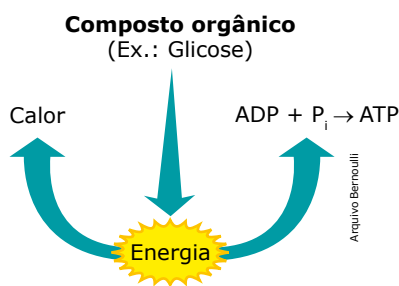


## Respiração Celular e Fermentação

A obtenção de energia a partir de compostos orgânicos consiste numa série de reações químicas que visam à degradação (“quebra”) de moléculas orgânicas no interior da célula com o objetivo de liberar a energia nelas contida. Parte dessa energia irradia-se para o meio sob a forma de calor e parte é utilizada na síntese de moléculas de ATP, nas quais fica armazenada até ser utilizada numa atividade. Assim, o objetivo da respiração celular e da fermentação é a síntese de moléculas de ATP.



Os compostos orgânicos utilizados no processo de obtenção de energia estão representados principalmente pelos carboidratos, notadamente a glicose. No entanto, na carência de carboidratos, as células passam a utilizar lipídios e, na falta destes, chegam a lançar mão das proteínas para obtenção de energia.

O oxigênio (O<sub>2</sub>) pode participar ou não como um dos reagentes dessas reações que visam à obtenção de energia. Quando o O<sub>2</sub> participa, diz-se que o processo é aeróbio (aeróbico); quando não há participação do O<sub>2</sub>, o processo é dito anaeróbio (anaeróbico). A respiração pode ser aeróbia ou anaeróbia, já a fermentação é um processo anaeróbio.

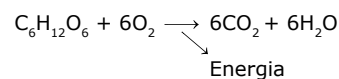
Existem células que só realizam processo aeróbio; outras que só realizam o processo anaeróbio; e, ainda, existem aquelas que podem realizar as duas modalidades. Assim, podemos classificar as células em:

- **Aeróbias estritas** – Só realizam o processo aeróbio. Na ausência de oxigênio, morrem. A maioria das células do nosso corpo está incluída nessa categoria.

- **Anaeróbias estritas ou obrigatórias** – Só realizam o processo anaeróbio. A presença do oxigênio, inclusive, lhes é prejudicial, chegando a matá-las. Isso acontece, por exemplo, com células de alguns micro-organismos, como é o caso do *Clostridium tetani*, bactéria causadora do tétano.
- **Anaeróbias facultativas** – São capazes de realizar processo aeróbio e anaeróbio, conforme tenham ou não à sua disposição o oxigênio. Na presença de O<sub>2</sub>, realizam o processo aeróbio na ausência de O<sub>2</sub>, passam a obter energia por processo anaeróbio. Isso é feito, por exemplo, por nossas células musculares esqueléticas.

### RESPIRAÇÃO AERÓBIA

No metabolismo celular, normalmente, a respiração aeróbia é feita a partir da glicose. Trata-se de uma reação exergônica, que pode ser representada de forma simplificada por meio da seguinte equação química:



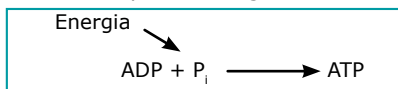
A glicose (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>), utilizada como reagente, pode ser obtida por meio da alimentação, no caso de organismo heterótrofo, ou, então, é produzida dentro da própria célula, por meio da fotossíntese ou da quimiossíntese, no caso de organismo ser autótrofo.

O oxigênio (O<sub>2</sub>), que também é um reagente da respiração aeróbia, normalmente é proveniente do meio ambiente, podendo, dependendo da espécie, ser retirado da atmosfera, da água (O<sub>2</sub> que se encontra dissolvido entre as moléculas de água dos rios, mares, lagos, etc.) e mesmo do solo.

O gás carbônico ou dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) é um dos produtos finais da reação. Em altas concentrações no interior do organismo, torna-se uma substância prejudicial e tóxica para as células, uma vez que é um óxido ácido. Assim, quanto maior a sua concentração num meio, mais ácido esse meio se torna. Essa acidificação excessiva pode levar à morte das células. Por isso, o CO<sub>2</sub> formado nas reações da respiração aeróbia, normalmente, é eliminado para o meio ambiente. Na respiração aeróbia, portanto, há, normalmente, uma troca de gases (absorção de O<sub>2</sub> e eliminação do CO<sub>2</sub>) entre o organismo e o meio ambiente.

A água (H<sub>2</sub>O), outro produto da reação, pode ser utilizada no próprio metabolismo celular como também pode ser eliminada por meio de diferentes processos (transpiração, por exemplo).

Quanto à energia liberada pela reação, parte dela é perdida para o meio sob a forma de calor, e parte é utilizada na fosforilação de moléculas de ADP para a fabricação de ATP conforme mostra o esquema a seguir:

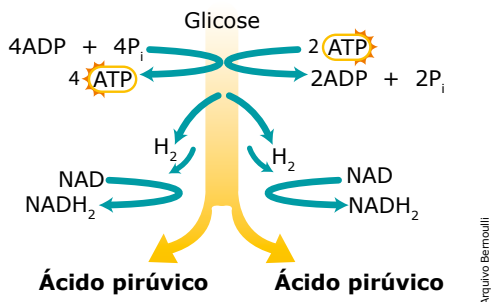


A respiração aeróbia feita a partir da glicose pode ser subdividida em três etapas básicas: glicólise, ciclo de Krebs e cadeia respiratória.

### Glicólise

Ocorre no hialoplasma das células e consiste numa sequência de reações que tem como finalidade “quebrar” ou decompor a molécula de glicose (que possui 6 carbonos) em duas moléculas menores (cada uma com 3 carbonos) de uma substância denominada ácido pirúvico (piruvato).

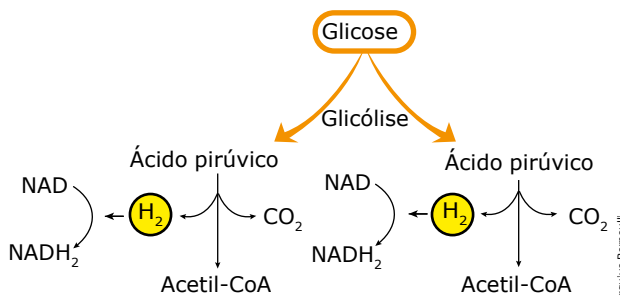
De forma mais simples, podemos resumir a glicólise da seguinte maneira:



Glicólise.

O esquema mostra resumidamente que as reações da glicólise consomem 2 ATP; liberam hidrogênios, com a consequente formação de 2 NADH<sub>2</sub> (2 NADH + H<sup>+</sup>); liberam energia, que é utilizada para a síntese de 4 ATP; e formam duas moléculas de ácido pirúvico. O NAD ou NAD<sup>+</sup> (nicotinamida adenina dinucleotídeo) é um transportador de hidrogênios. Ao receber hidrogênios, o NAD passa para sua forma reduzida NADH + H<sup>+</sup>, que, por comodidade didática, muitos autores preferem representar por NADH<sub>2</sub> ou NAD2H. Embora a oxidação e a redução sejam definidas para perda e ganho de elétrons, podemos também usar esses termos quando são ganhos ou peridos átomos de hidrogênio, porque as transferências de átomos de hidrogênio envolvem transferência de elétrons (H = H<sup>+</sup> + e<sup>-</sup>). Os NADH<sub>2</sub> formados na glicólise irão para a cadeia respiratória.

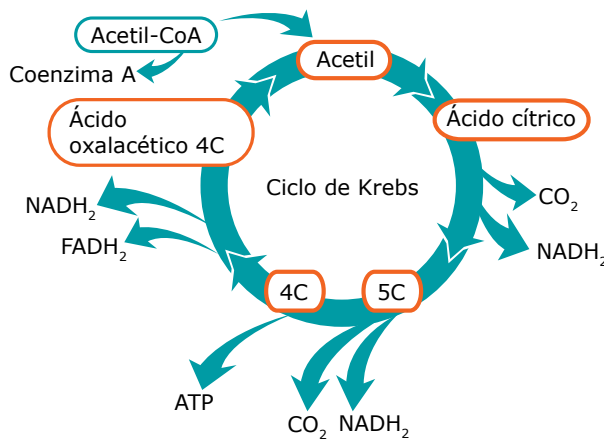
Após a glicólise, cada molécula de ácido pirúvico sofre descarboxilação (saída de CO<sub>2</sub> devido à ação das enzimas descarboxilases) e desidrogenação (saída de H<sub>2</sub>), transformando-se no radical acetil que possui apenas dois carbonos.



As moléculas de CO<sub>2</sub> liberadas dessas reações são eliminadas para o meio extracelular e, posteriormente, liberadas no meio ambiente. Os H<sub>2</sub> liberados são captados por moléculas de NAD, formando NADH<sub>2</sub>, que, por sua vez, irão para a cadeia respiratória. Cada molécula de ácido acético liga-se à coenzima A, formando um composto conhecido por acetil-CoA, que irá para o ciclo de Krebs.

### Ciclo de Krebs

O radical acetil desliga-se da coenzima A e reage com o ácido oxalacético (um composto que tem 4 carbonos na molécula), formando o ácido cítrico (com 6 carbonos na molécula). Assim, o ácido cítrico é o primeiro composto formado nessa etapa e, por isso, o ciclo de Krebs é conhecido também por ciclo do ácido cítrico. Na imagem a seguir, temos uma representação esquemática e resumida do ciclo de Krebs.

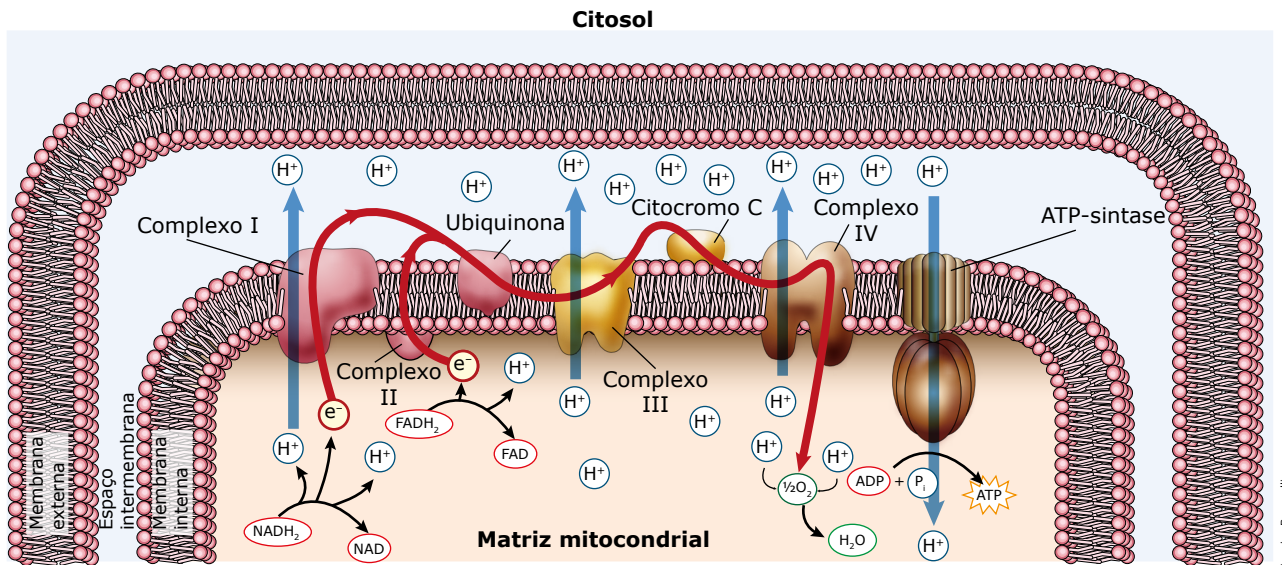


Ciclo de Krebs.

O esquema do ciclo de Krebs representado anteriormente mostra que, em cada volta do ciclo, ocorrem os seguintes fenômenos: o ácido cítrico é degradado sucessivamente em compostos com 4 e 5 carbonos até reconstituir o ácido oxalacético; liberação de 2 CO<sub>2</sub> (descarboxilação) que, normalmente, serão eliminados para o meio extracelular e, posteriormente, para o meio ambiente; liberação de energia que permitirá diretamente a síntese de um ATP e liberação de 4 H<sub>2</sub> (desidrogenação). Destes, 3 H<sub>2</sub> são captados por moléculas de NAD, formando 3 NADH<sub>2</sub>, e o outro H<sub>2</sub> liga-se a uma molécula de FAD, formando um FADH<sub>2</sub>. O FAD (flavina adenina dinucleotídeo), assim como o NAD, é um aceptor e transportador de hidrogênios. Os NADH<sub>2</sub> e o FADH<sub>2</sub> formados durante as reações do ciclo de Krebs também irão para a cadeia respiratória.

## Cadeia respiratória

A cadeia respiratória, que nas células eucariotas é realizada na membrana interna da mitocôndria, tem início a partir dos  $\text{NADH}_2$  e dos  $\text{FADH}_2$  produzidos nas etapas anteriores da respiração celular. Nela, ocorre síntese de água, transporte de elétrons através de uma cadeia de substâncias (cadeia transportadora de elétrons) e bomba de prótons ( $\text{H}^+$ ) com consequente síntese de ATP. A cadeia transportadora de elétrons é um conjunto de reações de oxirredução que envolve a participação de quatro complexos proteicos (I, II, III e IV) e de duas moléculas conectoras móveis: a ubiquinona (coenzima Q) e o citocromo C. A bomba de prótons é um mecanismo de transporte ativo que transfere íons  $\text{H}^+$  da matriz mitocondrial para o espaço intermembrana (espaço existente entre a membrana externa e a membrana interna da mitocôndria). A ilustração a seguir mostra de forma simplificada os principais fenômenos da cadeia respiratória.



A cadeia respiratória – A oxidação dos  $\text{NADH}_2$  ( $\text{NADH}_2 \rightarrow \text{NAD} + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$ ) e a dos  $\text{FADH}_2$  ( $\text{FADH}_2 \rightarrow \text{FAD} + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$ ) liberam elétrons e prótons. Os elétrons provenientes da oxidação dos  $\text{NADH}_2$  são recebidos pelo complexo I no começo da cadeia respiratória, enquanto aqueles provenientes dos  $\text{FADH}_2$  são recebidos pelo complexo II. Desses receptores (I e II), os elétrons são transferidos para a ubiquinona, de onde são repassados para o complexo III e daí para o citocromo C. Do citocromo C, eles são enviados para o complexo IV, que, então, os entrega ao  $\text{O}_2$ , que se combina com íons  $\text{H}^+$ , formando água ( $\text{H}_2\text{O}$ ). O oxigênio, portanto, é o receptor final dos elétrons na cadeia transportadora. Nesse processo de transferência de elétrons dos  $\text{NADH}_2$  e dos  $\text{FADH}_2$  até o  $\text{O}_2$ , há, gradativamente, liberação de energia. Parte dessa energia é dissipada sob a forma de calor e parte é utilizada para bombear prótons ( $\text{H}^+$ ) da matriz mitocondrial para o espaço existente entre as membranas mitocondriais. Portanto, à medida que os elétrons passam pela cadeia transportadora, os prótons são bombeados para o espaço intermembrana. O acúmulo de íons  $\text{H}^+$  nesse espaço cria um gradiente de concentração de prótons: concentração alta de  $\text{H}^+$  no espaço intermembrana e concentração baixa de  $\text{H}^+$  na matriz mitocondrial. Devido à carga positiva nos prótons ( $\text{H}^+$ ), estabelece-se, também, uma diferença na carga elétrica: a matriz mitocondrial torna-se mais negativa que o espaço intermembrana. Juntos, o gradiente de concentração de prótons e a diferença de carga constituem uma fonte de energia potencial denominada força motora de prótons. Essa força aciona o retorno de prótons para a matriz mitocondrial, através de um canal específico de prótons formado por um complexo proteico denominado ATP-sintase (ATP-sintetase). Ao passar por esse complexo proteico, ocorre liberação de energia, que é, então, utilizada para fosforilar o ADP, ou seja, acrescentar um fosfato ao ADP, transformando-o em ATP. O complexo ATP-sintase “extrai” energia química dos íons  $\text{H}^+$  para sintetizar ATP. Essa fosforilação que ocorre na cadeia respiratória é conhecida por fosforilação oxidativa.

As reações da cadeia respiratória são de oxirredução, isso é, reações que envolvem perda e ganho de hidrogênios e de elétrons. Para os químicos, uma substância que perde elétrons ou hidrogênios fica oxidada. Quando ganha elétrons ou hidrogênios, fica reduzida. A glicose e seus subprodutos, por exemplo, ao perderem hidrogênios para os NAD, estão sofrendo oxidação. Por isso, fala-se que, durante a respiração, ocorre oxidação da glicose. Por outro lado, os NAD, ao receberem hidrogênios transformando-se em  $\text{NADH}_2$ , estão sofrendo redução. Todos os componentes da cadeia respiratória, ao receberem elétrons, reduzem-se e, ao cedê-los para a substância seguinte, tornam a se oxidar. Assim, na respiração celular, a todo momento ocorrem reações de oxidação e de redução.

O objetivo da respiração celular é a produção de ATP. Cálculos mais antigos apontavam um saldo energético de 38 moléculas de ATP / glicose. Entretanto, estudos mais recentes demonstraram que esse saldo é de até 32 ATP / glicose.

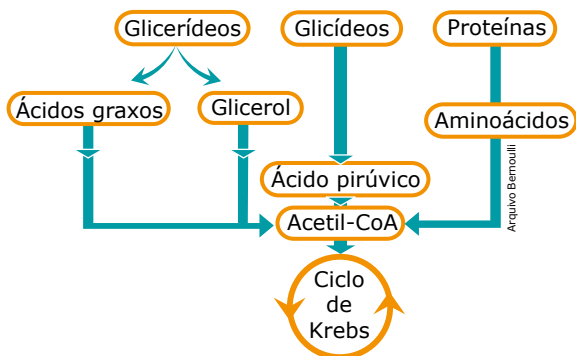
Veja o quadro a seguir:

Saldo energético da respiração aeróbica / glicose	
Glicólise	São produzidos 4 ATP, mas, como são gastos 2 ATP, há saldo positivo de 2 ATP.
Ciclo de Krebs	Cada ciclo produz 1 ATP. Como são 2 ciclos por glicose, o saldo é de 2 ATP.
Cadeia respiratória	Cada NADH <sub>2</sub> proporciona a síntese de 2,5 ATP. Como são 10 NADH <sub>2</sub> por glicose, a partir deles são produzidos 25 ATP. Cada FADH <sub>2</sub> proporciona a síntese de 1,5 ATP. Como são 2 FADH <sub>2</sub> por glicose, a partir deles são produzidos 3 ATP.

Saldo total → 2 ATP + 2 ATP + 25 ATP + 3 ATP = 32 ATP

Existem células em que a membrana interna da mitocôndria é impermeável ao NADH<sub>2</sub>. Nessas células, a passagem para o interior da mitocôndria dos hidrogênios transportados pelos 2 NADH<sub>2</sub>, produzidos no citosol durante a glicólise, requer gasto de energia, sendo gasto 1 ATP para cada um desses NADH<sub>2</sub>. Nessas células, portanto, o saldo energético / glicose é de 30 ATP (32 - 2 = 30 ATP).

Para realizar a respiração aeróbica, a glicose é o "combustível" preferido pela célula. Mas não é o único. Na falta de glicose, a célula lança mão dos lipídios e, caso haja necessidade, até das proteínas. Isso é possível porque a substância acetil-CoA, formada na respiração aeróbica, também pode ser produzida a partir de outros compostos orgânicos, como ácidos graxos, glicerol e aminoácidos. Portanto, tanto os carboidratos como os lipídios e as proteínas podem originar o acetil-CoA por meio de diferentes vias metabólicas. O acetil-CoA, independentemente de onde provém, seguirá o mesmo caminho, ou seja, entrará no ciclo de Krebs conforme mostra o esquema a seguir:



A respiração aeróbica, não importando se feita a partir de glicídio, lipídio ou proteína, necessita de O<sub>2</sub> para sua realização e, no decorrer das reações, há a produção de CO<sub>2</sub>. A relação existente entre a quantidade de moléculas de CO<sub>2</sub> liberadas durante a reação e a quantidade de moléculas de O<sub>2</sub> consumidas denomina-se **quociente respiratório (Q.R.)**. Veja os exemplos a seguir:

$$Q.R. = \frac{CO_2 \text{ liberado}}{O_2 \text{ consumido}}$$

- Q.R. da glicose (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>): C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub> + 6O<sub>2</sub> → 6CO<sub>2</sub> + 6H<sub>2</sub>O  
Q.R. = 6/6 = 1
- Q.R. do ácido esteárico (C<sub>18</sub>H<sub>36</sub>O<sub>2</sub>): C<sub>18</sub>H<sub>36</sub>O<sub>2</sub> + 26O<sub>2</sub> → 18CO<sub>2</sub> + 18H<sub>2</sub>O  
Q.R. = 18/26 = 0,69

Os exemplos anteriores mostram que o Q.R. é diferente para cada tipo de substância. O ácido esteárico, por exemplo, requer muito mais oxigênio para sua oxidação do que a glicose.

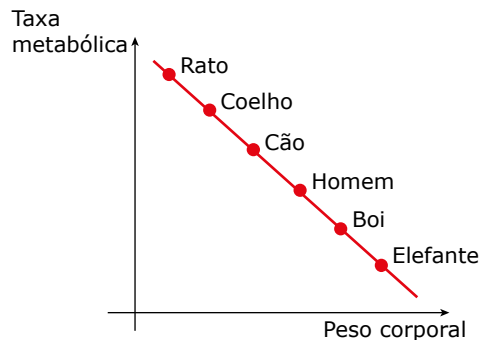
O consumo de O<sub>2</sub> está diretamente relacionado às atividades metabólicas. Assim, uma das maneiras de se avaliar a taxa metabólica de um organismo aeróbio é por meio do consumo de O<sub>2</sub> feito por esse organismo num determinado intervalo de tempo: quanto mais intensa a atividade metabólica, mais intensamente se faz a respiração celular e, conseqüentemente, maior será o consumo de O<sub>2</sub>.

Animais lentos e animais que vivem fixos a substratos têm, em geral, taxas metabólicas menores do que animais mais ativos. As taxas de consumo de O<sub>2</sub> nos cnidários sésseis (fixos), por exemplo, são relativamente baixas, enquanto, nos mamíferos e nos insetos voadores, são mais elevadas.

As taxas metabólicas variam também num mesmo indivíduo, dependendo da idade, das atividades realizadas, do estado nutricional e da hora do dia. Por exemplo: quando o animal realiza um trabalho muscular intenso, consome muito mais O<sub>2</sub> do que quando está em repouso. Um mamífero correndo usa entre 5 e 20 vezes mais O<sub>2</sub> por minuto do que quando está parado. Insetos durante o voo consomem cerca de 100 vezes mais oxigênio do que quando estão no chão.

Há, também, uma diferença quando comparamos animais pecilotermos com os homeotermos. Os pecilotermos, também conhecidos por animais de "sangue frio", possuem metabolismo mais baixo do que os homeotermos. Contudo, nos homeotermos, a taxa metabólica varia na razão inversa ao tamanho ou à massa corporal. Animais grandes têm menor taxa metabólica do que animais pequenos. Num animal pequeno, a superfície do corpo é grande em relação ao seu volume e, dessa forma, a perda de calor pela pele é relativamente maior. Por isso, os animais pequenos têm necessidade de maior consumo de alimento por grama de peso que animais maiores. Um elefante, por exemplo, tem menor taxa metabólica do que um rato.

O gráfico a seguir mostra a relação entre a taxa metabólica e o peso corporal de alguns animais homeotermos.



Taxa metabólica x peso corporal.



TUWV

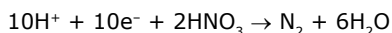
### Respiração celular aeróbia

Esse objeto de aprendizagem apresenta a respiração celular em suas três distintas fases: glicólise, ciclo de Krebs e cadeia respiratória. Compreenda melhor as reações de oxirredução que acontecem ao longo desse importante processo metabólico. Boa atividade!

## RESPIRAÇÃO ANAERÓBIA

A respiração anaeróbia é realizada por seres vivos que conseguem sobreviver na total ausência de  $O_2$ . Evidentemente, esses seres também precisam de energia para suas atividades biológicas. Neles, a energia também é obtida pela oxidação de moléculas orgânicas, principalmente a glicose. Nessas oxidações, conforme vimos, há liberação de elétrons e íons hidrogênio ( $H^+$ ). Como nas células dos anaeróbios não existe  $O_2$  para receber, no fim da cadeia respiratória, os elétrons e combinar com os íons  $H^+$  liberados para neutralizá-los, poderíamos pensar que, nessas células, ocorre uma intensa acidificação, o que se tornaria um grande perigo para o metabolismo celular. Isso, entretanto, não ocorre. Na respiração anaeróbia, alguma substância inorgânica, diferente do  $O_2$ , funciona como receptor final dos elétrons e dos íons hidrogênio, neutralizando-os e evitando, assim, a acidose da célula.

Algumas bactérias, por exemplo, fazem a degradação de compostos orgânicos à semelhança do que vimos na respiração aeróbia e usam, como aceptores finais dos íons  $H^+$  e dos elétrons, compostos inorgânicos, tais como nitratos, sulfatos ou carbonatos. Dessa forma, os íons  $H^+$  são neutralizados, evitando a acidose do meio intracelular conforme mostra o exemplo a seguir:



No exemplo anterior, os 10 íons hidrogênio e os 10 elétrons resultantes das oxidações de moléculas orgânicas são recebidos por moléculas de nitrato ( $HNO_3$ ) provenientes do meio extracelular. Dessa reação, surge o nitrogênio livre ( $N_2$ ), que se difunde para a atmosfera, e moléculas de água. Nesse exemplo de respiração anaeróbia, o nitrato funciona comoceptor final dos elétrons e dos íons hidrogênio.

Além do receptor final dos elétrons e dos hidrogênios ser um composto inorgânico diferente do  $O_2$ , na respiração anaeróbia, assim como na aeróbia, existe o ciclo de Krebs e uma cadeia respiratória. Entretanto, na respiração anaeróbia, parte do ciclo de Krebs não é funcional e também há um menor número de moléculas transportadoras de elétrons. Consequentemente, há um rendimento energético (saldo energético) menor do que o da respiração aeróbia.

## FERMENTAÇÃO

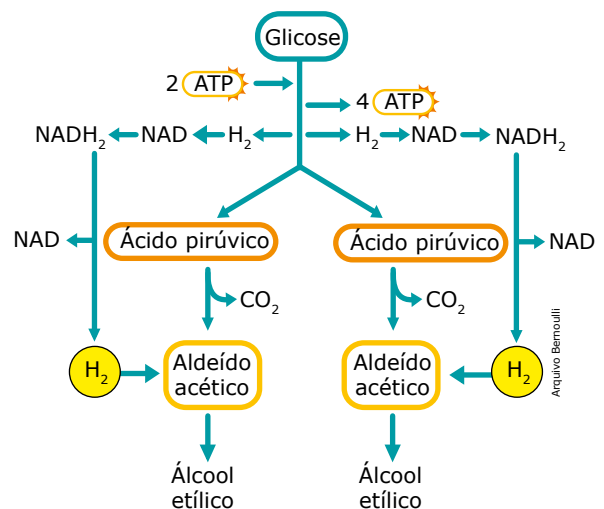
Assim como a respiração anaeróbia, a fermentação também é um processo anaeróbico (ausência de  $O_2$ ) de obtenção de energia, feito a partir de compostos orgânicos, em especial a glicose. Na fermentação biológica, entretanto, não há cadeia respiratória e os aceptores finais dos íons hidrogênio não são substâncias inorgânicas, mas compostos orgânicos resultantes da própria reação.

Conforme a natureza química dos produtos orgânicos formados ao fim das reações, a fermentação pode ser classificada em diferentes tipos: alcoólica, láctica, acética, butírica, etc. Vejamos os dois tipos mais conhecidos de fermentação: **alcoólica** e **láctica**.

## Fermentação alcoólica

Esse tipo de fermentação tem o álcool etílico como produto orgânico final. Nela, a glicose sofre glicólise, originando duas moléculas de ácido pirúvico, tal como acontece na respiração. Durante essa glicólise, ocorre saída de hidrogênios (desidrogenação), que são capturados por moléculas de NAD, formando, então, moléculas de  $NADH_2$ . Nessa glicólise, à semelhança da que acontece na respiração, há consumo de 2 ATP e liberação de energia suficiente para produção de 4 ATP. Há, portanto, um saldo energético positivo de 2 ATP (4 ATP produzidos - 2 ATP gastos = 2 ATP).

Cada ácido pirúvico resultante da glicólise sofre descarboxilação (liberação de  $CO_2$ ), originando moléculas de aldeído acético. O  $CO_2$  é eliminado no meio extracelular e o aldeído acético recebe os hidrogênios do  $NADH_2$ . Ao receber esses hidrogênios, o aldeído acético se converte em álcool etílico que, por sua vez, também será eliminado no meio extracelular. Veja o esquema a seguir:



*Fermentação alcoólica – Observe que, na fermentação alcoólica, são produzidos 4 ATP a partir da glicose, mas, como são gastos 2 ATP durante a glicólise, o saldo energético é de apenas 2 ATP. Logo, uma boa parte da energia acumulada na glicose permanece no álcool, o que justifica o fato de ele ser um excelente combustível.*

Conforme vimos no esquema anterior, os produtos finais da fermentação alcoólica são o álcool etílico e o gás carbônico.

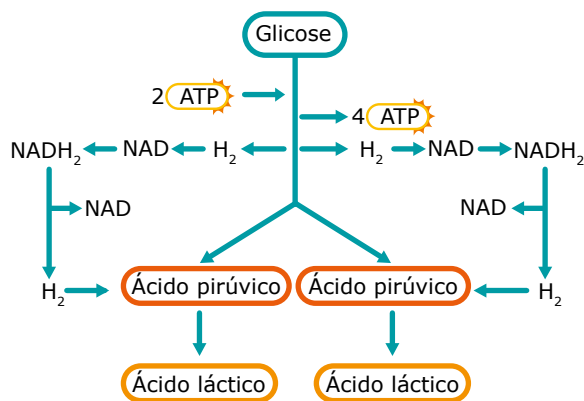
A fermentação alcoólica é realizada por algumas espécies de fungos (conhecidos por levedos ou leveduras), por algumas espécies de bactérias e até por células de vegetais superiores (algumas sementes em processo de germinação, por exemplo, embora respirem aerobicamente em ambientes contendo  $O_2$ , também podem obter energia realizando a fermentação alcoólica quando falta esse gás).

Um bom exemplo de ser vivo realizador desse tipo de fermentação é o fungo *Saccharomyces cerevisiae*, muito utilizado na fabricação da cerveja e de outras bebidas alcoólicas e, por isso, conhecido por levedura da cerveja.

Espécies do gênero *Saccharomyces* também são utilizadas na fabricação de pães, bolos e biscoitos. Essas leveduras também são conhecidas por fermentos biológicos (fermento “de pão”, por exemplo). Na fabricação de pães e bolos, durante o preparo e cozimento da massa, o álcool escapa, enquanto o CO<sub>2</sub> forma bolhas em meio à massa, estufando-a e promovendo o seu crescimento.

## Fermentação láctica

Esse tipo de fermentação tem como produto orgânico final o ácido láctico. Veja o esquema a seguir:



*Fermentação láctica* – Nessa fermentação, a glicose sofre glicólise, formando ácido pirúvico, exatamente como acontece na fermentação alcoólica e na respiração. Entretanto, o aceptor final dos hidrogênios é o próprio ácido pirúvico. Ao receber os hidrogênios do NADH<sub>2</sub>, o ácido pirúvico transforma-se em ácido láctico. Nessa fermentação, não há descarboxilação (liberação de CO<sub>2</sub>).

A fermentação láctica é realizada por algumas espécies de micro-organismos (bactérias, fungos, protozoários) e, também, por alguns tecidos animais, como o tecido muscular.

Algumas bactérias do gênero *Lactobacillus*, por exemplo, são muito utilizadas pela indústria de laticínios na fabricação de coalhadas, iogurtes, queijos e outros derivados do leite. Essas bactérias promovem o desdobramento do açúcar do leite (lactose) e realizam a fermentação láctica, liberando o ácido láctico no meio. O acúmulo do ácido láctico no leite torna-o “azedo”.

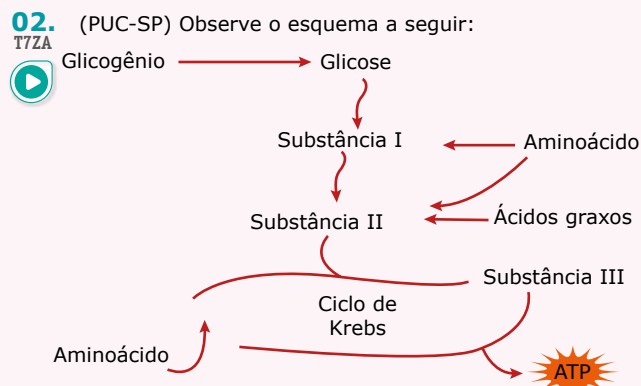
Em nossos músculos esqueléticos, em situação de intensa atividade, pode não haver uma disponibilidade adequada de O<sub>2</sub> para promover a respiração aeróbia. Nesse caso, as células musculares passam a realizar a fermentação láctica. Entretanto, o acúmulo de ácido láctico nessas células provoca fadiga muscular, com dor intensa, o que pode causar a paralisação da atividade muscular. A fermentação láctica, portanto, pode ocorrer eventualmente nas células musculares, bastando, para isso, que os músculos sejam excessivamente solicitados e que o suprimento de oxigênio oferecido pelo sangue não satisfaça às necessidades celulares. Nessa circunstância, os íons H<sup>+</sup> começam a acumular-se nas células e, então, o ácido pirúvico passa a atuar como receptor final desses íons, transformando-se em ácido láctico. A presença do ácido láctico nas células musculares causa aquela sensação de dor muscular característica da fadiga ou câimbra.

Tanto na fermentação láctica como na alcoólica há um saldo energético de 2 ATP / glicose. Logo, o processo da fermentação apresenta um rendimento energético bem inferior ao da respiração aeróbia.

## EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM

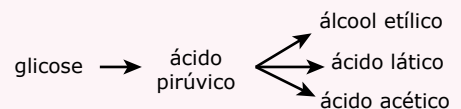


- 01.** (UESB-BA) Os músculos de velocistas são formados por aproximadamente 80% de fibras musculares de contração rápida, que apresentam menos mitocôndrias. As fibras de contração rápida geram “explosões” de ATP, que logo é utilizado. Pesquisas intensivas com atletas mostram que o treinamento pode melhorar a eficiência da circulação do sangue nas fibras musculares, e até mesmo uma mudança da relação entre as fibras de contração rápida e contração lenta.
- O processo preferencial de geração de energia pelas fibras de contração rápida caracteriza-se principalmente pela
- descarboxilação do ácido láctico e formação de moléculas de FADH<sub>2</sub>.
  - oxidação do piruvato a etanol na presença de oxigênio.
  - redução parcial da glicose e formação de moléculas de CO<sub>2</sub>.
  - oxidação completa da glicose na presença de oxigênio.
  - redução do piruvato a lactato na ausência de oxigênio.



- Pela análise do esquema, prevê-se que a energia pode ser obtida por um organismo
- somente a partir de açúcares.
  - somente a partir de proteínas.
  - somente a partir de gorduras.
  - a partir de açúcares, proteínas e gorduras.
  - a partir de substâncias inorgânicas.
- 03.** (UFMG) Todos os processos indicados são característicos da respiração aeróbia, exceto
- Consumo da glicose.
  - Formação de ácido pirúvico.
  - Produção de álcool.
  - Produção de ATP.
  - Produção de gás carbônico.

- 04.** (Cesgranrio) A técnica de fracionamento das mitocôndrias permitiu isolar seus componentes. Permitiu, ainda, demonstrar que as enzimas da cadeia transportadora de elétrons e as da fosforilação acopladas ao transporte de elétrons estão presentes
- na matriz mitocondrial.
  - na membrana interna da mitocôndria.
  - na membrana externa da mitocôndria.
  - nas membranas interna e externa da mitocôndria.
  - na matriz e na membrana interna da mitocôndria.
- 05.** (PUC Minas) Considere o esquema a seguir, referente ao processo respiratório de uma célula eucariota:
- Glicose → Ác. pirúvico → Acetil-CoA → <sup>C.</sup> Krebs → <sup>Cadeia</sup> respiratória  
 I                    II                    III                    IV                    V
- Assinale a afirmativa incorreta.
- Para que I se transforme em II, é necessário o gasto de ATP.
  - As fases I e II ocorrem fora da mitocôndria.
  - Na conversão de II para III, não há produção local de ATP.
  - Em IV ocorre liberação de CO<sub>2</sub> e formação local de ATP.
  - Em V há quebra da molécula de água, com liberação de oxigênio.
- 02.** (UECE) Após um esforço muscular intenso, é comum sentir-se muitas dores musculares. Essas dores, que desaparecem gradativamente, são ocasionadas pelo acúmulo na musculatura de
- ATP.
  - glicogênio.
  - creatina fosfato.
  - ácido láctico.
- 03.** (UNIFESP) Obter energia é vital para todos os seres vivos, tais como as bactérias, os protozoários, as algas, os fungos, as plantas e os animais. Nesse processo, a energia é armazenada na forma de ATP, a partir de doadores e de aceptores de elétrons. Em certos casos, organelas como as mitocôndrias são fundamentais para o processo.
- Dos organismos citados, quais são os que possuem mitocôndrias?
  - É correto afirmar que, tanto na fermentação quanto na respiração aeróbica, o doador inicial e o receptor final de elétrons são moléculas orgânicas? Justifique.
- 04.** (FUVEST-SP) Um atleta, participando de uma corrida de 1 500 metros, desmaiou depois de ter percorrido cerca de 800 m, devido à oxigenação deficiente de seu cérebro. Sabendo que as células musculares podem obter energia por meio da respiração aeróbica ou da fermentação, nos músculos do atleta desmaiado deve haver acúmulo de
- glicose.
  - glicogênio.
  - monóxido de carbono.
  - ácido láctico.
  - etanol.
- 05.** (UEA-AM) Classificadas de acordo com o produto final obtido no processo, as fermentações podem ser alcoólica, láctica e acética. A figura mostra, de forma esquemática e simplificada, as principais etapas de cada uma das fermentações.



Quando realizada pela levedura adequada, o tipo de fermentação que leva a massa do pão a inflar e tornar-se macia é aquela representada

- pela produção de ácido láctico.
- pela produção de ácido acético.
- pela produção de álcool etílico.
- pela produção de ácido pirúvico.
- pelas produções de ácidos láctico e acético.

## EXERCÍCIOS PROPOSTOS



- 01.** (Unemat-MT-2018) O vinagre é uma solução diluída de ácido acético, elaborada de dois processos consecutivos: a fermentação alcoólica, representada pela conversão de açúcar em etanol por leveduras, e a fermentação acética, que corresponde à transformação do álcool em ácido acético por determinadas bactérias. [...] O ácido acético é um ácido orgânico que pertence ao grupo dos ácidos carboxílicos e apresenta alta gama de utilizações. Uma de suas principais ações é como agente antimicrobiano.

Em uma análise bacteriológica *in vitro* verificou-se que o ácido acético a 2,0 e 5,0% é eficaz sobre *Pseudomonas aeruginosa* e *Escherichia coli*. Posteriormente, estudos *in vivo* também demonstraram a atividade antibacteriana desse ácido. Diante disso, o vinagre pode ser utilizado como agente antimicrobiano devido a sua concentração de ácido acético.

BROMATOLOGIA em Saúde, UFRJ. *Vinagre de maçã*: sinônimo de saúde e beleza, 2011. Disponível em: <<http://bromatopesquisasufrj.blogspot.com.br/2011/12/vinagrede-maca-sinonimo-de-saudee.html>>. Acesso em: nov. 2017 (Adaptação).

Considerando que a obtenção do vinagre é feita por fermentação, assinale a alternativa que mostra o que deve ocorrer no meio de reação para que a indústria obtenha maior quantidade de vinagre.

- Redução da temperatura.
- Aumento da concentração de glicose.
- Elevação no nível de oxigênio.
- Adição de álcals.
- Inclusão de bactérias aeróbicas.

06.  
HGV5

(PUC Minas) Dois processos metabólicos distintos estão esquematizados a seguir:

- I. GLICOSE – PIRUVATO – OXIDAÇÃO DE PIRUVATO – CICLO ÁCIDO CÍTRICO – CADEIA DE TRANSPORTE DE ELÉTRONS.
- II. GLICOSE – PIRUVATO – FERMENTAÇÃO – ÁLCOOL OU LACTATO.

Analisando os processos e de acordo com seus conhecimentos sobre o assunto, marque a afirmativa incorreta.

- A) Numa atividade física prolongada podem ocorrer os dois processos.
- B) O processo I pode ocorrer em atividades metabólicas tanto de plantas como de animais, dia e noite.
- C) O processo II pode ocorrer tanto na produção de vinho como na de coalhada.
- D) No processo II há mais gasto de ATP para iniciar a via metabólica do que em I.

07.  
PCPA

(UECE) Profundamente relacionado à história e à cultura de diferentes povos, o vinho é uma das bebidas alcoólicas mais antigas do mundo. Sobre sua fermentação, fase do processo produtivo em que o suco de uva se transforma em bebida alcoólica, é correto afirmar que

- A) é um processo que compreende um conjunto de reações enzimáticas, no qual ocorre a liberação de energia, por meio da participação do oxigênio.
- B) diferentemente do que acontece na respiração, a glicose é a molécula primordialmente utilizada como ponto de partida para a realização do processo de fermentação.
- C) o vinho é produzido por bactérias denominadas leveduras que, por meio da fermentação alcoólica, produzem o álcool dessa bebida.
- D) embora pequena quantidade da energia contida na molécula de glicose seja disponibilizada (apenas 2 ATP), a fermentação é fundamental para que os microrganismos realizem suas atividades vitais.

08. (UEG-GO) Os princípios básicos envolvidos na fabricação de vinho são simples. Depois de esmagadas as uvas devidamente amadurecidas, obtém-se um suco fresco chamado mosto, que é rico em açúcares, constituindo em um excelente meio de cultivo para determinados micro-organismos.

Sobre esse assunto, julgue as proposições a seguir:

- I. A fermentação do suco de uva deve ocorrer essencialmente na presença de  $O_2$  para inibir o desenvolvimento das leveduras do gênero *Saccharomyces*.
- II. O tipo de fermentação, láctica ou alcoólica, pode interferir na qualidade final do produto.
- III. No processo de fabricação do vinho, os fungos fermentam os açúcares para obter energia, liberando gás carbônico e álcool etílico.

Indique a proposição correta.

- A) Apenas a proposição I é verdadeira.
- B) Apenas a proposição II é verdadeira.
- C) Apenas a proposição III é verdadeira.
- D) Apenas as proposições I e II são verdadeiras.
- E) Apenas as proposições II e III são verdadeiras.

09. (FAMERP-SP) A fermentação láctica e a respiração celular são reações bioquímicas que ocorrem em diferentes condições nas células musculares, gerando alguns produtos similares. Sobre essas reações, assinale a alternativa correta.

- A) A fermentação ocorre na ausência de gás oxigênio e a respiração celular ocorre somente na presença desse gás. As duas reações geram energia, armazenada na forma de ATP.
- B) A fermentação ocorre na presença de gás carbônico e a respiração celular ocorre na ausência desse gás. As duas reações geram ATP, um tipo de energia.
- C) A fermentação ocorre na ausência de gás oxigênio e a respiração celular ocorre somente na presença desse gás. As duas reações absorvem energia da molécula de ATP.
- D) A fermentação ocorre na presença de ácido láctico e a respiração celular ocorre na ausência desse ácido. As duas reações liberam a mesma quantidade de energia na forma de ATP.
- E) A fermentação ocorre na presença de gás oxigênio e a respiração celular ocorre na ausência desse gás. As duas reações geram energia, armazenada na forma de ATP.

10.  
X8JF

(FGV) A produção de adenosina trifosfato (ATP) nas células eucarióticas animais acontece, essencialmente, nas cristas mitocondriais, em função de uma cadeia de proteínas transportadoras de elétrons, a cadeia respiratória.

O número de moléculas de ATP produzidas nas mitocôndrias é diretamente proporcional ao número de moléculas de

- A) glicose e gás oxigênio que atravessam as membranas mitocondriais.
- B) gás oxigênio consumido no ciclo de Krebs, etapa anterior à cadeia respiratória.
- C) glicose oxidada no citoplasma celular, na etapa da glicólise.
- D) gás carbônico produzido na cadeia transportadora de elétrons.
- E) água produzida a partir do consumo de gás oxigênio.

11.  
6UAZ

(UFPA) Um professor, após discutir com seus alunos o conteúdo programático de biologia, pediu aos estudantes que usassem seus conhecimentos para interpretar a seguinte informação, já cientificamente comprovada: "O número de cristas mitocondriais é maior nas mitocôndrias de células musculares cardíacas do que em mitocôndrias de células epiteliais".



Um grupo de alunos interpretou essa informação através das seguintes afirmações:

- I. As células da musculatura cardíaca, pelas funções que desempenham, desprendem mais energia do que as células epiteliais.
- II. A maior produção de moléculas de ATP, no processo de respiração celular, ocorre na fosforilação oxidativa, que tem lugar nas cristas mitocondriais.
- III. O maior número de cristas mitocondriais leva a um aumento na área de membrana interna e, portanto, à maior capacidade de conduzir o ciclo de Krebs.

Está(ão) relacionada(s) à informação dada pelo professor

- A) apenas I.
- B) apenas I e II.
- C) apenas II e III.
- D) apenas I e III.
- E) I, II e III.

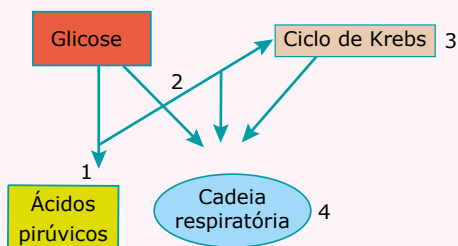
**12.** (UFPR) Nas prateleiras de um supermercado, podemos encontrar vinagre, iogurte, pão, cerveja e vinho.

- A) Que processo biológico está associado à produção de todos esses itens?
- B) Que grupos de microrganismos são necessários para produção do iogurte e da cerveja?
- C) Que células do corpo humano realizam processo semelhante? Em que situações?

**13.** (UFRN) Diariamente gastamos energia em tudo o que fazemos – correndo, nadando, dançando, caminhando, pensando e até dormindo. Sobre o processo de obtenção da energia que utilizamos para essas e outras atividades, é correto afirmar:

- A) O dióxido de carbono e a água se originam durante a glicólise, etapa que ocorre no citoplasma da célula.
- B) Na respiração celular, o oxigênio e a glicose são utilizados para a produção de ADP pelas células do corpo.
- C) A glicose utilizada na respiração celular provém da digestão dos carboidratos pelo sistema digestório.
- D) Nesse processo metabólico, o gás carbônico é gerado em menor quantidade quando a produção de energia é elevada.

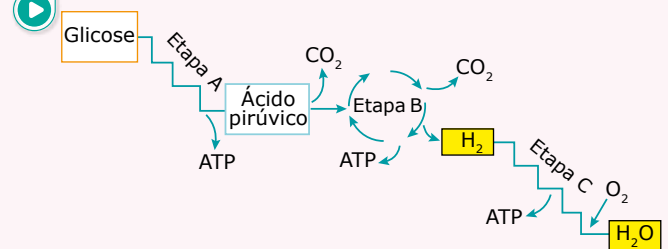
**14.** (PUC Minas) Observe com atenção o esquema a seguir:



É falso afirmar que

- A) há produção de ATP em 1, 3 e 4.
- B) fosforilações oxidativas ocorrem em 4.
- C) o processo 1 ocorre em anaerobiose.
- D) há saída de CO<sub>2</sub> em 1, 2, 3 e 4.
- E) há transportadores de hidrogênios em 1, 2 e 3.

**15.** (UEL-PR) Analise o esquema da respiração celular em eucariotos a seguir:



LOPES, Sônia. *Bio 1*. São Paulo: Saraiva, 1992. p. 98 (Adaptação).

Com base nas informações contidas no esquema e nos conhecimentos sobre respiração celular, considere as afirmativas a seguir:

- I. A glicose é totalmente degradada durante a etapa A que ocorre na matriz mitocondrial.
- II. A etapa B ocorre no hialoplasma da célula e produz menor quantidade de ATP que a etapa A.
- III. A etapa C ocorre nas cristas mitocondriais e produz maior quantidade de ATP que a etapa B.
- IV. O processo anaeróbico que ocorre no hialoplasma corresponde à etapa A.

Assinale a alternativa correta.

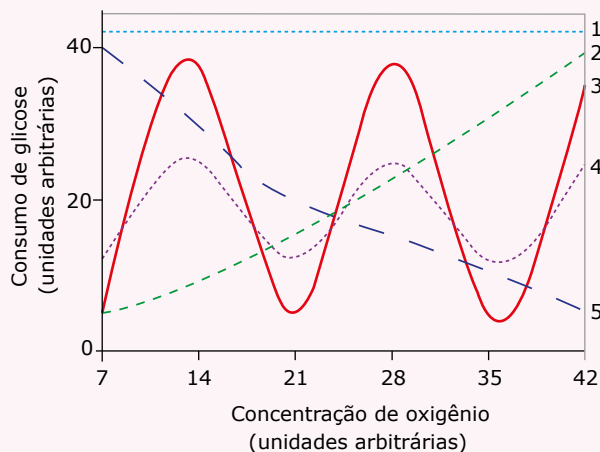
- A) Somente as afirmativas I e II são corretas.
- B) Somente as afirmativas I e III são corretas.
- C) Somente as afirmativas III e IV são corretas.
- D) Somente as afirmativas I, II e IV são corretas.
- E) Somente as afirmativas II, III e IV são corretas.

## SEÇÃO ENEM

**01.** (Enem) Há milhares de anos, o homem faz uso da biotecnologia para produção de alimentos como pães, cervejas e vinhos. Na fabricação de pães, por exemplo, são usados fungos unicelulares, chamados de leveduras, que são comercializados como fermento biológico. Eles são usados para promover o crescimento da massa, deixando-a leve e macia. O crescimento da massa do pão pelo processo citado é resultante da

- A) liberação de gás carbônico.
- B) formação de ácido láctico.
- C) formação de água.
- D) produção de ATP.
- E) liberação de calor.

02. (Enem) Normalmente, as células do organismo humano realizam a respiração aeróbica, na qual o consumo de uma molécula de glicose gera 38 moléculas de ATP. Contudo, em condições anaeróbicas, o consumo de uma molécula de glicose pelas células é capaz de gerar apenas duas moléculas de ATP.



Qual curva representa o perfil de consumo de glicose, para manutenção da homeostase de uma célula que inicialmente está em uma condição anaeróbica e é submetida a um aumento gradual da concentração de oxigênio?

- A) 1  
B) 2  
C) 3  
D) 4  
E) 5
03. (Enem) 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. Não admira que os bichos pertençam a um grupo pouco conhecido, o dos loricíferos, que mal chegam a 1,0 mm. Apesar do tamanho, possuem cabeça, boca, sistema digestivo e uma carapaça. A adaptação dos bichos à vida no sufoco é tão profunda que suas células dispensaram as chamadas mitocôndrias.

LOPES, R. J. *Italianos descobrem animal que vive em água sem oxigênio*. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br>>. Acesso em: 10 abr. 2010 (Adaptação).

Que substâncias poderiam ter a mesma função do  $O_2$  na respiração celular realizada pelos loricíferos?

- A) S e  $CH_4$   
B) S e  $NO_3^-$   
C)  $H_2$  e  $NO_3^-$   
D)  $CO_2$  e  $CH_4$   
E)  $H_2$  e  $CO_2$

## SEÇÃO FUVEST / UNICAMP / UNESP



### GABARITO

Meu aproveitamento

#### Aprendizagem

Acertei \_\_\_\_\_ Errei \_\_\_\_\_

01. E  
 02. D  
 03. C  
 04. B  
 05. E

#### Propostos

Acertei \_\_\_\_\_ Errei \_\_\_\_\_

01. B  
 02. D  
03.  
 A) Todos os organismos citados, com exceção das bactérias, possuem mitocôndrias.  
 B) Tanto na fermentação quanto na respiração aeróbica o doador inicial é uma molécula orgânica, mas o aceptor final é uma molécula orgânica apenas na fermentação (ácido pirúvico, por exemplo). Na respiração aeróbica, o aceptor final é uma molécula inorgânica, o  $O_2$ .  
 04. D  
 05. C  
 06. D  
 07. D  
 08. E  
 09. A  
 10. E  
 11. B  
12.  
 A) Fermentação.  
 B) Para a produção de iogurte, são utilizadas bactérias, e, para a cerveja, fungos unicelulares.  
 C) As células dos músculos estriados esqueléticos são capazes de realizar fermentação em situações de muito esforço.  
 13. C  
 14. D  
 15. C

#### Seção Enem

Acertei \_\_\_\_\_ Errei \_\_\_\_\_

01. A       02. E       03. B



Total dos meus acertos: \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ . \_\_\_\_\_ %