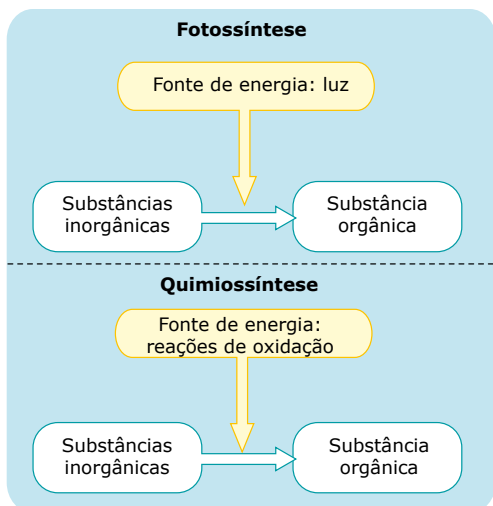


## Fotossíntese e Quimiossíntese

Existem dois processos distintos por meio dos quais algumas espécies de seres vivos conseguem fabricar compostos orgânicos a partir de substâncias inorgânicas: **fotossíntese** e **quimiossíntese**.

Quando a fonte de energia utilizada pela reação é a luz, o processo é a fotossíntese; quando a energia utilizada é proveniente de uma reação de oxidação, temos a quimiossíntese. Assim, a diferença fundamental entre esses dois processos está na fonte de energia utilizada.

Os seres fotossintetizantes e quimiossintetizantes realizam a chamada nutrição autótrofa (do grego *autós*, próprio; *trophos*, alimento) ou autotrófica, isto é, conseguem fabricar, no próprio corpo, o alimento orgânico a partir de substâncias inorgânicas. Distinguimos, portanto, o autotrofismo fotossintético e o autotrofismo quimiossintético.



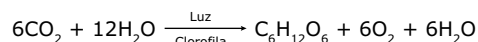
*Nutrição autótrofa – Na fotossíntese, substâncias inorgânicas são usadas para produzir substâncias orgânicas, utilizando a energia proveniente da luz. Na quimiossíntese, substâncias inorgânicas são utilizadas para produzir substâncias orgânicas, utilizando a energia proveniente de uma reação de oxidação.*

### FOTOSSÍNTESE

Também chamada de assimilação clorofiliana, a fotossíntese consiste na fabricação de substâncias orgânicas a partir de substâncias inorgânicas, utilizando a luz como fonte de energia para a realização da reação.

A substância orgânica sintetizada é a glicose, um importante alimento orgânico utilizado como fonte de energia. Assim, os seres fotossintetizantes são capazes de fabricar esse tipo de alimento em seu próprio corpo a partir de substâncias inorgânicas obtidas do meio ambiente. Trata-se, portanto, de um mecanismo de nutrição autótrofa (autotrófica), realizado pelas algas, pelas plantas e por algumas espécies de bactérias.

A fotossíntese realizada pelas algas e pelas plantas (briófitas, pteridófitas, gimnospermas e angiospermas) pode ser representada pela seguinte equação geral:



O  $\text{CO}_2$ , um dos reagentes do processo, normalmente é obtido a partir do meio ambiente. As plantas terrestres o absorvem da atmosfera, enquanto as plantas aquáticas submersas o obtêm do meio aquoso (absorvem o  $\text{CO}_2$  que se encontra dissolvido na água). Vale lembrar, entretanto, que, dependendo da intensidade luminosa recebida pela planta, o  $\text{CO}_2$  utilizado na fotossíntese pode ser proveniente da reação da respiração aeróbia realizada pelas próprias células do vegetal.

A água ( $\text{H}_2\text{O}$ ), outro reagente do processo, também é obtida a partir do meio ambiente. As plantas terrestres geralmente a absorvem do solo por meio de suas raízes, enquanto as aquáticas a retiram do próprio meio aquoso em que se encontram.

A luz utilizada como fonte de energia é a solar, embora já se tenha demonstrado experimentalmente que a reação fotossintética também pode ocorrer com luz artificial, porém de maneira pouco intensa.

A clorofila é um pigmento verde dos vegetais que contém magnésio (Mg) em sua molécula. Exerce um papel fundamental para a realização da fotossíntese, uma vez que é a substância responsável pela absorção da luz. Existem diferentes tipos de clorofila (a, b, c, d). Todas são muito parecidas quimicamente, apresentando apenas pequenas diferenças na estrutura molecular e no grau de tonalidade da cor verde. Veja os exemplos a seguir:

Tipos de clorofila	Fórmula molecular	Cor
Clorofila a	$\text{C}_{55}\text{H}_{72}\text{O}_5\text{N}_4\text{Mg}$	Verde-azulada
Clorofila b	$\text{C}_{55}\text{H}_{70}\text{O}_6\text{N}_4\text{Mg}$	Verde-amarelada

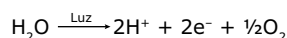
## Fase clara (fase luminosa, etapa fotoquímica)

É a primeira etapa da reação de fotossíntese, e só se realiza em presença de luz. Os principais fenômenos que ocorrem nessa etapa são: absorção e utilização da luz, fotólise da água com liberação de  $O_2$  e íons  $H^+$ , síntese de ATP através das fotofosforilações cíclica e acíclica e formação de  $NADPH_2$  ( $NADPH + H^+$ ).

A luz absorvida é utilizada na fotólise da água e nas fotofosforilações.

### Fotólise da água (reação de Hill)

Consiste na decomposição (quebra) das moléculas de água, utilizadas como reagentes, sob a ação da luz, conforme mostra a equação representada a seguir:

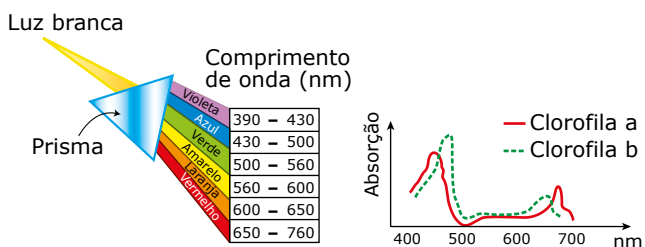


Fotólise da água.

Os íons hidrogênio ( $2 H^+$ ) provenientes dessa decomposição serão utilizados na formação do composto  $NADPH_2$ . O NADP (nicotinamida adenina dinucleotídeo fosfato), à semelhança do NAD, que atua nas reações da respiração celular, é um aceptor e transportador de hidrogênios. Na fotossíntese, as moléculas de NADP recebem os hidrogênios liberados durante as reações da fase clara, levando-os para participar das reações da fase escura, nas quais serão liberados e utilizados na síntese da glicose. Cada molécula de água que sofre fotólise libera  $2 H^+$ , permitindo a formação de uma molécula de  $NADPH_2$ . Como são doze moléculas de água ( $12 H_2O$ ) utilizadas na reação, a fotólise de todas elas libera  $24 H^+$ , permitindo, assim, a formação de  $12 NADPH_2$ . O oxigênio ( $\frac{1}{2} O_2$ ), normalmente, será liberado no meio. A fotólise de apenas uma molécula de água libera  $\frac{1}{2} O_2$ . Como são 12 moléculas de água ( $12 H_2O$ ) utilizadas na reação, a fotólise de todas elas libera  $6 O_2$ . Portanto, o oxigênio liberado pela reação da fotossíntese realizada pelas algas e plantas provém da água. A origem desse  $O_2$  pode ser demonstrada fornecendo-se água contendo o isótopo  $O^{18}$  ("oxigênio marcado") a uma planta. Verifica-se que as moléculas de  $O_2$  liberadas pela reação conterão em sua composição o  $O^{18}$ . Por outro lado, fornecendo-se a uma planta  $CO_2$  com esse "oxigênio marcado", nenhum oxigênio liberado pela fotossíntese conterá o  $O^{18}$ . Isso demonstra que o  $O_2$  liberado pela fotossíntese das plantas provém da água e não do  $CO_2$ , como se pensava. Os elétrons liberados pela reação da fotólise da água serão transferidos para moléculas de clorofila do tipo b. Esse processo ocorrerá na fotofosforilação acíclica que veremos a seguir.

Como sabemos, a luz branca, na realidade, resulta da combinação de diversas radiações (infravermelha, vermelha, laranja, amarela, verde, azul, anil, violeta e ultravioleta), que possuem diferentes comprimentos de onda. As radiações vermelha, laranja, amarela, verde, azul, anil e violeta compõem o chamado "espectro visível", porque são as radiações que conseguimos enxergar quando a luz se decompõe ao atravessar um prisma.

Quando a luz solar incide na planta, as moléculas de clorofila não absorvem toda a radiação presente com a mesma intensidade. Através de um aparelho chamado espectrofotômetro, constatou-se que os comprimentos de onda vermelho e azul são os mais intensamente absorvidos pela clorofila, enquanto os comprimentos de onda verde e amarelo são os menos absorvidos. Aliás, a absorção da luz verde é quase nula. A clorofila reflete quase toda radiação verde; e, por isso, nós a enxergamos dessa cor.



Comprimentos de onda da radiação do espectro visível e intensidade de absorção desses comprimentos de onda pela clorofila – Observe que a absorção das clorofilas a e b se faz com maior intensidade nas faixas de comprimentos de onda correspondentes ao azul e ao vermelho. Os comprimentos de onda são medidos em nanômetros (nm) ou micrômetros ( $\mu m$ ).  $1 \text{ nm} = 0,001 \text{ mm}$ ;  $\mu m = 0,000001 \text{ mm}$ .

Um dos produtos da reação de fotossíntese das plantas é o oxigênio ( $O_2$ ); e, por isso, esse tipo de fotossíntese é chamado de fotossíntese oxigênica. Esse oxigênio, indispensável à sobrevivência dos seres aeróbios, é liberado, normalmente, no meio ambiente; e, por isso, diz-se que a fotossíntese desempenha um papel importante na "purificação" do meio ambiente, retirando deste o  $CO_2$  e liberando o  $O_2$ . Em certas situações, entretanto, a planta não chega a liberar o  $O_2$  para o meio ambiente, utilizando-o para fazer a respiração aeróbia.

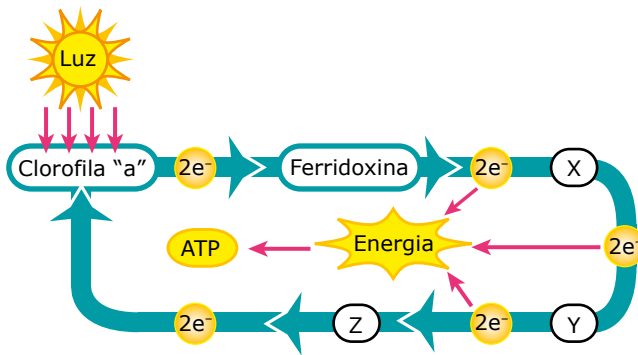
A fabricação da glicose ( $C_6H_{12}O_6$ ) é a principal função da reação, uma vez que a planta utiliza essa substância como alimento. Assim, a glicose é usada na respiração celular e também como matéria-prima para fabricação de outros compostos orgânicos de que o vegetal necessita. Em certas situações, a planta produz mais glicose do que consome. Nesse caso, o excesso da produção é armazenado sob a forma de amido que, quando houver necessidade, será também utilizado. (Lembre-se de que o amido é o material de reserva dos vegetais.)

A fotossíntese das plantas é realizada em duas fases ou etapas: fase clara (etapa fotoquímica) e fase escura (etapa química).

## Fotofosforilação

É um processo de formação de ATP que usa energia primariamente originária da luz para unir o ADP a um  $P_i$  (fosfato inorgânico). Pode ser cíclica ou acíclica.

A fotofosforilação cíclica é realizada com a participação apenas da clorofila do tipo a e tem como objetivo a síntese de ATP. Resumidamente, pode ser esquematizada da seguinte maneira:



X, Y e Z representam diferentes citocromos.

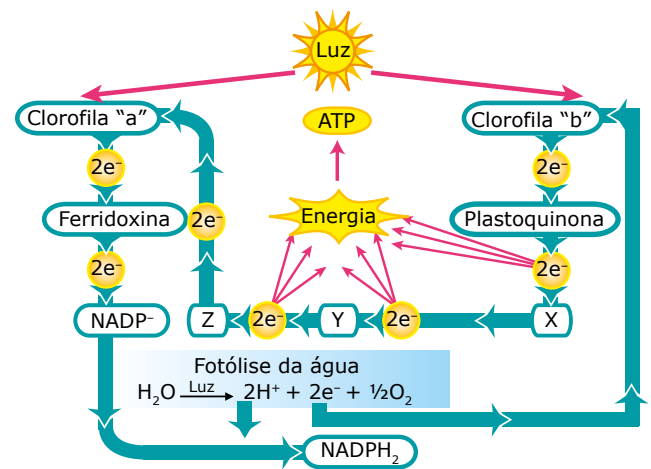
Fotofosforilação cíclica.

Elétrons da clorofila "a" absorvem luz, tornam-se mais energéticos e saem da molécula clorofiliana. Podemos dizer que a clorofila "a", ao absorver luz, torna-se oxidada, isto é, perde elétrons. Ao saírem da clorofila "a", os elétrons "excitados" (com excesso de energia) são captados por um aceptor, a ferridoxina (uma proteína conjugada que tem ferro em seu grupo prostético). Assim, podemos dizer que a ferridoxina é um aceptor primário de elétrons, ou seja, é a primeira substância que recebe os elétrons assim que eles saem da clorofila. Da ferridoxina, os elétrons são transferidos para uma cadeia de citocromos. Ao passarem de um citocromo para outro, os elétrons liberam a energia em excesso e retornam para a mesma molécula de clorofila da qual saíram. A energia liberada por esses elétrons, quando ocorre a passagem deles pela cadeia de citocromos, é utilizada para fazer a fosforilação, isto é, ligar  $ADP + P_i$ , sintetizando, assim, o ATP. O objetivo da fotofosforilação cíclica é a síntese do ATP. O ATP produzido durante a fotofosforilação cíclica será, por sua vez, utilizado na 2ª etapa da fotossíntese, na qual será degradado em  $ADP + P_i$ , fornecendo energia para as reações da fase escura.

A fotofosforilação acíclica envolve a participação de dois tipos de clorofila (clorofila do tipo a e clorofila do tipo b) e também do NADP, tendo como objetivos a síntese de ATP e a síntese do  $NADPH_2$ .

O ATP produzido nesse tipo de fotofosforilação terá o mesmo destino daquele produzido na fotofosforilação cíclica, ou seja, será degradado em  $ADP + P_i$ , na 2ª etapa da fotossíntese, para fornecer energia às reações da fase escura. Já o NADP (nicotinamida adenina dinucleotídeo fosfato) receberá os hidrogênios liberados da fotólise da água, levando-os para a fase escura, na qual esses hidrogênios serão liberados e utilizados na síntese da glicose. O NADP, portanto, é um aceptor e transportador de hidrogênios.

O processo da fotofosforilação acíclica está esquematizado a seguir:



Fotofosforilação acíclica.


Na fotofosforilação acíclica, elétrons das clorofilas a e b absorvem luz e se tornam excitados. Ao saírem das moléculas das clorofilas, esses elétrons seguem os seguintes caminhos: os elétrons que saem da clorofila a são captados pela ferridoxina que, em seguida, entrega-os ao NADP. Ao receber esses elétrons, o NADP passa à condição de  $NADP^+$ , isto é, NADP reduzido. Em seguida, o  $NADP^+$  se junta aos dois íons  $H^+$  provenientes da fotólise da água, formando com eles o  $NADPH_2$ . Assim, os hidrogênios que agora fazem parte do  $NADPH_2$  estavam anteriormente na molécula de água ( $H_2O$ ). Nesses hidrogênios, estão os elétrons que saíram da clorofila a. O  $NADPH_2$  irá liberar esses hidrogênios nas reações da fase escura (2ª etapa da fotossíntese), para que eles possam ser utilizados na síntese da glicose. Os elétrons que saem da clorofila b são captados por um aceptor chamado plastoquinona, que, posteriormente, entrega-os a uma cadeia de citocromos. Ao passarem de um citocromo para outro, esses elétrons liberam gradativamente o excesso de energia que possuem. Essa energia será utilizada para promover a fosforilação do ADP ( $ADP + P_i$ ), fabricando, assim, o ATP. Após passarem pela cadeia de citocromos e descarregarem o excesso de energia, os elétrons que saíram da clorofila b penetram na molécula de clorofila "a", estabilizando-a.

Observe que os elétrons que entram na clorofila "a", ao término desse processo, não são os mesmos que dela saíram. Lembre-se de que os elétrons que saíram da clorofila "a" estão, agora, nos hidrogênios do NADPH<sub>2</sub>. Para estabilizar a clorofila "b", essa molécula recebe os elétrons provenientes da fotólise da água. Veja que os elétrons que penetram na clorofila "b" também não são os mesmos que dela saíram no início do processo. Nas células eucariotas fotossintetizantes, as moléculas de clorofila, os aceptores de elétrons e as enzimas que participam das reações da fase clara encontram-se organizados nas membranas dos cloroplastos, formando unidades funcionais chamadas fotossistemas. Existem dois tipos de fotossistemas: fotossistema I (PS I) e fotossistema II (PS II).

O fotossistema I localiza-se, preferencialmente, nas membranas intergranais, em contato direto com o estroma, e absorve luz de comprimento de onda correspondente a 700 nm. Por isso, também é chamado de fotossistema P700.

O fotossistema II localiza-se nas membranas dos tilacoides e absorve, principalmente, a luz, cujo comprimento de onda é de 680 nm. Por isso, também é denominado fotossistema P680.

A fotofosforilação cíclica envolve apenas o fotossistema I, enquanto a acíclica é feita com a participação dos dois fotossistemas (I e II). Ao que tudo indica, a fotofosforilação cíclica é uma via alternativa para produção de ATP, sendo realizada apenas quando há pequena quantidade de NADP, ou seja, se não houver NADP disponível para receber os elétrons, a ferridoxina os transfere para um conjunto de citocromos, do qual partem em direção à mesma clorofila de que saíram.



**CONTEÚDO NO Bernoulli Play**

VSKJ

Fase clara da fotossíntese

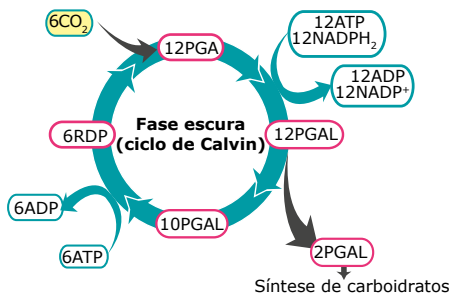
Nesse objeto de aprendizagem, você assistirá, detalhadamente, à ocorrência de uma das etapas da fotossíntese: a fase clara. Identifique o local de ocorrência dela, bem como os complexos proteicos envolvidos no processo. Observe quais moléculas estão sendo degradadas e quais estão sendo produzidas ao longo da fase.

**Observação:** Por questões didáticas, o vídeo não retrata as reações da fase clara de forma balanceada.

## Fase escura (fase de Blackman, fase enzimática, etapa química)

É a segunda etapa da reação de fotossíntese. Independe da luz para ocorrer, porém depende da ocorrência da primeira etapa. Os principais fenômenos dessa etapa são: fixação do CO<sub>2</sub>, formação de PGA, formação de PGAL, formação de H<sub>2</sub>O, ciclo das pentoses, utilização do NADPH<sub>2</sub>, utilização do ATP e síntese da glicose.

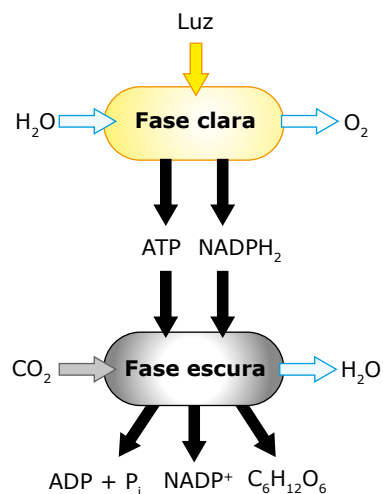
As reações da fase escura podem ser resumidas de acordo com o esquema a seguir:



Fase escura da fotossíntese.

Os 6 CO<sub>2</sub> reagem com 6 moléculas de RDP (ribulose difosfato) ou RuBP (ribulose bifosfato), uma pentose existente no interior das células vegetais. Essa reação produz 12 moléculas de PGA (ácido fosfoglicérico ou fosfoglicerato) e 6 H<sub>2</sub>O. Como PGA possui 3 carbonos, o ciclo de Calvin é também chamado de ciclo C<sub>3</sub>, e as plantas que o possuem são chamadas de plantas C<sub>3</sub>. Num segundo momento, as 12 moléculas de PGA recebem hidrogênio (H<sub>2</sub>) das 12 moléculas de NADPH<sub>2</sub> provenientes da fase clara. Cada molécula de PGA recebe um H<sub>2</sub>. Essa reação utiliza energia proveniente da degradação do ATP. Ao receber um H<sub>2</sub>, cada molécula de PGA transforma-se em uma triose, o PGAL (aldeído fosfoglicérico). Assim, formam-se 12 moléculas de PGAL. Destas, 2 se unirão para formar a glicose (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>), e as outras 10 reagirão umas com as outras, reconstituindo as 6 moléculas da pentose ribulose. As pentoses que foram utilizadas no início da fase escura são, portanto, reconstituídas ao final do processo, chamado ciclo das pentoses ou ciclo de Calvin.

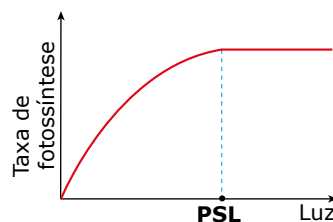
Podemos resumir as fases clara e escura da fotossíntese realizada pelas plantas por meio do seguinte esquema:



A fase clara usa luz e água (H<sub>2</sub>O) e produz oxigênio (O<sub>2</sub>), ATP e NADPH<sub>2</sub>. A fase escura usa gás carbônico (CO<sub>2</sub>), ATP e NADPH<sub>2</sub>, produzindo água e glicose (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>).

Muitos fatores ambientais influenciam a velocidade com que a planta realiza a fotossíntese. A intensidade dessa reação pode ser medida pela quantidade de O<sub>2</sub> liberada ou pela quantidade de CO<sub>2</sub> produzida pela planta em um certo intervalo de tempo.

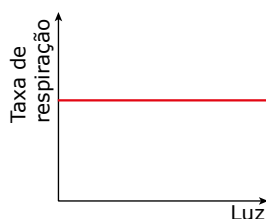
Entre os fatores ambientais (fatores externos) que influenciam a velocidade da fotossíntese, temos: a intensidade de luz que a planta recebe; a temperatura ambiental; a concentração de CO<sub>2</sub> no meio onde se encontra a planta; e a disponibilidade de água no ambiente.



Influência da intensidade luminosa sobre a velocidade da fotossíntese.

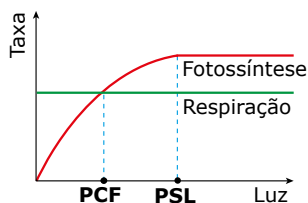
Desde que as demais condições sejam mantidas constantes, partindo-se de uma intensidade luminosa igual a zero, à medida que a intensidade luminosa oferecida à planta aumenta, a velocidade da reação de fotossíntese também aumenta, até atingir um limite máximo, quando, então, se estabiliza. A intensidade de luz em que a velocidade da reação é máxima e se estabiliza é denominada ponto de saturação lumínica ou ponto de saturação luminosa (PSL).

Para manter-se viva, a planta também precisa respirar e, ao contrário do que acontece na fotossíntese, tudo indica que a intensidade de luz não interfere na velocidade da reação da respiração, conforme mostra o gráfico a seguir:



Influência da intensidade luminosa sobre a velocidade da respiração celular – Qualquer que seja a intensidade de luz, a taxa de respiração permanece a mesma.

Ao realizar a respiração aeróbia, a planta faz exatamente o contrário do que faz na fotossíntese, ou seja, consome oxigênio ( $O_2$ ) e glicose ( $C_6H_{12}O_6$ ) e libera gás carbônico ( $CO_2$ ).

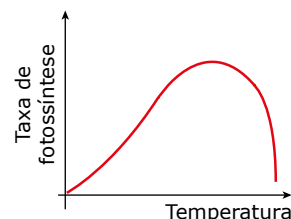


Comparação entre a taxa de fotossíntese e a taxa de respiração aeróbia das plantas.

Observe que existe uma determinada intensidade luminosa em que a velocidade com que a planta realiza a fotossíntese é igual à velocidade com que faz a respiração. A intensidade luminosa em que há esse equilíbrio entre fotossíntese e respiração é o ponto de compensação fótico (PCF). Quando está recebendo uma intensidade de luz correspondente ao seu PCF, a planta encontra-se em equilíbrio energético, pois toda a glicose produzida pela fotossíntese será consumida pela respiração, não havendo, portanto, saldo energético. Também no PCF, todo o  $O_2$  produzido e liberado pela fotossíntese será utilizado na respiração, e todo o  $CO_2$  produzido pela respiração será consumido pela fotossíntese. Assim, fica claro que a planta, para sobreviver, não pode permanecer por um longo período recebendo uma intensidade luminosa abaixo do seu PCF, uma vez que, nessa intensidade, o consumo de glicose pela respiração é superior à sua produção pela fotossíntese, o que obriga a planta a utilizar suas reservas de amido.

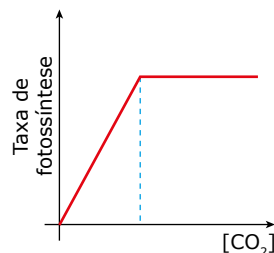
Abaixo do PCF, uma vez esgotadas suas reservas, a planta morre, pois não terá glicose suficiente para atender às suas necessidades metabólicas. Se mantida durante certo tempo recebendo uma intensidade luminosa correspondente a seu PCF, a planta sobrevive, porém não cresce, uma vez que toda a matéria orgânica que for produzida pela fotossíntese será consumida pela respiração. Uma planta, para crescer, precisa acumular matéria orgânica, e, para isso, precisa realizar mais fotossíntese do que respiração.

O ponto de compensação fótico não é o mesmo para todas as espécies de plantas. As heliófilas (plantas de Sol), por exemplo, têm um ponto de compensação fótico elevado e, por isso, só conseguem viver em locais de alta luminosidade. As umbrófilas (plantas de sombra), ao contrário, possuem um ponto de compensação fótico baixo, isto é, necessitam de menor intensidade de luz e, por isso, conseguem se adaptar e sobreviver em ambientes sombreados.



Influência da temperatura sobre a velocidade da reação de fotossíntese.

O gráfico mostra que, partindo-se de uma temperatura inicial baixa e mantendo-se constantes as condições de água, intensidade luminosa e concentração de  $CO_2$ , o aumento da temperatura estimula o aumento da velocidade fotossintética até um certo ponto, no qual a velocidade da reação atinge um valor máximo: é a chamada temperatura ótima da reação. Acima da temperatura ótima, a velocidade começa a diminuir, devido ao processo de desnaturação das enzimas que atuam na reação, em especial na fase escura.



Influência da concentração de  $CO_2$  no meio sobre a velocidade da reação de fotossíntese.

Mantendo-se constantes todas as condições, à medida que a concentração de  $CO_2$  aumenta, a partir de uma concentração inicial igual a zero, a taxa de fotossíntese também aumenta, até atingir uma velocidade máxima, quando, então, se estabiliza.



**Fotossíntese**

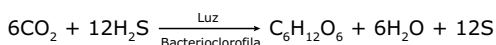
Nesse objeto de aprendizagem, você será o responsável por testar a influência de diferentes fatores ambientais na intensidade com que uma planta realiza fotossíntese. Controle corretamente suas variáveis alterando apenas uma condição por vez para que você consiga fazer a devida interpretação de seus dados. Boa atividade!



## FOTOSSÍNTESE DAS BACTÉRIAS



A fotossíntese realizada pelas cianobactérias é semelhante à realizada pelas plantas, ou seja, usa água como um dos reagentes e, conseqüentemente, libera  $O_2$ . Entretanto, existem algumas bactérias fotossintetizantes que vivem em água sulfurosa e usam como reagentes o  $CO_2$  e o gás sulfídrico ( $H_2S$ ) conforme mostra a equação a seguir:

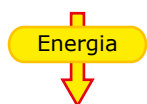
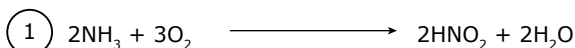


Essas bactérias fotossintetizantes possuem um pigmento semelhante à clorofila das plantas, denominado bacterioclorofila, que absorve radiações de comprimento de onda correspondente ao infravermelho (fora do espectro da luz visível ao olho humano). Observe que a fotossíntese dessas bactérias não utiliza água como reagente e, conseqüentemente, não libera  $O_2$ . No lugar da água, utiliza o  $H_2S$  como fonte de hidrogênio para a síntese da glicose. O enxofre produzido pela degradação do  $H_2S$  forma grânulos que se acumulam temporariamente no citoplasma da célula bacteriana até serem excretados. Por não produzir oxigênio ( $O_2$ ), essa fotossíntese é denominada fotossíntese anoxigênica.

## QUIMIOSSÍNTESE



Também é um processo de nutrição autótrofa (autotrófica) que consiste na fabricação de substâncias orgânicas a partir de substâncias inorgânicas, utilizando energia proveniente de uma reação de oxidação (energia de oxidação). É realizada por muitas espécies de bactérias. Veja o exemplo a seguir:



A reação 1 é uma reação de oxidação da amônia ( $NH_3$ ), em que há liberação de energia (energia de oxidação). A energia liberada pela reação 1 é utilizada na reação 2, uma reação de quimiossíntese, que, por sua vez, produz glicose ( $C_6H_{12}O_6$ ), a partir do gás carbônico ( $CO_2$ ) e da água ( $H_2O$ ).

## EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM



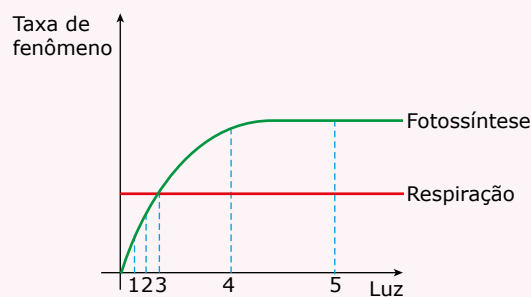
**01.** (UNEB-BA) O capim, do tipo elefante, foi importado da África há 100 anos para alimentar o gado em períodos de estiagem. Resistente à seca e capaz de se desenvolver, mesmo em solos pobres, ele foi usado durante décadas por pecuaristas de regiões inóspitas do país. O capim-elefante não precisa necessariamente ser irrigado e é triturado pela mesma máquina que o colhe. Em seguida, o farelo é jogado sem nenhum tratamento prévio diretamente no forno para esse fim. Queimado, produz vapor que movimenta um gerador. A energia resultante é transferida para uma subestação conectada à rede nacional de distribuição elétrica. A conversão de capim-elefante em energia não polui. Mesmo o gás carbônico,  $CO_2$ , emitido durante a queima da biomassa utilizada, é menor do que o consumido pela gramínea durante todo o seu crescimento.

(VARGAS, 2010, p. 112).

A relação mencionada entre consumo e produção de gás carbônico pelo capim-elefante pode ser justificada a partir da seguinte afirmativa:

- A queima do capim libera  $CO_2$  para o ambiente, enquanto a raiz absorve esse gás junto ao solo durante o processo de obtenção de nutrientes inorgânicos pela planta.
- A respiração aeróbica realizada pela planta fixa o  $CO_2$  do ambiente, enquanto a fotossíntese o libera como principal resíduo desse processo fotoautótrofo.
- A combustão do capim libera  $CO_2$  para o ambiente, enquanto a fotossíntese fixa o  $CO_2$  durante a produção de componente orgânico a partir da conversão de energia solar em energia química.
- A quebra de moléculas orgânicas pela respiração celular libera  $CO_2$  em grande quantidade para a atmosfera, enquanto a queima o utiliza como gás comburente do processo.
- A queima do álcool produzido pela fermentação do capim libera uma quantidade menor de  $CO_2$ , se comparada com a quantidade fixada durante o processo de fotossíntese realizado pela planta.

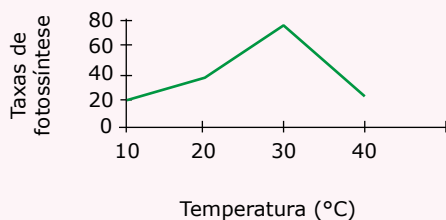
**02.** (PUC Minas) Observe o gráfico a seguir, que representa as taxas de fotossíntese e respiração de um vegetal:





02. (FASEH-MG-2018) Observe o gráfico a seguir.

**Taxa de fotossíntese em função da temperatura**



A NUTRIÇÃO dos vegetais. COLTEC, 2012. Material didático.

O que explica o modelo da curva apresentado?

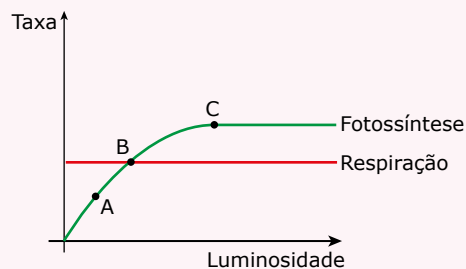
- A) Em baixas e altas temperaturas, a clorofila é incapaz de absorver o espectro de luz verde.
- B) Ao contrário da fotossíntese, a taxa respiratória varia em função da intensidade luminosa.
- C) Em temperaturas elevadas, os pigmentos acessórios das plantas não atuam de forma eficiente.
- D) Em altas temperaturas, as enzimas ligadas ao processo fotossintético têm sua cinética afetada.
03. (UFRGS-RS) 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  $\text{CO}_2$  durante as reações dependentes de luz.

04. (Unifor-CE) Na década de 1950, Melvin Calvin e colegas usaram  $\text{CO}_2$  marcado radioativamente, em que alguns dos átomos de carbono não representaram o  $^{12}\text{C}$  normal, mas seu radioisótopo  $^{14}\text{C}$ , para identificar a sequência de reações pelas quais o carboidrato é formado a partir de  $\text{CO}_2$  nas plantas. Calvin e seus colegas expuseram culturas de *Chlorella*, uma alga verde unicelular, ao  $^{14}\text{CO}_2$  por 30 segundos e assim o  $\text{CO}_2$  pôde ser acompanhado. Foi nesse experimento que eles descobriram um ciclo, hoje denominado de Ciclo de Calvin, composto por várias reações, que "fixa" o  $\text{CO}_2$  em uma molécula maior, produz carboidrato e regenera o acceptor de  $\text{CO}_2$  inicial nas plantas.

Nesse contexto, assinale a alternativa que contém a enzima responsável pela primeira fase do ciclo onde ocorre a reação de fixação do  $\text{CO}_2$  nas plantas:

- A) ATP-sintase.
- B) Ribulose-1,5-bisfosfato.
- C) NADH desidrogenase.
- D) Rubisco.
- E) Catalase.

05. (PUC Minas) Observe o gráfico a seguir:



Sobre o gráfico anterior, foram feitas três afirmações:

- I. Em A, a taxa de fotossíntese é menor que a respiração.
- II. Em B, a quantidade de oxigênio produzida pela fotossíntese é igual à consumida pela respiração.
- III. Em C, a quantidade de glicose produzida pela fotossíntese é menor do que a consumida pela respiração.

São verdadeiras as afirmativas

- A) I e II, apenas.
- B) I e III, apenas.
- C) II e III, apenas.
- D) I, II e III.
- E) I, apenas.
06. (FUVEST-SP) Em determinada condição de luminosidade (ponto de compensação fótico), uma planta devolve para o ambiente, na forma de gás carbônico, a mesma quantidade de carbono que fixa, na forma de carboidrato, durante a fotossíntese. Se o ponto de compensação fótico é mantido por certo tempo, a planta
- A) morre rapidamente, pois não consegue o suprimento energético de que necessita.
- B) continua crescendo, pois mantém a capacidade de retirar água e alimento do solo.
- C) continua crescendo, pois mantém a capacidade de armazenar o alimento que sintetiza.
- D) continua viva, mas não cresce, pois consome todo o alimento que produz.
- E) continua viva, mas não cresce, pois perde a capacidade de retirar do solo os nutrientes de que necessita.

07. (UFJF-MG) Recentemente, um estudante de engenharia do Royal College of Art, na Inglaterra, desenvolveu uma folha artificial capaz de produzir e liberar oxigênio na atmosfera. Resumidamente, o experimento consistiu na criação de uma espécie de tecido composto por proteínas, onde foram fixados cloroplastos extraídos de plantas reais, sendo possível recriar em laboratório uma das etapas do processo da fotossíntese.

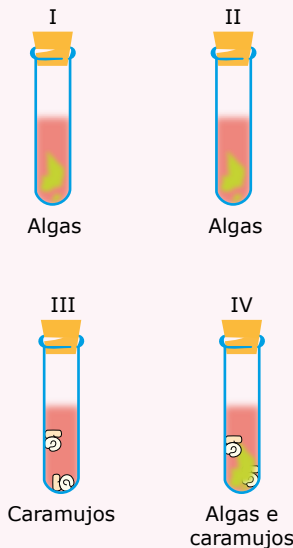
Considerando as informações apresentadas, é correto afirmar que



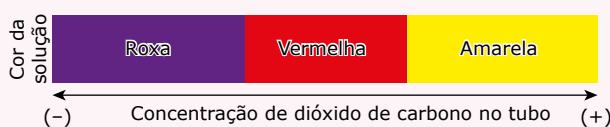
- A) a etapa da fotossíntese recriada em laboratório consiste no uso de energia luminosa para a quebra de moléculas de glicose e liberação de oxigênio.
- B) nas folhas naturais, a liberação de oxigênio decorrente do processo fotossintético é realizada através de estruturas chamadas hidatódios.
- C) a etapa da fotossíntese recriada em laboratório teria tido o mesmo sucesso se, ao invés de cloroplastos, tivessem sido fixadas mitocôndrias no tecido composto por proteínas.
- D) em condições naturais, o processo da fotossíntese recriado em laboratório é influenciado pela composição mineral do solo.
- E) a etapa da fotossíntese recriada em laboratório consiste no uso de energia luminosa para a quebra de moléculas de água e liberação de oxigênio.



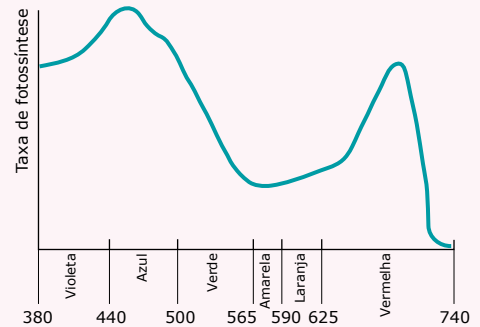
08. (UERJ) Em um experimento, os tubos I, II, III e IV, cujas aberturas estão totalmente vedadas, são iluminados por luzes de mesma potência, durante o mesmo intervalo de tempo, mas com cores diferentes. Além da mesma solução aquosa, cada tubo possui os seguintes conteúdos:



A solução aquosa presente nos quatro tubos tem, inicialmente, cor vermelha. Observe, na escala a seguir, a relação entre a cor da solução e a concentração de dióxido de carbono no tubo.



Os tubos I e III são iluminados por luz amarela, e os tubos II e IV por luz azul. Admita que a espécie de alga utilizada no experimento apresente um único pigmento fotossintetizante. O gráfico a seguir relaciona a taxa de fotossíntese desse pigmento em função dos comprimentos de onda da luz.



Comprimento de onda (nm).

Após o experimento, o tubo no qual a cor da solução se modificou mais rapidamente de vermelha para roxa é o representado pelo seguinte número:

- A) I.
- B) II.
- C) III.
- D) IV.

09. (UFTM-MG) Para determinada planta, o ponto de compensação fótico é atingido com intensidade luminosa de 1 000 lux, enquanto o ponto de saturação luminosa dá-se com 1 500 lux.

Essa planta foi encerrada por 4 horas no interior de um tubo de vidro e exposta, nas duas primeiras horas, a uma intensidade luminosa de 800 lux e, nas duas últimas horas, a uma intensidade luminosa de 1 700 lux.

Durante o período em que esteve iluminada, sensores registraram, a intervalos regulares, a concentração de CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> no interior do tubo.

Pode-se dizer que, no interior do tubo, durante as duas primeiras horas, a concentração de CO<sub>2</sub>

- A) diminuiu e a concentração de O<sub>2</sub> aumentou. Nas duas últimas horas, a concentração de CO<sub>2</sub> aumentou e a concentração de O<sub>2</sub> diminuiu.
- B) aumentou e a concentração de O<sub>2</sub> diminuiu. Nas duas últimas horas, a concentração de CO<sub>2</sub> diminuiu e a concentração de O<sub>2</sub> aumentou.
- C) e a concentração de O<sub>2</sub> diminuíram. Nas duas últimas horas, a concentração de CO<sub>2</sub> e a concentração de O<sub>2</sub> aumentaram.
- D) e a concentração de O<sub>2</sub> não se alteraram. Nas duas últimas horas, a concentração de CO<sub>2</sub> diminuiu e a concentração de O<sub>2</sub> aumentou.
- E) e a concentração de O<sub>2</sub> não se alteraram, o mesmo ocorrendo durante as duas últimas horas.

10.  
50PL



(Fatec-SP) Para que uma planta possa crescer e se desenvolver, ela precisa de compostos que contenham átomos de carbono, como qualquer outro ser vivo. À medida que a planta se desenvolve, ela incorpora esses compostos às raízes, às folhas e ao caule e há, conseqüentemente, um aumento de sua massa total. Em um experimento para verificar qual a origem do carbono presente nas estruturas dos vegetais, foram analisados dois grupos de plantas, todas da mesma espécie e com o mesmo tempo de vida. Essas plantas foram expostas a compostos contendo átomos de carbono radioativo, de modo que fosse possível verificar posteriormente se esses átomos estariam presentes nas plantas.

A tabela apresenta o modo como o experimento foi delineado, indicando as características da terra em que as plantas foram envasadas e da atmosfera à qual foram expostas ao longo do estudo.

	Grupo 1	Grupo 2
Quantidade de átomos de carbono radioativos presentes na <b>terra (compostos orgânicos)</b>	Elevada	Desprezível
Quantidade de átomos de carbono radioativos presentes na <b>atmosfera (gás carbônico)</b>	Desprezível	Elevada

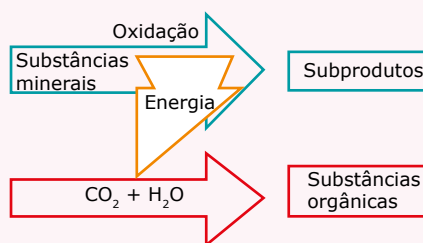
É esperado que após um tempo de crescimento dos dois grupos de plantas, nas condições descritas, seja encontrada uma quantidade de átomos de carbono radioativos

- A) maior nas plantas do grupo 1, pois essas plantas teriam absorvido, pelas raízes, os compostos orgânicos para realizar a fotossíntese.
- B) maior nas plantas do grupo 1, pois essas plantas teriam absorvido, pelas raízes, os compostos orgânicos para utilizá-los como alimento, incorporando-os diretamente em suas estruturas.
- C) equivalente nos dois grupos de plantas, pois o carbono incorporado nas estruturas das plantas pode ser obtido tanto a partir das substâncias absorvidas pelas raízes quanto daquelas absorvidas pelas folhas.
- D) maior nas plantas do grupo 2, pois essas plantas teriam absorvido, pelas folhas, o gás carbônico para realizar a fotossíntese.
- E) maior nas plantas do grupo 2, pois essas plantas teriam absorvido, pelas folhas, o gás carbônico para realizar a respiração.

11.  
0VPV



(Cesgranrio) O esquema a seguir representa um tipo de processo energético utilizado por alguns seres vivos na natureza. Esse processo é denominado

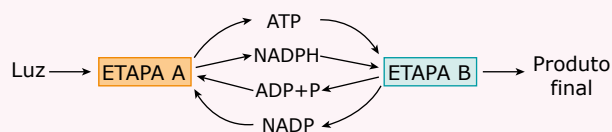


- A) fotossíntese.
- B) quimiossíntese.
- C) fermentação.
- D) respiração.
- E) putrefação.

12.  
Q188



(Albert Einstein) Analise o esquema a seguir, que se refere, de forma bem simplificada, ao processo de fotossíntese.

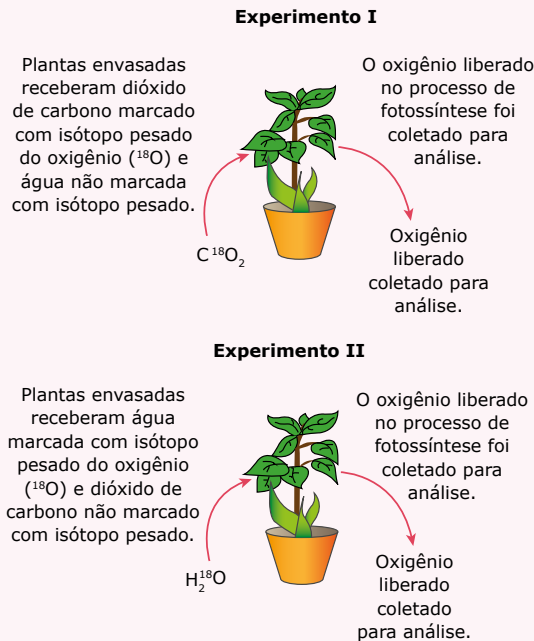


Suponha que uma cultura de algas verdes seja iluminada e receba gás carbônico com o isótopo C-14 e água com o isótopo O-18. Pode-se afirmar que

- A) o gás carbônico participa das etapas A e B e prever que ocorra produção de glicose com o isótopo C-14 nas duas etapas.
- B) o gás carbônico participa apenas da etapa A e prever que ocorra produção de glicose com o isótopo C-14 nesta etapa.
- C) a água participa das etapas A e B e prever que ocorra liberação de oxigênio com o isótopo O-18 nas duas etapas.
- D) a água participa apenas da etapa A e prever que ocorra liberação de oxigênio com o isótopo O-18 nesta etapa.

- 13.** (UNITAU-SP) A taxa de fotossíntese de uma planta pode aumentar ou diminuir em função de determinados fatores, agrupados em fatores limitantes intrínsecos e extrínsecos.
- A) Cite os fatores limitantes intrínsecos.
- B) Dentre os fatores limitantes extrínsecos, o aumento da concentração de dióxido de carbono no ar e o da intensidade luminosa acarretam a elevação da taxa de fotossíntese. Entretanto, essa elevação não se dá de maneira ilimitada. Explique por que isso ocorre.

- 14.** (Vunesp) Um pesquisador tinha uma importante pergunta sobre o processo de fotossíntese. Para respondê-la, elaborou dois experimentos, I e II, adotando os seguintes procedimentos:



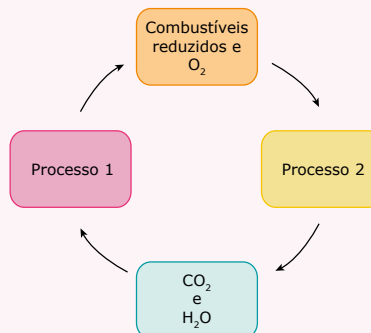
Considerando que os procedimentos adotados foram elaborados adequadamente e bem-sucedidos, responda:

- A) Ao elaborar esses experimentos, o que o pesquisador pretendia investigar?
- B) Em que experimento ele deve ter encontrado o isótopo  $^{18}\text{O}_2$  sendo liberado pelas plantas? Com base nesse resultado, a que conclusão o pesquisador deveria chegar?

## SEÇÃO ENEM



- 01.** (Enem-2018) As células e os organismos precisam realizar trabalho para permanecerem vivos e se reproduzirem. A energia metabólica necessária para a realização desse trabalho é oriunda da oxidação de combustíveis, gerados no ciclo do carbono, por meio de processos capazes de interconverter diferentes formas de energia.



NEULSON, D. L.; COX, M. M. *Lehninger*: princípios de bioquímica. São Paulo: Sarvier, 2002 (Adaptação).

Nesse ciclo, a formação de combustíveis está vinculada à conversão de energia

- A) térmica em cinética. D) cinética em eletromagnética.
- B) química em térmica. E) eletromagnética em química.
- C) eletroquímica em calor.



**02.** (Enem–2017) Pesquisadores conseguiram estimular a absorção de energia luminosa em plantas graças ao uso de nanotubos de carbono. Para isso, nanotubos de carbono “se inseriram” no interior dos cloroplastos por uma montagem espontânea, através das membranas dos cloroplastos. Pigmentos da planta absorvem as radiações luminosas, os elétrons são “excitados” e se deslocam no interior de membranas de cloroplastos, e a planta utiliza em seguida essa energia elétrica para a fabricação de açúcares. Os nanotubos de carbono podem absorver comprimentos de onda habitualmente não utilizados pelos cloroplastos, e os pesquisadores tiveram a ideia de utilizá-los como “antenas”, estimulando a conversão de energia solar pelos cloroplastos, com o aumento do transporte de elétrons.

NANOTUBOS de carbono incrementam a fotossíntese das plantas.  
Disponível em: <<http://lqes.iqm.unicamp.br/>>.  
Acesso em: 14 nov. 2014 (Adaptação).

O aumento da eficiência fotossintética ocorreu pelo fato de os nanotubos de carbono promoverem diretamente a

- A) utilização de água.
- B) absorção de fótons.
- C) formação de gás oxigênio.
- D) proliferação dos cloroplastos.
- E) captação de dióxido de carbono.

## SEÇÃO FUVEST / UNICAMP / UNESP



### GABARITO

Meu aproveitamento

#### Aprendizagem

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

- 01. C
- 02. C
- 03. A
- 04. D
- 05. E

#### Propostos

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

- 01. C
- 02. D
- 03. A
- 04. D
- 05. A
- 06. D
- 07. E
- 08. B
- 09. B
- 10. D
- 11. B
- 12. D

13.

- A) A disponibilidade de pigmento fotossintetizante, de enzimas e cloroplastos.
- B) Isso ocorre porque os sistemas enzimáticos e os sistemas de pigmentos também apresentam saturação. Assim, a partir de um certo ponto, a planta fica impossibilitada de captar carbono ou luz, mantendo constante a taxa de fotossíntese.

14.

- A) Os experimentos pretendiam investigar a origem do oxigênio (O<sub>2</sub>) liberado pela reação de fotossíntese realizada pelas plantas.
- B) Experimento II, concluindo, assim, que o oxigênio liberado pela reação de fotossíntese das plantas origina-se da água usada como reagente e não do CO<sub>2</sub> como se pensou durante muito tempo.

#### Seção Enem

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

- 01. E
- 02. B



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