

# METABOLISMO ENERGÉTICO

Prof. Kennedy Ramos

## UNIDADE 02: Fase Clara e Fase Escura

### Introdução

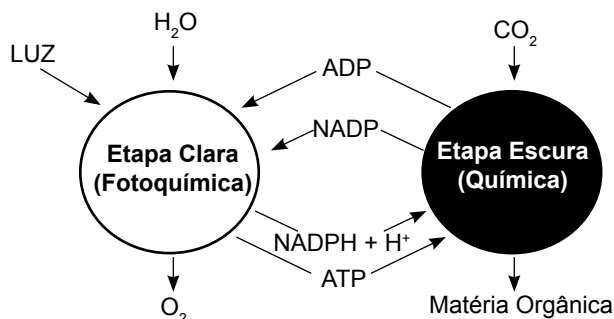
A fotossíntese ocorre em duas grandes etapas, que envolvem várias reações químicas: a primeira é a **fase clara** (também chamada de **fotoquímica**) e a segunda é a **fase escura** (também conhecida como **fase química**).

Em linhas gerais, os eventos principais da fotossíntese são:

■ **FASE CLARA:** A absorção da energia da luz pela clorofila.

■ **FASE ESCURA:** A redução de um **aceptor intermediário de elétrons chamado NADP**, que passa a **NADPH**; a **formação de ATP** e a **síntese de glicose**. A fase escura da fotossíntese não precisa ocorrer no escuro. O que o nome quer indicar é que ela ocorre mesmo na ausência de luz – ela só precisa de ATP e  $\text{NADPH}_2$  para ocorrer.

Exemplificando, teremos...



### Fase Clara ou Fotoquímica: Quebra da água e liberação de oxigênio

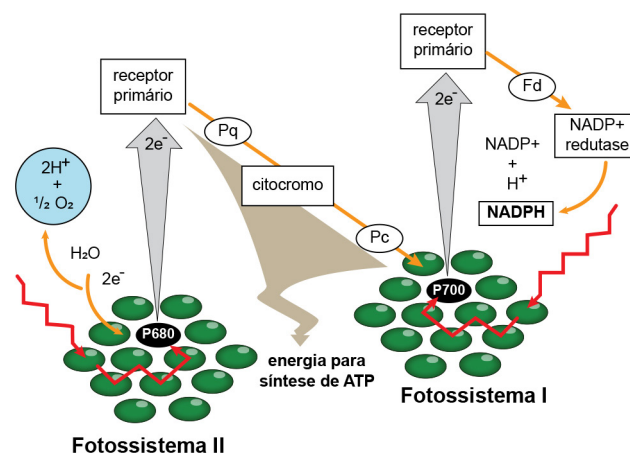
Esta fase ocorre na membrana dos tilacóides e dela participam um complexo de pigmentos existente nos grana, aceptores de elétrons, moléculas de água e a luz. Como resultado desta fase temos a produção de **oxigênio**, **ATP** (a partir de  $\text{ADP} + \text{Pi}$ )

e também a formação de uma substância chamada  **$\text{NADPH}_2$** . Tanto o ATP quanto o  $\text{NADPH}_2$  serão utilizadas na fase escura.

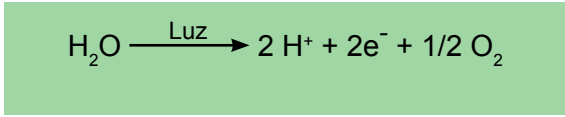
Na fase clara, a luz penetra nos cloroplastos e atinge o complexo de pigmentos, ao mesmo tempo em que provoca alterações nas moléculas de água. De que maneira essa ação da luz resulta em produtos que podem ser utilizadas na segunda fase da fotossíntese?

Um dos acontecimentos marcantes da fase clara são as chamadas **fotofosforilações cíclica e acíclica**.

Na fotofosforilação cíclica, a molécula de clorofila ao ser atingida pela luz do Sol libera elétrons. Esses elétrons são recolhidos por determinadas moléculas orgânicas chamadas aceptores de elétrons, que os enviam a uma cadeia de **citocromos** (substâncias associadas ao sistema fotossintetizante e que são assim chamadas por possuírem cor). Daí, os elétrons retornam à clorofila.



Dos produtos da fotólise da água, os elétrons vão ocupar os "vazios" deixados pela perda de elétrons pela clorofila b. Os prótons  $\text{H}^+$ , juntamente com os elétrons perdidos pela clorofila a, irão transformar o NADP (nicotinamida-adenina-dinucleotídeo fosfato) em  $\text{NADPH}_2$ . Ao mesmo tempo, oxigênio é liberado. Esse é um aspecto importante da fotossíntese: **todo o oxigênio gerado no processo provém da fotólise da água**.



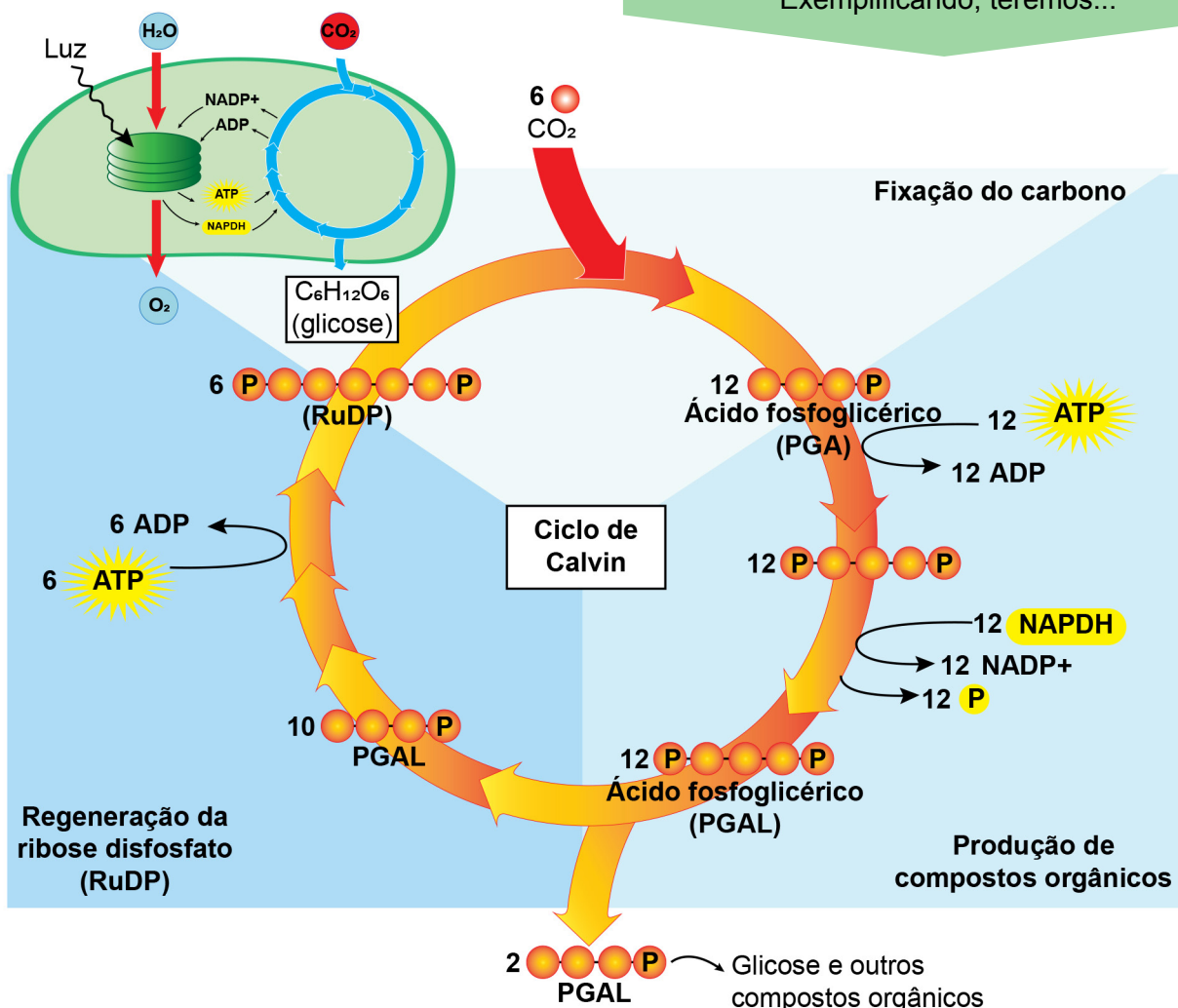
Os seres fotossintetizantes utilizam a água como fonte de átomos de hidrogênio para a redução do NADP. Esses átomos de hidrogênio são posteriormente empregados na redução do CO<sub>2</sub> até carboidrato.

### Fase Escura ou Química: Produção de Glicose

Nessa fase, a energia contida nos **ATP** e os **hidrogênios dos NADPH<sub>2</sub>**, serão utilizados para a construção de moléculas de glicose. A síntese de glicose ocorre durante um complexo ciclo de reações (chamado ciclo das pentoses ou **ciclo de Calvin-Benson**), do qual participam vários compostos simples.

Durante o ciclo, moléculas de CO<sub>2</sub> unem-se umas as outras formando cadeias carbônicas que levam à produção de glicose. A energia necessária para o estabelecimento das ligações químicas ricas em energia é proveniente do ATP e os hidrogênio que promoverão a redução dos CO<sub>2</sub> são fornecidos pelos NADPH<sub>2</sub>.

Exemplificando, teremos...



É proibida a reprodução, total ou parcial, deste material



### ATIVIDADES PROPOSTAS



01. (Ufjf-pism 1) A cada ano, mais de 250 bilhões de toneladas de açúcar são produzidas pela natureza pelos organismos autotróficos. Esse processo de fixação do carbono é denominado fotossíntese. São feitas as seguintes afirmativas sobre o processo fotossintético:

- I. Ocorre nos cloroplastos, sendo a clorofila o pigmento que absorve a luz solar na fase fotoquímica.
- II. As moléculas de NADP<sup>+</sup> são utilizadas no transporte de hidrogênio.
- III. O oxigênio liberado provém do gás carbônico absorvido na fase química.
- IV. Na fase química, há fixação do carbono do CO<sub>2</sub> podendo produzir amido.
- V. O ATP será formado na fase escura e por isso o processo fotossintético libera muita energia.



São CORRETAS:

- a) I, II e IV.
- b) I, III e IV.
- c) I, III e V.
- d) III, IV e V.
- e) Todas.



02. (Upe-ssa 1) A etapa (I) \_\_\_\_\_ da fotossíntese ocorre no estroma dos cloroplastos, sem necessidade direta da luz. Nessa etapa, o  $2CO$  recebe o hidrogênio transportado pelas moléculas de 2 NADPH, o qual é proveniente da (II) \_\_\_\_\_ da água.

O produto do (III) \_\_\_\_\_ é, na realidade, um carboidrato de três carbonos, que origina (IV) \_\_\_\_\_ e (V) \_\_\_\_\_.

Assinale a alternativa cujos termos preencham CORRETAMENTE as lacunas.

- a) I. química; II. glicólise; III. Ciclo de Krebs; IV. amido; V. sacarose
- b) I. química; II. fotólise; III. Ciclo de Calvin; IV. glicose; V. frutose
- c) I. fotoquímica; II. fotólise; III. Ciclo das pentoses; IV. glicose; V. amido
- d) I. quimiossintética; II. glicólise; III. Ciclo do Carbono; IV. maltose; V. glicose
- e) I. fotoquímica; II. fotólise; III. Ciclo Biogeoquímico; IV. frutose; V. amido.



03. (Ufrgs) Sobre a fotossíntese, é correto afirmar que:

- a) as reações dependentes de luz convertem energia luminosa em energia química.
- b) o hidrogênio resultante da quebra da água é eliminado da célula durante a fotólise.
- c) as reações dependentes de luz ocorrem no estroma do cloroplasto.
- d) o oxigênio produzido na fotossíntese é resultante das reações independentes da luz.
- e) os seres autótrofos utilizam o  $CO_2$  durante as reações dependentes de luz.



04. (G1 - col. naval) Analise as afirmativas a seguir sobre o processo da fotossíntese.

I. Na fotossíntese, o gás carbônico e a água são reagentes. A glicose e o gás oxigênio, entretanto, são produtos.

II. As plantas terrestres obtêm o gás utilizado como reagente na fotossíntese, normalmente, do ar atmosférico. Esse gás penetra nas folhas, principalmente, através do pecíolo e também é utilizado na respiração.

III. Nas folhas dos vegetais, existem células portadoras de clorofila, um pigmento esverdeado que é capaz de absorver a energia solar. O processo denominado fotossíntese ocorre nessas células.

IV. Parte das substâncias produzidas por uma planta durante a fotossíntese é utilizada pelas próprias células onde ocorreu o processo e parte é exportada para as demais regiões da planta por meio dos vasos lenhosos.

V. Parte do gás produzido no processo da fotossíntese é utilizado pela própria planta em outro processo denominado respiração celular.

Assinale a opção correta.:

- a) Apenas as afirmativas I, III e V são verdadeiras.
- b) Apenas as afirmativas II e IV são verdadeiras.
- c) Apenas as afirmativas I e III são verdadeiras.
- d) Apenas as afirmativas II, III e IV são verdadeiras.
- e) Apenas as afirmativas II, IV e V são verdadeiras.



05. (Pucrj) A fotossíntese é um processo complexo que ocorre em duas fases: fase luminosa e Ciclo de Calvin. Sobre as duas etapas da fotossíntese, foram feitas as seguintes afirmativas:

I. Na fase luminosa, ocorre a conversão da energia solar em energia química.

II. Na fase luminosa, ocorre liberação de oxigênio, produção de NADPH e consumo de ATP.

III. No Ciclo de Calvin, o  $CO_2$  atmosférico é incorporado em moléculas orgânicas do cloroplasto.

IV. O Ciclo de Calvin necessita indiretamente da luz, pois a produção de açúcar depende do ATP e NADPH produzidos na fase luminosa.

Estão corretas:

- a) Somente I, II e III.
- b) Somente II, III e IV.
- c) Somente I, III e IV.
- d) Somente I, II e IV.
- e) Todas as afirmativas.



## ATIVIDADES ENEM



**06. (MODELO ENEM)** Uma determinada espécie do grupo das traqueófitas (plantas vasculares) tem grande área foliar, garantindo a absorção de energia luminosa para realizar com sucesso o processo de fotossíntese.

Nesse processo, além da luz, há utilização de:

- gás carbônico e água, e produção de substâncias orgânicas, que são transportadas da folha para o caule e para a raiz pelo floema.
- oxigênio e água, e produção de substâncias orgânicas, que são transportadas da folha para o caule e para a raiz pelo floema.
- gás carbônico e água, e produção de substâncias orgânicas, que são transportadas da folha para o caule e para a raiz pelo xilema.
- oxigênio e água, e produção de substâncias orgânicas, que são transportadas da folha para o caule e para a raiz pelo xilema.
- oxigênio e hidrogênio, e produção de substâncias inorgânicas, que são transportadas da folha para o caule e para a raiz pelo floema.



**07. (MODELO ENEM)** “Em plantas carnívoras, a folha não é utilizada apenas para realização de fotossíntese, mas também para alimentação, através da captura de insetos. Como as plantas com muitas adaptações para o carnivorismo apresentam um gasto energético extra em estruturas como glândulas e pelos, suas folhas são, em geral, menos eficientes fotossinteticamente.

Considere três tipos de plantas:

- não carnívoras;
- carnívoras pouco modificadas para tal função;
- carnívoras altamente modificadas para tal função.

Com o objetivo de estudar a adaptação para esse modo de alimentação, os três tipos foram colocados em quatro meios experimentais diferentes. Observe a tabela:

Meio Experimental	Quantidade de sais minerais	Condição de iluminação
W	Alta	Baixa
X	Baixa	Baixa
Y	Alta	Alta
Z	Baixa	Alta

As plantas carnívoras altamente modificadas tiveram melhor adaptação, sobretudo, no seguinte meio experimental:

- W.
- X.
- Y.
- Z.
- Z e W.



**08. (MODELO ENEM)** Quatro espécies de microorganismos unicelulares foram isoladas em laboratório. Para determinar como esses seres vivos obtinham energia, cada espécie foi inserida em um tubo de ensaio transparente contendo água e açúcares como fonte de alimento.

Os tubos foram rotulados em 1, 2, 3 e 4, e submetidos ao fornecimento ou não de recursos como gás oxigênio ( $O_2$ ) e luz. Após certo tempo, verificou-se a sobrevivência ou a morte desses organismos nessas condições.

Recurso		Tubo			
$O_2$	luz	1	2	3	4
sim	sim	x	✓	✓	✓
sim	não	x	✓	✓	x
não	sim	✓	✓	x	✓
não	não	✓	✓	x	x

sobreviveram

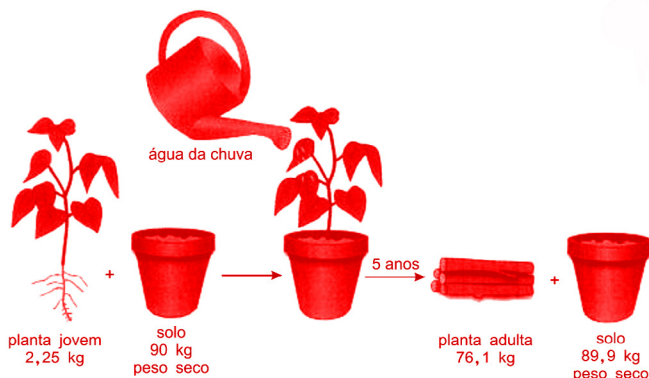
morreram

Os resultados permitem concluir corretamente que os micro-organismos presentes nos tubos 1, 2, 3 e 4, são, respectivamente,

- anaeróbios obrigatórios, aeróbios, anaeróbios facultativos e fotossintetizantes.
- aeróbios, fotossintetizantes, anaeróbios obrigatórios e anaeróbios facultativos.
- anaeróbios facultativos, fotossintetizantes, aeróbios e anaeróbios obrigatórios.
- anaeróbios facultativos, aeróbios, fotossintetizantes e anaeróbios obrigatórios.
- anaeróbios obrigatórios, anaeróbios facultativos, aeróbios e fotossintetizantes.



**09. (MODELO ENEM)** O cientista *Jan Baptist Van Helmont* (1577–1644) fez um experimento com uma planta de salgueiro, regularmente exposta à luz, conforme o esquema:



A partir dessa experiência, o cientista concluiu que as plantas

- crecem rápido em laboratório.
- retiram matéria orgânica do solo.
- produzem seus próprios nutrientes.
- morrem com irrigação de água potável.
- reproduzem mais rápido.



**10. (MODELO ENEM)** Certas espécies de algas são capazes de absorver rapidamente compostos inorgânicos presentes na água, acumulando-os durante seu crescimento. Essa capacidade fez com que se pensasse em usá-las como biofiltros para a limpeza de ambientes aquáticos contaminados, removendo, por exemplo, nitrogênio e fósforo de resíduos orgânicos e metais pesados provenientes de rejeitos industriais lançados nas águas. Na técnica do cultivo integrado, animais e algas crescem de forma associada, promovendo um maior equilíbrio ecológico. A utilização da técnica do cultivo integrado de animais e algas representa uma proposta favorável a um ecossistema mais equilibrado porque.

- os animais eliminam metais pesados, que são usados pelas algas para a síntese de biomassa.
- os animais fornecem excretas orgânicos nitrogenados, que são transformados em gás carbônico pelas algas.
- as algas usam os resíduos nitrogenados liberados pelos animais e eliminam gás carbônico na fotossíntese, usado na respiração aeróbica.
- as algas usam os resíduos nitrogenados provenientes do metabolismo dos animais e, durante a síntese de compostos orgânicos, liberam oxigênio para o ambiente.

- as algas aproveitam os resíduos do metabolismo dos animais e, durante a quimiossíntese de compostos.



## GABARITOS

**QUESTÃO 01: Gabarito: [A]**

**Comentário:**

[III] Incorreta: O oxigênio liberado na fotossíntese provém da quebra (fotólise) da água.

[V] Incorreta: A produção do ATP (fotofosforilação) consome energia.

**QUESTÃO 02: Gabarito: [B]**

**Comentário:** A etapa química (ou enzimática) da fotossíntese ocorre no estroma do cloroplasto, sem a necessidade direta da luz. Nessa fase, o  $\text{CO}_2$  é reduzido recebendo o hidrogênio cedido pelo  $\text{NADPH}_2$  proveniente da fotólise da água.

O produto do Ciclo de Calvin é um carboidrato com três carbonos, que origina os monossacarídeos glicose e frutose.

**QUESTÃO 03: Gabarito: [A]**

**Comentário:** As reações fotoquímicas da fotossíntese convertem a energia da luz em energia química na forma de ATP e  $\text{NADPH}^+$ .

**Questão 04: Gabarito: [A]**

**Comentário:**

II. Falso: as plantas terrestres absorvem o gás carbônico atmosférico pelas aberturas (ostíolos) dos estômatos.

IV. Falso: as substâncias orgânicas produzidas na fotossíntese são transportadas pelos vasos liberianos do floema (líber).

**Questão 05: Gabarito: [C]**

**Comentário:** Na fase luminosa, é produzido ATP. As reações luminosas geram ATP utilizando a quimiossíntese para adicionar um grupo fosfato ao ADP.

**Questão 06: Gabarito: [A]**

**Comentário:** Durante o processo de fotossíntese, os vegetais utilizam a luz como fonte de energia, além do gás carbônico e água pura para produzirem as substâncias orgânicas que serão transportadas pelo floema para os órgãos consumidores, como o caule e a raiz.

**Questão 07: Gabarito: [B]**

**Comentário:** As plantas carnívoras altamente modificadas deverão apresentar maior adaptação em um meio experimental pobre em sais minerais, pois podem obtê-los do solo e de suas presas. Outrossim, conseguem eficiência fotossintética com iluminação baixa sendo, geralmente, plantas de sombra (umbrófilas).

**Questão 08: Gabarito: [E]**

**Comentário:** Os micro-organismos presentes no tubo 1 são anaeróbios obrigatórios, porque não sobrevivem na presença de oxigênio ( $O_2$ ). No tubo 2, são anaeróbios facultativos, pois sobrevivem tanto na presença, quanto na ausência desse gás. Os micro-organismos no tubo 3 são aeróbios, porque não sobrevivem na ausência do oxigênio, enquanto aqueles presentes no tubo 4 são autótrofos fotossintetizantes, porque somente sobrevivem na presença de luz.

**Questão 09: Gabarito:[C]**

**Comentário:** O experimento revela que as plantas são organismos autótrofos, isto é, são capazes de produzir seus próprios nutrientes.

**Questão 10: Gabarito: [D]**

**Comentário:** As algas utilizam os resíduos nitrogenados eliminados pelos animais para a produção de matéria orgânica durante a fotossíntese. O excesso de oxigênio liberado nesse processo é liberado para o meio ambiente.

**REFERENCIAL TEÓRICO**

ALBERTS, B.; BRAY, D.; LEWIS, J.; RAFF, M.; ROBERTS; WALTER, P.; Fundamentos da Biologia Celular. Porto Alegre: Artmed, 3ed. 2011.

LEHNINGER, A.L.; NELSON, D.L.; COX, M.M. Princípios de Bioquímica. 2. ed. São Paulo: Sarvier, 2000.

ALBERTS, B.; BRAY, D.; LEWIS, J.; RAFF, M.; ROBERTS; WALTER, P.; Biologia Molecular da Célula. Porto Alegre: Artmed, 5ed. 2008.

COOPER G.M. & HAUSMAN R.E. A Célula: uma abordagem molecular. 3ed. Porto Alegre, Artmed, 2007.

JUNQUEIRA L.C.U., CARNEIRO J. Biologia Celular e Molecular. 6ª ed. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 2005.

JUNIOR, C.S.; SASSON, S.; JUNIOR, N.C. Biologia VOL 1 – 9º Ed. São Paulo, Saraiva, 2010.

JUNIOR, C.S.; SASSON, S.; JUNIOR, N.C. Biologia VOL 2 – 9º Ed. São Paulo, Saraiva, 2010

LOPES, S.; ROSSO, S.; BIO volume 2. 1. Ed. São Paulo: Saraiva, 2010.

AMABIS, J.M.; MARTHO, G.R.; Biologia volume 1: Biologia das Células 2. Ed. São Paulo: Moderna, 2004.

AMABIS, J.M.; MARTHO, G.R.; Biologia volume 1: Biologia das Células 2. Ed. São Paulo: Moderna, 2010.

AMABIS, J.M.; MARTHO, G.R.; Biologia volume 2: Biologia dos Organismos 3. Ed. São Paulo: Moderna, 2004.

AMABIS, J.M.; MARTHO, G.R.; Biologia volume 2: Biologia dos Organismos 3. Ed. São Paulo: Moderna, 2010.

LINHARES, S.; GEWANDSZNAJDER, F.; Biologia,