeiras.
- Somente as alternativas III e IV são verdadeiras.

13. (UFJF 2016) No processo de respiração celular o gás oxigênio atua como agente oxidante de moléculas orgânicas. As afirmativas a

seguir são relacionadas a esse processo.

- Os produtos finais da respiração celular são moléculas de gás carbônico e moléculas de água.
- A degradação da glicose na respiração celular ocorre em três etapas metabólicas (glicólise, ciclo de Krebs e a fosforilação oxidativa).
- O saldo energético líquido da primeira etapa da respiração celular é de dois ATP por moléculas de glicose.
- O oxigênio é necessário em todas as três etapas metabólicas da respiração celular.
- Nas células eucarióticas, o ciclo de Krebs, uma das etapas metabólicas da respiração celular, ocorre no citosol.

São CORRETAS as afirmativas:

- I, III e V.
- II, IV e V.
- I, II e III.
- I, II e IV.
- I, II, III e V.

14. (UEMA 2015) A maioria dos seres vivos obtém energia necessária para a realização de seus processos vitais por meio da quebra da molécula de glicose. A energia liberada resultante dessa degradação é tão grande que mataria a célula se fosse realizada de uma única vez.

Essa degradação ocorre em etapas denominadas

- glicólise, ciclo do ácido cítrico e cadeia respiratória.
- cadeia respiratória, ciclo do ácido cítrico e glicose.
- glicogênese, glicólise e ciclo do ácido cítrico.
- glicose, glicogênese e cadeia respiratória.
- ciclo do ácido cítrico, glicose e glicólise.

15. (PUCRJ 2015) A respiração celular aeróbica e a fermentação são importantes vias metabólicas que produzem ATP (adenosina trifosfato). Em relação a esse tema, considere as afirmativas a seguir:

- Somente a respiração celular aeróbica oxida glicose.
- NADH é oxidado pela cadeia transportadora de elétrons somente na respiração celular aeróbica.
- Somente a fermentação é um exemplo de via catabólica.

É correto o que se afirma em:

- Apenas I.
- Apenas II.
- Apenas I e III.
- Apenas II e III.
- I, II e III.

16. (UCS 2015) A energia que movimenta e mantém a vida no Planeta é o ATP, a moeda energética. A maioria dos seres vivos produz ATP por meio da respiração celular. Observe o quadro abaixo que representa o balanço energético de uma respiração aeróbica.

Síntese de ganho de energia das etapas da respiração celular

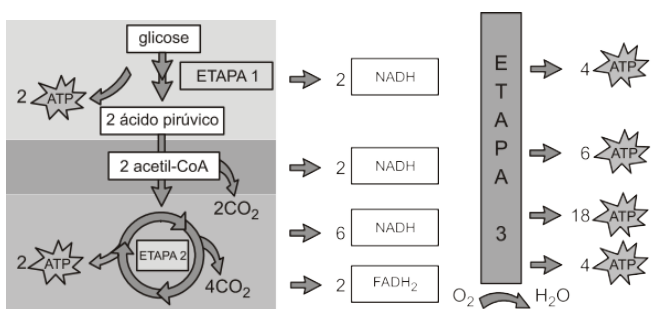
Etapa	Produz	Gasta	Ocorrência	ATPs na cadeia respiratória	Saldo de ATPs
Glicólise	→ 4 ATPs	→ I	1 vez	II	→ 2 ATPs
	→ 2 NADH ₂	→	1 vez		→ 6 ATPs
Ciclo de Krebs	→ 1 ATPs	→	2 vezes	→	→ 2 ATPs
Cadeia Respiratória	→ 1NADH ₂	→	III	→	→ 3 ATPs
	→ 3NADH ₂	→			
	→ 1FADH ₂	→			

- a) 1ATP; zero ATPs; 1 vez; 6ATPs; total = 36ATPs
- b) 1NADH₂; 1ATP; 1 vez; 2ATPs; total = 34ATPs
- c) 2ATPs; 3ATPs; 2 vezes; 4ATPs total = 32ATPs
- d) 2FADH₂; 2ATPs; 1 vez; 4ATPs; total = 38ATPs
- e) 2ATPs; 3ATPs; 2 vezes; 4ATPs; total = 38ATPs

17. (UDESC 2014) Assinale a alternativa correta quanto à respiração celular.

- a) Uma das etapas da respiração celular aeróbia é a glicólise, ocorre na matriz mitocondrial e produz Acetil-CoA.
- b) A respiração celular aeróbia é um mecanismo de quebra de glicose na presença de oxigênio, produzindo gás carbônico, água e energia.
- c) O Ciclo de Krebs é uma das etapas da respiração celular, ocorre no citoplasma da célula e produz duas moléculas de ácido pirúvico.
- d) A etapa final da respiração celular é a glicólise, ocorre na membrana interna da mitocôndria e produz três moléculas de NAD₂H, uma molécula de FAD₂H e uma molécula de ATP.
- e) A cadeia respiratória é a etapa final da respiração celular, ocorre no citoplasma da célula, produzindo glicose e oxigênio.

18. (UPF 2014) Considere a figura abaixo, a qual representa, de forma esquemática, um importante processo da fisiologia celular. As três etapas desse processo estão destacadas nos retângulos de cor laranja. Com base na análise da figura, assinale a única afirmativa verdadeira.



- a) As etapas 1, 2 e 3 representam as etapas da respiração celular denominadas, respectivamente, Glicólise, Ciclo de Calvin e Cadeia transportadora de elétrons (ou cadeia respiratória).
- b) As etapas 1, 2 e 3 representam as etapas da fotossíntese denominadas, respectivamente, Glicólise, Ciclo de Calvin e Cadeia transportadora de elétrons.
- c) Durante o processo, a energia contida em moléculas orgânicas é liberada pouco a pouco e parte dessa energia é armazenada na forma de ATP.

- d) As etapas 1 e 2 ocorrem, respectivamente, no citoplasma das células e no estroma.
- e) A etapa 3 ocorre nas membranas dos tilacoides.

19. (UFRGS 2014) A rota metabólica da respiração celular responsável pela maior produção de ATP é

- a) a glicólise, que ocorre no citoplasma.
- b) a fermentação, que ocorre na membrana externa da mitocôndria.
- c) a oxidação do piruvato, que ocorre na membrana externa da mitocôndria.
- d) a cadeia de transporte de elétrons, que ocorre na membrana interna da mitocôndria.
- e) o ciclo do ácido cítrico, que ocorre na matriz da mitocôndria.

20. (ACAFE 2014) Sobre o processo de obtenção de energia pelos seres vivos é correto afirmar, exceto:

- a) A respiração anaeróbica é o processo de extração de energia de compostos orgânicos sem a utilização do O₂ como aceptor final de elétrons.
- b) A respiração aeróbica compreende três fases, que ocorrem no interior das mitocôndrias: glicólise, ciclo de Krebs e cadeia respiratória.
- c) A quebra da glicose através da fermentação produz 2 ATPs como saldo energético.
- d) Ao contrário da fermentação alcoólica, a fermentação láctica não produz CO₂.

GABARITOS E PADRÕES DE RESPOSTA**EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM**

- 01.
- 02.
- 03.
- 04.
- 05.

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO**01. [A]**

Assim como as formas oxidadas de nitrogênio e enxofre, o arsênio pode ser utilizado comoceptor de elétrons na respiração celular desses micro-organismos nas zonas deficientes de oxigênio. No período arqueano, surgiram as cianobactérias, os primeiros seres fotossintetizantes.

02. [E]

O DNP captura os prótons no espaço intermembranas da mitocôndria e os envia para a matriz, sem que eles passem pela enzima ATP-sintase, daí a redução na produção do ATP. Para aumentar a produção do ATP, o organismo consome maior quantidade de nutrientes.

03. [B]

A fosforilação é a forma de energia usada pelas células para realizar os processos biológicos, os elétrons ricos em energia capturados na glicólise (NADH) e no ciclo do ácido cítrico (de Krebs), NADH e FADH₂ devem ser convertidos em ATP. Esse processo é dependente de CO₂ e envolve uma série de carregadores de elétrons, conhecida como cadeia de transporte de elétrons.

04. [C]

Quando o exercício físico é muito intenso, a quantidade de oxigênio que as células musculares recebem é insuficiente para catalisar totalmente as moléculas de glicose, o que gera um baixo aproveitamento do seu potencial energético, produzindo menos ATP.

05. [C]

O ATP (adenosina trifosfato) é utilizado e produzido na respiração celular aeróbica e anaeróbica.

06. [C]

A fase 1 representa o ciclo de Krebs ocorrendo na matriz mitocondrial, 2 representa a cadeia respiratória e 3 a fosforilação oxidativa, fenômenos bioquímicos que ocorrem nas cristas mitocôndriais.

07. [C]

O processo de glicólise ocorre no citosol e não depende da presença do oxigênio. É uma fase comum à respiração aeróbica e anaeróbica.

08. [D]

As mitocôndrias são organelas citoplasmáticas dotadas de equipamento genético capaz de permitir sua multiplicação quando as células que as hospedam demandam maiores necessidades energéticas.

09. [E]

As bactérias decompositoras utilizadas no tratamento das efluentes contendo esgoto doméstico realizam a respiração aeróbica, porque utilizam o gás oxigênio para transformar a matéria orgânica em matéria inorgânica.

10. [D]

O TCA, ou ciclo dos ácidos tricarboxílicos ou ciclo de Krebs, é uma das etapas da respiração que ocorre na mitocôndria, sendo um processo anterior à cadeia respiratória.

11. [A]

A glicólise é a primeira fase da respiração celular aeróbica e consiste de um conjunto de reações químicas citosólicas. Essas reações não dependem da presença do oxigênio e transformam a molécula de glicose em duas moléculas de ácido pirúvico (ou piruvato).

12. [A]

[II] e [IV] estão incorretas, pois o Ciclo de Krebs ocorre, exclusivamente, na matriz das mitocôndrias em células eucarióticas e no citoplasma de células procarióticas.

13. [C]

[IV] Incorreta: Oxigênio nas fases mitocondriais do processo de respiração celular aeróbica.

[V] Incorreta: O ciclo de Krebs ocorre na matriz mitocondrial.

14. [A]

A respiração celular aeróbica inclui as seguintes fases: glicólise, realizada no citosol; ciclo do ácido cítrico (de Krebs) na matriz mitocondrial e cadeia respiratória (fosforilação oxidativa) nas cristas mitocondriais.

15. [B]

[I] Falsa. A glicose é um monossacarídeo que pode ser oxidado durante a respiração celular anaeróbica.

[III] Falsa. A respiração celular aeróbica é um exemplo de via catabólica, porque converte monossacarídeos em compostos simples como CO₂ e H₂O.

16. [E]

A ativação da glicose durante a glicólise consome 2 ATPs. O rendimento energético, em ATPs de cada NADH₂ é igual a 3. O NADH₂ passa duas vezes pela cadeia transportadora de elétrons. 2 FADH₂ rendem 4 ATPs. O rendimento energético total do processo é igual a 38 ATPs em células do fígado e do coração.

17. [B]

A respiração celular aeróbica ocorre em três fases: glicólise anaeróbica, no citosol, ciclo de Krebs, na matriz mitocondrial, e cadeia alimentar, que ocorre nas cristas mitocondriais.

18. [C]

O processo de respiração celular aeróbica libera energia pouco a pouco e parte dela é armazenada na forma de ATP (adenosina trifosfato).

19. [D]

A produção de ATP, obtida de uma molécula de glicose por meio da glicólise, seguida pela respiração celular, rende 32 moléculas de ATP. A glicólise produz duas moléculas de ATP, a fermentação ocorre no citosol, a oxidação do piruvato e o ciclo do ácido cítrico (2ATPs) ocorrem na matriz mitocondrial. A cadeia de transporte de elétrons ocorre na membrana interna da mitocôndria e produz 28 moléculas de ATP.

20. [B]

A glicólise é um processo que ocorre no hialoplasma da célula, enquanto os processos denominados ciclo de Krebs e cadeia respiratória são realizados no interior da mitocôndria.