

## RESPIRAÇÃO

### META

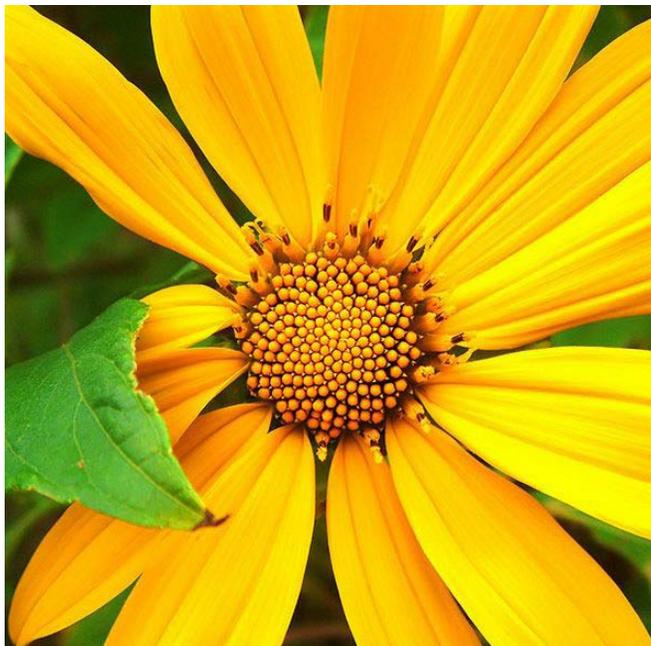
Apresentar os tipos de respiração que ocorrem nas células vegetais.

### OBJETIVO

Ao final da aula, o aluno deverá entender os processos da respiração celular nas plantas.

### PRÉ-REQUISITO

Conhecimentos básicos das estruturas celulares.



(Fonte: <http://www.flores-online.com>).

### INTRODUÇÃO

Do ponto de vista da fisiologia, respiração é o processo pelo qual um organismo vivo troca oxigênio e dióxido de carbono com o meio ambiente. O oxigênio é necessário para a respiração celular, enquanto que o dióxido de carbono é um subproduto do metabolismo e deve ser retirado do organismo.

Entre as “plantas”, apenas as plantas vasculares têm um verdadeiro “aparelho respiratório” formado por estômatos, pequenos orifícios na epiderme por onde entra o ar para os tecidos onde se realizam a respiração celular e a fotossíntese. Os restantes grupos de plantas respiram por difusão dos gases, quer atmosféricos, quer dissolvidos na água - por difusão através da superfície dos seus órgãos.

Os vegetais autotróficos (que realizam a fotossíntese) necessitam de dióxido de carbono para essa função e, por isso, durante o dia solar, absorvem tanto este gás quanto o oxigênio necessário para a respiração celular; à noite, as plantas verdes consomem oxigênio e expelem dióxido de carbono.

A respiração aeróbica é comum em todos os organismos eucarióticos, sendo que a respiração nas plantas apresenta algumas diferenças em relação à respiração de animais. A respiração é um processo biológico no qual compostos orgânicos reduzidos são mobilizados e subsequentemente oxidados de maneira controlada. Durante a respiração, energia livre é liberada e parte é incorporada em forma de ATP, uma fonte de energia que pode ser prontamente utilizada na manutenção e no crescimento da planta.

A equação geral que define a respiração é inversa à utilizada para descrever a fotossíntese:



Neste caso, glicose é oxidada até CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> é reduzido para água. Parte da energia livre, liberada por esta reação, é utilizada para síntese de ATP, a função primária da respiração. Além disso, muitos intermediários envolvidos nas reações da respiração são utilizados como fontes de carbono para a síntese de muitos outros compostos de planta (por exemplo, aminoácidos).

É importante destacar que a energia proveniente da oxidação de glicose não é liberada de uma única vez. Para evitar danos na estrutura da célula, a energia resultante da oxidação de glicose é liberada passo a passo, mediante uma série de reações em sequência. Estas reações podem ser divididas em três fases: a Glicólise, o Ciclo do Ácido Tricarboxílico (Ciclo de Krebs) e a Cadeia de Transporte de Elétrons.

## GLICÓLISE

A glicólise é um dos processos mais antigos, na escala evolutiva, através do qual se opera a recuperação de uma parte da energia armazenada na glucose. No termo da glicólise, obtém-se a fragmentação da molécula de açúcar em duas moléculas de ácido pirúvico. Esta energia é posta à disposição das funções celulares sob a forma de ATP.

O sistema enzimático da glicólise é universal, pelo menos nas suas linhas gerais. A glicólise tem lugar no citossol, mas, dada a sequência ordenada das reacções bioquímicas que a integram, não é de excluir que as enzimas se localizem sequencialmente num qualquer suporte membranar, à semelhança de outros processos que adiante serão analisados

Nos organismos aeróbios, a glicólise constitui o segmento inicial da degradação da glucose, sendo essencialmente prosseguida pelo processo a que, globalmente, se atribui a designação de respiração celular. Nos organismos anaeróbios (e mesmo nos aeróbios, em certas circunstâncias), pelo contrário, a glicólise é prosseguida por um outro processo designado por fermentação.

Por razões didáticas, é comum considerar o processo da glicólise dividido num certo número de etapas sequenciais:

## 1º Etapa: Fosforilação da Glucose

A primeira etapa da glicólise consiste na fosforilação da glucose, em glucose-6-fosfato, em presença de ATP e do enzima hexoquinase que actua tendo como cofactor, o ions  $Mg^{2+}$ .

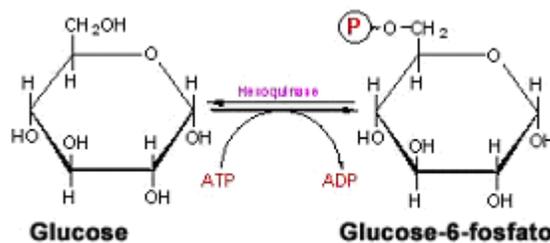


Figura 1: Fosforilação da Glucose ([www.dbio.uevora.pt/jaraujobiocel](http://www.dbio.uevora.pt/jaraujobiocel)).

## 2º Etapa: Isomerização da Glucose

Nesta etapa da glicólise, a glucose-6-fosfato é isomerizada em frutose-6-fosfato, assistida pelo enzima glucose-fosfato isomerase (Figura 2).

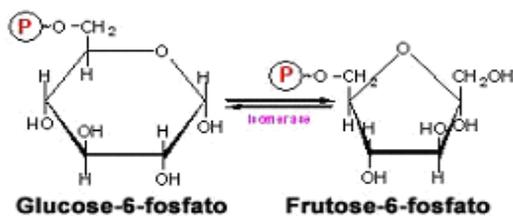


Figura 2: Isomerização da Glicose (www.dbio.uevora.ptjaraujobiocl).

### 3º Etapa: Fosforilação da Frutose-6-Fosfato

Na terceira etapa da glicólise, assiste-se a uma segunda reacção de fosforilação, em que é protagonista a frutose-6-fosfato, com intervenção do enzima fosfofrutoquinase, que tem, como cofactor, o íons  $Mg^{2+}$ .

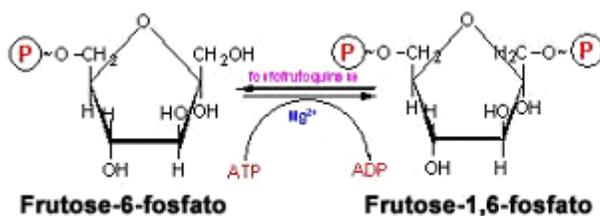


Figura 3: Fosforilação da Frutose-6-Fosfato (www.dbio.uevora.ptjaraujobiocl).

### 4º Etapa: Fratura da Frutose -1,6-difosfato em duas trioses

Graças à ação de uma aldolase, a frutose-1,6- difosfato é cindida em duas trioses isoméricas: o fosfogliceraldeído e a fosfodihidroxiacetona.

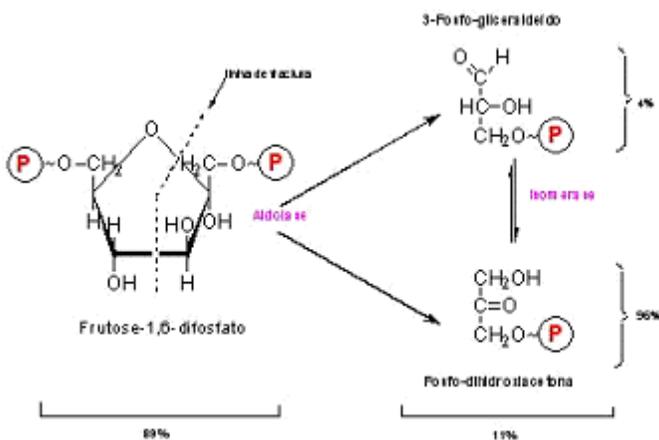


Figura 4: Fratura da Frutose-1,6-difosfato (www.dbio.uevora.ptjaraujobiocl).

## 5º Etapa: Oxidação do gliceraldeído-3-fosfato

Esta etapa encerra a única oxidação que ocorre durante a glicólise. Realiza em presença de fosfato inorgânico e é catalisada por uma desidrogenase que tem a  $\text{NAD}^+$  como cofactor. Durante a etapa, a energia libertada pela oxidação é transferida para a formação de uma nova ligação fosfato, rica em energia.

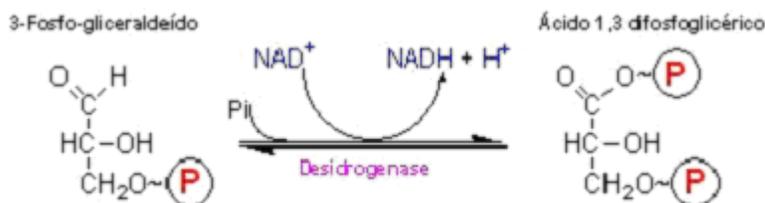


Figura 5: Oxidação do gliceraldeído-3-fosfato (www.dbio.uevora.ptjaraujobiocl).

À medida que o fosfogliceraldeído for sendo oxidado, a fosfodihidroxi-acetona transformar-se-á em fosfogliceraldeído e será oxidada, por seu turno. Portanto, por cada uma das molécula de glucose que “entra” no processo de glicólise, ocorrerá a oxidação de duas moléculas de fosfogliceraldeído em ácido difosfoglicérico.

## 6º Etapa: Hidrólise do ácido difosfoglicérico

Durante esta etapa, a energia libertada pela hidrólise é transferida para a síntese de ATP a partir de ADP e de fosfato inorgânico.

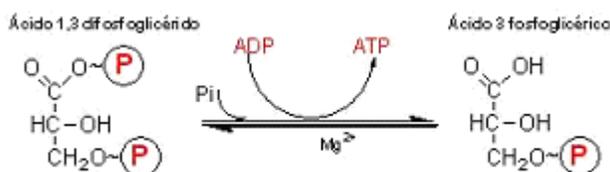


Figura 6: Hidrólise do ácido difosfoglicérico (www.dbio.uevora.ptjaraujobiocl).

## Etapas Seguintes:

Produção de ácido pirúvico: durante as etapas seguintes, o ácido 3-fosfoglicérico é objeto de diversas reações e é transformado, por último, em ácido pirúvico. O fenómeno mais significativo é a fosforilação de mais um ADP em ATP.

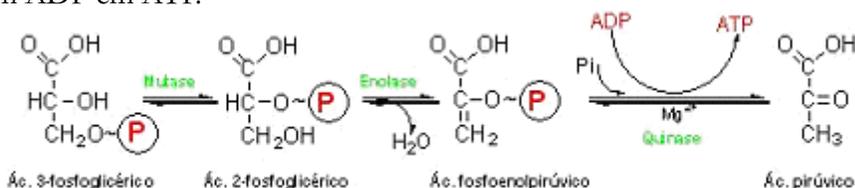


Figura 7: Produção de ácido pirúvico (www.dbio.uevora.ptjaraujobiocl).

Em resumo, no decurso da glicólise, por cada molécula de glucose, são produzidas duas moléculas de ácido pirúvico. No início do processo, foi investida energia (consumiram-se 2 ATP). No final do processo, recuperou-se energia sob a forma de 4 ATP. O saldo é, pois, de 2ATP por molécula de glucose.

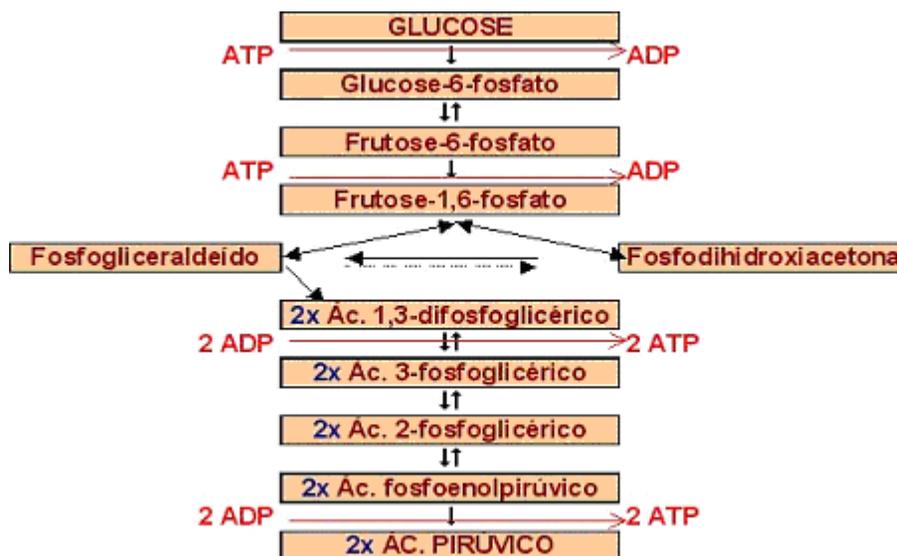


Figura 8: Esquema da Glicólise ([www.dbio.uevora.pt/jaraujobiocel](http://www.dbio.uevora.pt/jaraujobiocel)).

## CICLO DE KREBS

O ciclo de Krebs, tricarboxílico ou do ácido cítrico, corresponde a uma série de reações químicas que ocorrem na vida da célula e seu metabolismo. Descoberto por Sir Hans Adolf Krebs (1900-1981).

O ciclo é executado na matriz da mitocôndria dos eucariotes e no citoplasma dos procariotes. Trata-se de uma parte do metabolismo dos organismos aeróbicos (utilizando oxigênio da respiração celular); organismos anaeróbicos utilizam outro mecanismo, como a glicólise = outro processo de fermentação independente do oxigênio.

O ciclo de Krebs é uma rota anfibólica, ou seja, possui reações catabólicas e anabólicas, com a finalidade de oxidar a acetil-CoA (acetil coenzima A), que se obtém da degradação de carboidratos, ácidos graxos e aminoácidos a duas moléculas de CO<sub>2</sub>.

Este ciclo inicia-se quando o piruvato, que é sintetizado durante a glicólise, é transformado em acetil CoA (coenzima A) por ação da enzima piruvato desidrogenase. Este composto vai reagir com o oxaloacetato que é um produto do ciclo anterior formando-se citrato. O citrato vai dar origem a um composto de cinco carbonos, o alfa-cetoglutarato com libertação de

NADH, e de CO<sub>2</sub>. O alfa-cetoglutarato vai dar origem a outros compostos de quatro carbonos com formação de GTP, FADH<sub>2</sub> e NADH e oxaloacetato (Figura 9).

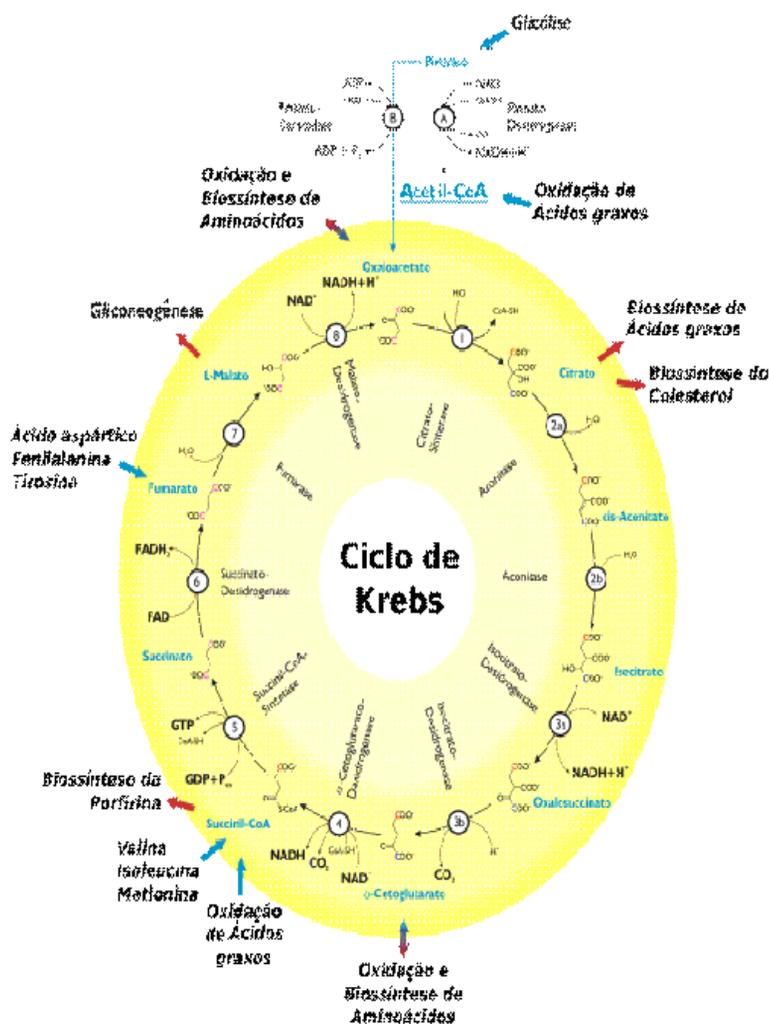


Figura 9: Ciclo de Krebs (www. wikipedia.org/wiki/Ciclo\_de\_Krebs).

## CADEIA TRANSPORTADORA DE ELÉTRONS

A molécula de glicose está agora completamente oxidada. Uma certa quantidade de sua energia foi utilizada para produzir ATP a partir de ADP. Entretanto, a maior parte dessa energia permanece ainda nos elétrons removidos dos átomos de carbono à medida que foram oxidados e transferidos aos transportadores de elétrons, NAD e FAD. Estes elétrons estão em um alto nível de energia. No decorrer da cadeia de transporte de elétrons, esses são transferidos e a energia liberada é utilizada para formar moléculas

de ATP a partir de ADP. Este processo é conhecido como fosforilação oxidativa (Figura 10).

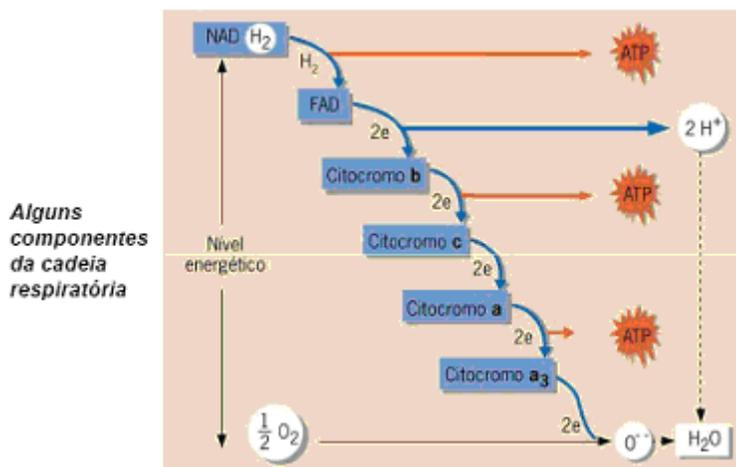


Figura 10: Cadeia transportadora de elétrons (PURVES, 2002).

O estágio final da fragmentação da molécula de glicose é o transporte de elétrons, que envolve uma série de transportadores de elétrons e enzimas situadas nas membranas internas das mitocôndrias. Ao longo desta série de transportadores, os elétrons de alta energia, aceitos pelo NADH e FADH<sub>2</sub> durante o ciclo de krebs, são transferidos para o oxigênio. Cada vez que um par de elétrons passa pela cadeia de transporte de elétrons, formam-se moléculas de ATP a partir de ADP e fosfato. Durante a fragmentação da molécula de glicose, são formadas 38 moléculas de ATP, a maioria delas na mitocôndria.

A glicólise, o ciclo de krebs e a cadeia transportadora de elétrons formam o mecanismo de respiração celular nos vegetais, representado no esquema abaixo (Figura 11).

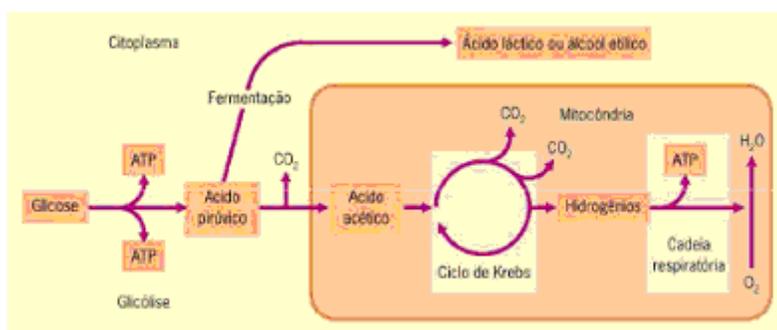


Figura 11: Esquema simplificado da respiração celular (PURVES, 2002).



### CONCLUSÃO

Caro(a) aluno(a), nesta aula você deve ter percebido que a oxidação da glicose, isto é, o processo de respiração, constitui a fonte de energia na maioria das células. À medida que a glicose é fragmentada em uma série de pequenas etapas enzimáticas, a energia presente na molécula é armazenada sob a forma de ligações altamente energéticas nas moléculas de ATP.

Nos organismos aeróbios, a glicólise constitui o segmento inicial da degradação da glicose, sendo prosseguida pelo ciclo de krebs e a cadeia transportadora de elétrons, formando o mecanismo denominado respiração celular nos vegetais. Nos organismos anaeróbios (e mesmo nos aeróbios, em certas circunstâncias), diferentemente, a glicólise é prosseguida por um outro processo designado por fermentação.

### RESUMO



Ao final desta aula, você é capaz de entender os mecanismos que constituem a respiração celular nos vegetais, subdivididos, e ao mesmo tempo intercalados, em glicólise, ciclo de krebs e cadeia transportadora de elétrons ou fosforilação oxidativa.

A glicólise é um dos processos mais antigos, na escala evolutiva, através do qual se opera a recuperação de uma parte da energia armazenada na glucose. No termo da glicólise, obtém-se a fragmentação da molécula de açúcar em duas moléculas de ácido pirúvico. Esta energia é posta à disposição das funções celulares sob a forma de ATP.

O ciclo de Krebs possui reações catabólicas e anabólicas, com a finalidade de oxidar a acetil-CoA (acetil coenzima A), que se obtém da degradação de carboidratos, ácidos graxos e aminoácidos a duas moléculas de CO<sub>2</sub>.

A molécula de glicose está agora completamente oxidada. Uma certa quantidade de sua energia foi utilizada para produzir ATP a partir de ADP. Entretanto, a maior parte dessa energia permanece ainda nos elétrons removidos dos átomos de carbono à medida que foram oxidados e transferidos aos transportadores de elétrons, NAD e FAD. Estes elétrons estão em um alto nível de energia. No decorrer da cadeia de transporte de elétrons, estes são transferidos e a energia liberada é utilizada para formar moléculas de ATP a partir de ADP. Este processo é conhecido como fosforilação oxidativa.

Em anaerobiose a regeneração dos NADH processa-se de forma muito mais simples, mas sem dar lugar à síntese de ATP, através de processos bioquímicos designados por fermentação. Conhecem-se diversas fermentações, mas as mais comuns, de que aliás a indústria alimentar tira proveito, são as fermentações lácticas e a fermentação alcoólica.

## ATIVIDADES

Verifique se o seguinte texto está correto.

1. A fermentação láctica é desenvolvida em organismos como levedo de cerveja, que fermentam a glicose a ácido láctico e  $\text{CO}_2$ . O percurso é idêntico ao descrito para a glicólise, exceto na etapa terminal, catalisada pela lacto-desidrogenase.



## COMENTÁRIO SOBRE A ATIVIDADE

Questão 1- Na respiração aeróbica, o ácido pirúvico segue geralmente a via que acabamos de descrever, ou seja, glicólise, ciclo de krebs e cadeia transportadora de elétrons, terminando completamente oxidado como dióxido de carbono e água.

No entanto, se o oxigênio não estiver presente ou existir apenas em baixas concentrações, a molécula de ácido pirúvico pode continuar a ser dividida sem oxigênio (respiração anaeróbica), terminando seja como ácido láctico (em bactérias, fungos e células animais), seja como álcool etílico (leveduras e na maioria das células vegetais).

## PRÓXIMA AULA

Na próxima aula, iremos estudar o crescimento.



## AUTOAVALIAÇÃO

1. Em quais das estruturas celulares ocorre a respiração?
2. Qual das etapas da respiração é idêntica tanto para a respiração aeróbica como para a respiração anaeróbica (fermentação)?
3. Quais as consequências que poderá ocorrer quando a respiração na célula passa a ser anaeróbica?
4. Qual afirmação abaixo está incorreta.
  - a) A glicólise ocorre dentro da mitocôndria.
  - b) Outros açúcares diferente da glicose podem ser degradados através da via glicolítica.
  - c) O  $\text{NADH} + \text{H}^+$  manter formado na fermentação rende 3 ATP.
  - d) O ciclo de krebs independe da cadeia de transporte de elétrons.



e) A frutose, galactose e glicerol são fontes de carbono e energia para as plantas.

### REFERÊNCIAS COMPLETAS

FERREIRA, L. G. R. **Fisiologia vegetal**: relações hídricas. 1 ed. Fortaleza: Edições UFC, 1992.

HOPKINS, W. G. **Introduction to plant physiology**. 2 ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2000.

PURVES, W. K. et al. **Vida**: a ciência da biologia. 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 2002.

RAVEN, P. H., EVERT, R. F., EICHHORN, S. E. **Biologia vegetal**. 6 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001.

TAIZ, L., ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3 ed. Editora Artmed, 2004.