

CLOROPLASTO E FOTOSSÍNTESE

CLOROPLASTOS

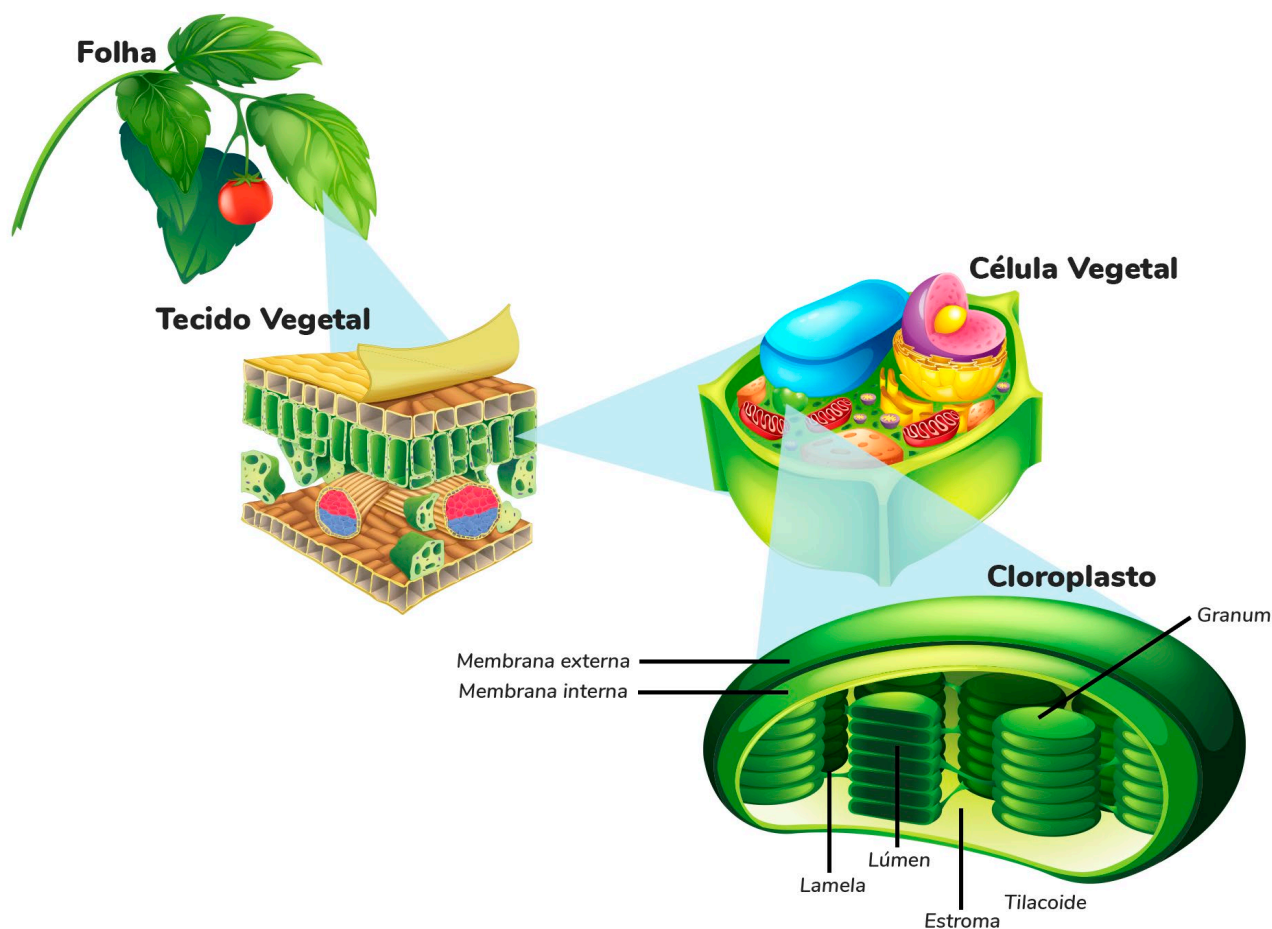
Os cloroplastos são um tipo de cromoplastos que contém pigmento chamado **clorofila**, que são capazes de absorver a energia luminosa e a converter em energia química, por um processo chamado fotossíntese.

Eles são delimitados externamente por duas membranas lipoproteicas; em seu interior há um complexo membranoso formado por bolsas discoidais achatadas e empilhadas, os tilacoides, onde se localizam as moléculas do pigmento.

As moléculas de clorofila dispõem-se de modo muito bem organizado nas membranas do

tilacoide, formando os chamados complexos de antena, altamente eficientes na captação de energia luminosa.

A membrana do tilacoide apresenta inúmeras dobras, formando tubos e bolsas achatadas, que geralmente se organizam em conjuntos de pilhas chamadas de grana. As cavidades internas dos grana estão em comunicação direta, constituindo um compartimento único, o lúmen do tilacoide. O espaço interno dos cloroplastos é preenchido por um fluido denominado estroma. Esta solução aquosa contém DNA, RNA, ribossomos e várias enzimas.



Estrutura do cloroplasto

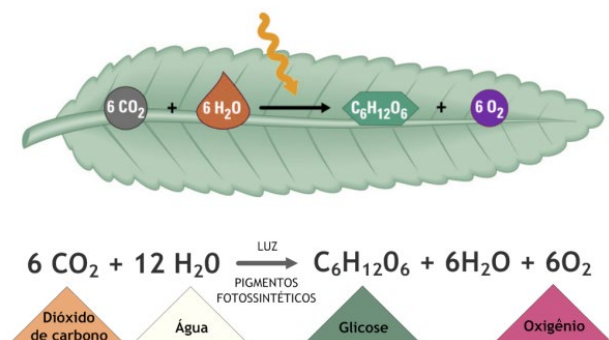


FOTOSSÍNTESE

O Sol é a fonte de toda energia da biosfera. A fotossíntese é o processo pelo qual a energia luminosa é captada e convertida em energia química.

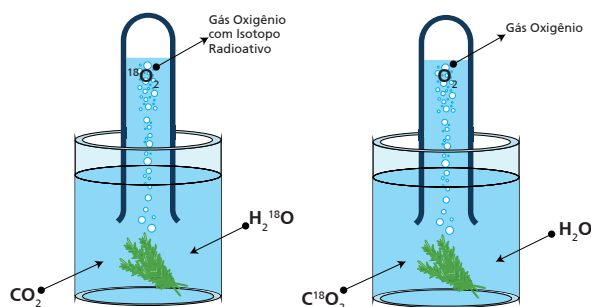
A fotossíntese pode ser realizada tanto por organismos procariontes, como por eucariontes. Mais da metade de toda a fotossíntese da biosfera ocorre nos seres unicelulares, particularmente nas algas, que formam o fitoplâncton.

Todos os seres fotossintetizantes, exceto algumas bactérias, utilizam a água como fonte de hidrogênio para produção de glicose. A equação geral para o processo é:



Esta equação indica que o organismo fotossintetizante utiliza o CO_2 (gás carbônico) e a H_2O (água), absorve energia luminosa por meio da clorofila (pigmento fotossintetizante) e produz glicose (açúcar) e O_2 (gás oxigênio).

Na fotossíntese dos vegetais e das algas, a água (H_2O) é a fonte de hidrogênio e do gás oxigênio; e na fotossíntese das bactérias, a fonte de hidrogênio é o H_2S (gás sulfídrico), mas neste caso não ocorre liberação de oxigênio, e sim de sulfeto (S_2), por isso essas bactérias são chamadas de sulfobactérias. Experimentos utilizando água (H_2O) e gás carbônico (CO_2), marcados com oxigênio isótopo 18 demonstram que a origem do gás oxigênio é a molécula de água e não o gás carbônico (CO_2).

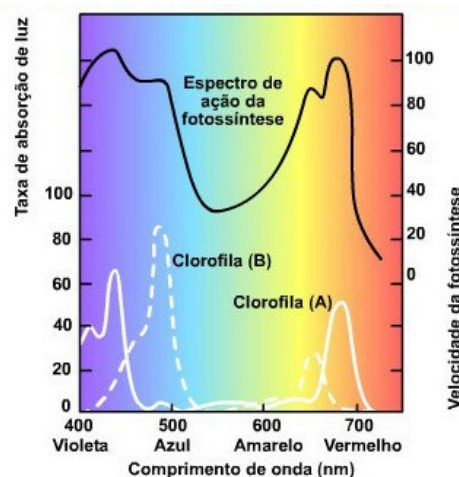


Experiência com planta aquática e isótopo radioativo. Com base no experimento acima, sabendo da origem do gás oxigênio a partir da molécula de água.

PIGMENTOS FOTOSSINTETIZANTES

Os pigmentos são substâncias que absorvem luz. A cor de um pigmento depende das faixas do espectro da luz visível que ele absorve ou reflete. A clorofila é verde; além das clorofilas, os carotenoides são pigmentos que absorvem luz em comprimentos de onda diferentes da clorofila. Estes pigmentos transferem energia luminosa para a clorofila. Além da clorofila e dos carotenoides, outros pigmentos podem também participar do processo de fotossíntese, como a xantofila (amarelo), a eritofila (vermelho) e outros.

O Espectro de Absorção de Luz pela Clorofila



As clorofilas "a" e "b" apresentam espectros diferentes da absorção de luz, sendo a absorção maior nas faixas do violeta-azul e alaranjado-vermelho e menor na faixa do verde.

FASE CLARA

A etapa fotoquímica também é chamada de fase clara da fotossíntese, uma vez que depende



da luz para que as reações ocorram. Nesta etapa, as moléculas de clorofila, iluminadas, perdem elétrons, pois estes absorvem a energia luminosa do sol. O destino dos elétrons perdidos e a ocupação dos “vazios” nas moléculas de clorofila obedecem a dois mecanismos:

A. Fotofosforilação Cíclica

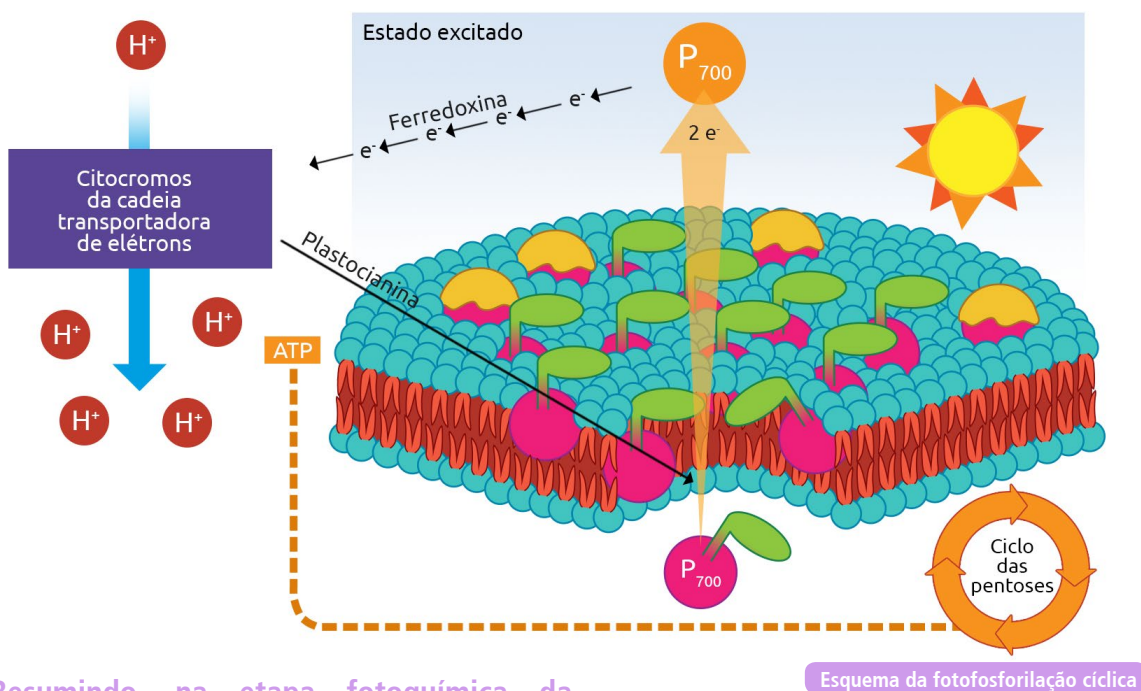
No chamado sistema de pigmento I, predomina a clorofila a. Esta, ao ser iluminada, perde um par de elétrons excitados (ricos em energia). O par de elétrons é recolhido por um aceptor, passando depois por uma cadeia de citocromos. Durante a passagem por esta cadeia, os elétrons perdem energia, que é usada para formar duas moléculas de ATP. Após a passagem pelos citocromos, o par de elétrons retorna à clorofila, ocupando o “vazio” que havia sido deixado.

B. Fotofosforilação Acíclica

Este processo utiliza o sistema de pigmento I, com predomínio da clorofila a, e o sistema de pigmento II, com predomínio da clorofila b.

A clorofila a, iluminada, perde um par de elétrons ativados, recolhidos por um receptor, a ferredoxina. Ao mesmo tempo, a clorofila b, iluminada, perde um par de elétrons que, após percorrer uma outra cadeia de citocromos, ocupa o “vazio” deixado na molécula da clorofila a. Durante a passagem dos elétrons pela cadeia de citocromos, duas moléculas de ATP são produzidas.

Dos produtos da fotólise da água, os elétrons irão ocupar o “vazio” na molécula da clorofila b, os prótons H^+ são recolhidos pela ferredoxina, que irá reduzir o NADP a $NADPH_2$, enquanto o oxigênio molecular é liberado.



Resumindo, na etapa fotoquímica da fotossíntese, ocorrem os seguintes eventos:

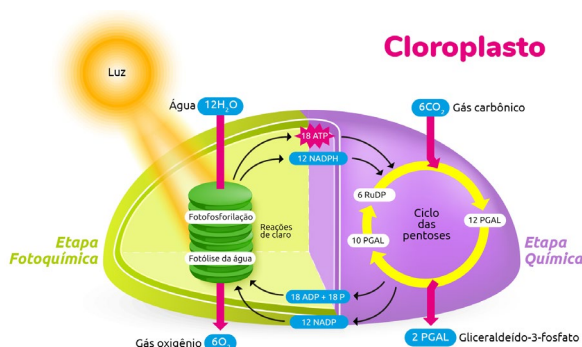
- A energia luminosa captada pela clorofila é transferida para aceptores de elétrons.
- Quebra da molécula de água com a energia luminosa absorvida pela clorofila (fotólise).
- Liberação do O_2 para a atmosfera proveniente da molécula de água.
- Captura dos H^+ liberados na fotólise da molécula de água e formação de $NADPH_2$.
- A energia liberada é convertida em energia química e fica armazenada nas moléculas de ATP.



FASE ESCURA

A etapa química também é conhecida por fase escura da fotossíntese, pois não é dependente da energia da luz. A energia necessária às reações de escuro provém das moléculas de ATP produzidas na fase de claro e do hidrogênio recolhidos pelo NADPH_2 . Pode, é claro, ocorrer na presença da luz. A energia assimilada na fase clara é empregada para incorporar átomos de carbono em moléculas orgânicas (como a glicose), produzindo substâncias mais apropriadas para o consumo, o armazenamento e o transporte.

A incorporação do carbono ocorre em uma sequência cíclica de reações, o ciclo de Calvin ou ciclo das pentoses. As reações da fase escura se processam no estroma dos cloroplastos.



Representação das reações na fase clara e escura da fotossíntese.

Ao longo da evolução dos vegetais terrestres, surgiram 3 comportamentos diferentes que os mesmos apresentaram em relação ao modo de fixação de carbono e à perda de água, um recurso importantíssimo. Esses 3 tipos de vegetais são chamados de C3, C4 e CAM.

PLANTAS C3

As plantas C3 recebem este nome por conta do ácido 3-fosfoglicérico formado após a fixação das moléculas de CO_2 . Estes vegetais compreendem a maioria das espécies terrestres, ocorrendo principalmente em regiões tropicais úmidas.

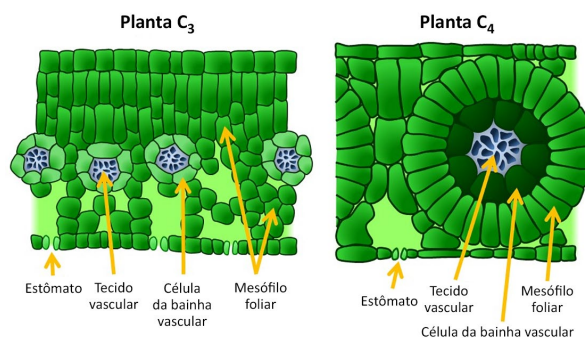
As taxas de fotossíntese das plantas C3 são elevadas à todo o momento, tendo em vista que a planta atinge as taxas máximas de fotossíntese (TMF) em intensidades de radiação solar relativamente baixas. É por isso que são consideradas espécies esbanjadoras de água. Ainda assim, este grupo vegetal é altamente produtivo, contribuindo significativamente para o equilíbrio da biodiversidade terrestre.

PLANTAS C4

As plantas C4 possuem grande afinidade com o CO_2 . Elas recebem este nome devido ao fato do ácido oxalacético possuir 4 moléculas de carbono, formado após o processo de fixação de carbono.

Devido à alta afinidade com o CO_2 , as plantas C4 apresentam uma grande vantagem em relação às plantas C3: elas podem sobreviver em ambientes áridos. Isto se dá porque as plantas C4 só atingem as taxas máximas de fotossíntese sob elevadas intensidades de radiação solar, fazendo com que fixem mais CO_2 por unidade de água perdida. Ou seja, elas são mais econômicas quanto ao uso da água, elas perdem menos água que as C3 durante a fixação e a fotossíntese.

As plantas C4 são também conhecidas como “plantas de sol” por ocorrerem em áreas muitas vezes sem sombra alguma. Elas também ocorrem em áreas áridas com menores quantidades de água disponível nos solos.



Corte transversais de uma folha da planta C3 e de uma C4.



PLANTAS CAM

As plantas CAM são ainda mais econômicas quanto ao uso da água do que as plantas C4. Elas ocorrem em áreas desérticas ou intensivamente secas. A abertura dos estômatos (estruturas que controlam a entrada e saída de gases nas plantas) durante a noite, evitam a grande perda de água, ao mesmo tempo em que o CO_2 é fixado, por meio do ácido málico. Durante o dia, os estômatos se fecham (não há grande perda de água) e o CO_2 fixado é então utilizado na realização da fotossíntese sob elevadas intensidades de radiação solar. São também “plantas de sol”, assim como as C4.

FATORES LIMITANTES DA FOTOSSÍNTESE

A intensidade com a qual uma célula executa a fotossíntese pode ser avaliada por certos parâmetros que, variando, fazem variar a intensidade do processo. São os fatores limitantes da fotossíntese. O “princípio de Blackman” afirma que “quando um processo metabólico é influenciado por vários fatores, que atuam isoladamente, a velocidade do processo é limitada pelo fator de menor intensidade”.

A. FATORES LIMITANTES INTERNOS – DIZEM RESPEITO À ESTRUTURA DA PLANTA:

1) Disponibilidade de pigmentos fotossintetizantes: como a clorofila é a responsável pela captação da energia luminosa, a sua falta restringe a intensidade da fotossíntese.

2) Disponibilidade de enzimas e de cofatores: todas as reações fotossintéticas envolvem a participação de enzimas ou de cofatores transportadores de elétrons, que devem existir em quantidade suficiente.

3) Os cloroplastos: são as organelas onde ocorrem as reações da fotossíntese. Quanto maior o número de cloroplastos, maior a eficiência do processo.

B. FATORES LIMITANTES EXTERNOS – DIZEM RESPEITO ÀS CONDIÇÕES DO AMBIENTE:

1) Concentração de CO_2 no ar: o dióxido de carbono é o substrato da etapa química da fotossíntese. Conforme aumenta a quantidade de gás carbônico disponível, aumenta a velocidade das reações. A elevação não é ilimitada, pois quando todo o sistema enzimático existente já tiver substrato (CO_2) suficiente para agir, a concentração de CO_2 deixa de ser fator limitante.

2) Temperatura: na etapa química, todas as reações são catalisadas por enzimas, e estas têm sua atividade influenciada pela temperatura. Em temperaturas elevadas, começa a ocorrer desnaturação enzimática e perda de atividade. Existe, portanto, uma temperatura ótima para o processo fotossintético, que não é a mesma para todos os vegetais.

3) Intensidade luminosa: uma planta no escuro não realiza fotossíntese. Aumentando a intensidade luminosa, a intensidade da fotossíntese aumenta até certo ponto. A intensidade luminosa deixa de ser o fator limitante quando a planta não tem como captar quantidade maior de luz. É o chamado ponto de saturação luminosa.

4) Comprimento de onda: nota-se excelente atividade fotossintética nas faixas do azul e do vermelho, e a pouca atividade na faixa do verde.

Quando estudamos os fatores limitantes da fotossíntese, fazendo a análise individual de como cada um deles interfere no processo, deixamos os outros em condições ideais.

C. PONTO DE COMPENSAÇÃO FÓTICO

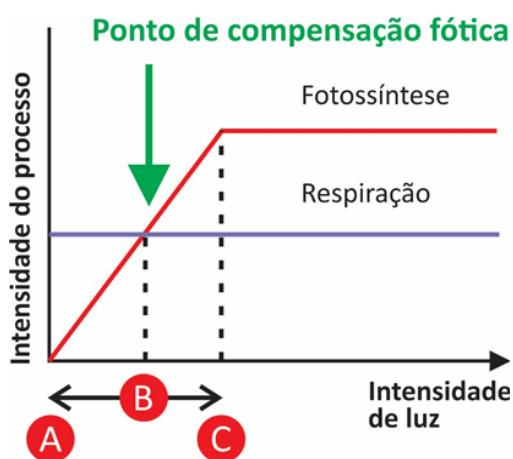
As células vegetais, assim como a enorme maioria das células vivas, realizam a respiração aeróbica, processo que absorve O_2 e elimina CO_2 . A intensidade desse processo não é influenciada pela luz, e a célula o realiza tanto no claro como no escuro.



Já a intensidade da fotossíntese é influenciada pela luz. Com respeito às trocas gasosas, a fotossíntese tem papel inverso ao da respiração, pois absorve CO_2 e elimina O_2 .

Desta forma, o Ponto de Compensação Fótico corresponde a intensidade luminosa onde a taxa respiratória tem a mesma intensidade da taxa fotossintética, ou seja, todo o oxigênio liberado na fotossíntese é consumido na respiração e todo gás carbônico liberado na respiração é consumido na fotossíntese. Neste ponto, o saldo energético da planta é igual a zero.

O gráfico abaixo ilustra o que foi dito:



Situação A: sob baixa luminosidade, a intensidade da fotossíntese é pequena, de tal forma que a intensidade da respiração é superior a ela. Nessa situação, a planta absorve O_2 e elimina CO_2 para o meio ambiente.

Situação B: corresponde à intensidade luminosa na qual a intensidade da fotossíntese é exatamente igual à da respiração celular. Portanto, o oxigênio liberado pela fotossíntese é consumido na respiração celular, e o CO_2 liberado na respiração celular é consumido na fotossíntese. Portanto, as trocas gasosas entre a planta e o ambiente são nulas. Esta intensidade luminosa é chamada Ponto de Compensação Luminoso ou Ponto de Compensação Fótico.

Situação C: sob intensa luminosidade, a fotossíntese predomina sobre a respiração. Assim, a planta absorve CO_2 e elimina O_2 para o ambiente. Como a produção de compostos orgânicos é superior ao consumo, nesta situação a planta cresce e incorpora matéria orgânica.

Existem dois momentos do dia em que a linha da fotossíntese coincide com a linha da respiração. Nestes horários, a quantidade de glicose produzida na fotossíntese é a mesma consumida na respiração, sendo assim também para o oxigênio e para o gás carbônico.

Estes dois momentos acontecem durante a madrugada e ao entardecer. Para que uma planta se mantenha viva, há necessidade da linha fotossintética estar acima da linha respiratória. Desse modo, a planta produz mais açúcar do que consome, tendo, portanto o alimento para os horários em que não há luz.



LEITURA COMPLEMENTAR

PLANTAS CARNÍVORAS FAZEM FOTOSSÍNTESE?

Plantas são capazes de produzir seu próprio alimento através da fotossíntese, e por isso são consideradas organismos autótrofos! Os organismos heterótrofos, como os animais, não tem esta capacidade e, por isso, precisam ingerir outros organismos para obter energia.

Mas e as plantas carnívoras? Elas são organismos autótrofos ou heterótrofos, afinal? Confira a resposta dessa pergunta no vídeo abaixo!



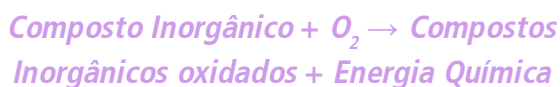
Assista o vídeo clicando no link: <https://goo.gl/18scUX>



QUIMIOSSÍNTESE

A quimiossíntese é uma reação que produz energia química, convertida da energia de ligação dos compostos inorgânicos oxidados. Sendo a energia química liberada, empregada na produção de compostos orgânicos e gás oxigênio (O_2), a partir da reação entre o dióxido de carbono (CO_2) e água molecular (H_2O), conforme demonstrado abaixo:

Primeira Etapa:



Segunda Etapa:



Esse processo autotrófico de síntese de compostos orgânicos ocorre na ausência de energia solar. É um recurso normalmente utilizado por algumas espécies de bactérias e arqueobactérias (bactérias com características primitivas ainda vigentes), recebendo a denominação segundo os compostos inorgânicos reagentes, podendo ser: ferrobactérias e nitrobactérias ou nitrificantes (nitrossomonas e nitrobacter, gênero de bactérias quimiossintetizantes).

As ferrobactérias oxidam substâncias à base de ferro para conseguirem energia química, já as nitrificantes, utilizam substâncias à base de nitrogênio.

BACTÉRIAS NITRIFICANTES

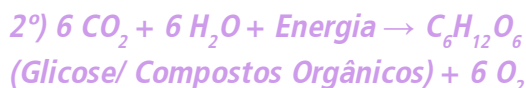
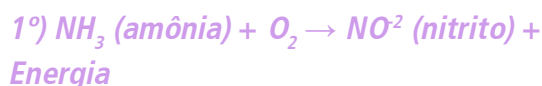
Presentes no solo, as nitrossomonas e nitrobacter, são importantes organismos considerados biofixadores de nitrogênio, geralmente encontradas livremente no solo ou associadas às plantas, formando nódulos radiculares.

A biofixação se inicia com a assimilação no nitrogênio atmosférico (N_2), transformando-o

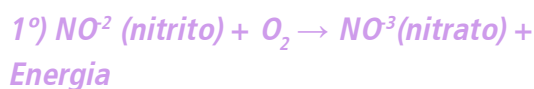
em amônia (NH_3), reagente oxidado pela nitrossomona, resultando em nitrito (NO^2) e energia para a produção de substâncias orgânicas sustentáveis a esse gênero de bactérias.

O nitrito, liberado no solo e absorvido pela nitrobacter, também passa por oxidação, gerando energia química destinada à produção de substâncias orgânicas a esse gênero e nitrato (NO^3), aproveitado pelas plantas na elaboração dos aminoácidos.

Reação Quimiossintética nas Nitrossomonas:



Reação Quimiossintética nas Nitrobacter:



Assim, podemos perceber que o mecanismo de quimiossíntese, extremamente importante para a sobrevivência das bactérias nitrificantes também é bastante relevante ao homem. Conforme já mencionado, o nitrito absorvido pelas plantas, convertidos em aminoácidos, servem como base de aminoácidos essenciais à nutrição do homem.

Dessa forma, fica evidente a interdependência existente entre os fatores bióticos (a diversidade dos organismos) e os fatores abióticos (aspectos físicos e químicos do meio ambiente).

O QUE SÃO CHAMINÉIS HIDROTERMAIS?

Ao longo do sistema vulcânico de cadeias mesoceânicas, a água do mar se infiltra pelas rachaduras da crosta até chegar a pontos extremamente quentes. Ela fica então



superaquecida, reage com as rochas e absorve diversas substâncias químicas. Fica também mais leve, sobe em direção ao leito oceânico e forma as chaminés hidrotermais — fontes hidrotermais ou gêiseres. “A força e o espetáculo que elas apresentam rivalizam com os de seus equivalentes em terra”, diz uma obra de referência.

Além disso, a temperatura dessas fontes encontradas no leito oceânico pode chegar a 400 °C — mais quente que chumbo derretido! Mas visto que está debaixo de quilômetros de oceano, o líquido superaquecido sofre uma pressão tão grande que não forma vapor. Surpreendentemente, a poucos milímetros desses jatos quentes, a temperatura ambiente do mar é, em geral, poucos graus acima do ponto de congelamento. A água das fontes esfria

rapidamente e os minerais que ela contém se depositam no leito oceânico, formando montes e chaminés. Estas podem atingir 9 metros de altura. De fato, descobriu-se uma chaminé com 45 metros de altura e uns 10 metros de diâmetro — e ela ainda está crescendo!

As chaminés hidrotermais podem morrer ou ressurgir de tempos em tempos, o que torna muito incerta a subsistência dos seres que vivem ao seu redor. Mas algumas criaturas sobrevivem migrando para outras chaminés.

Através da quimiossíntese, diversas bactérias conseguem sobreviver mesmo sem luz neste ambiente hostil e servem de base para a cadeia alimentar de todo um ecossistema das profundezas que ainda não é muito conhecido.



LEITURA COMPLEMENTAR

FOTOSSÍNTESE ARTIFICIAL PARA AMENIZAR O EFEITO ESTUFA

Pesquisadores dos Estados Unidos desenvolveram uma forma artificial de realizar a fotossíntese. A estrutura utilizada é capaz de captar o dióxido de carbono da atmosfera, e convertê-lo em energia solar.

Desde que começamos a estudar os conteúdos de botânica, aprendemos que as plantas são seres autótrofos, pois “produzem o seu próprio alimento” e nós, humanos e demais animais, somos seres heterótrofos, já que precisamos consumir alimentos de outras fontes, em busca de energia. A produção do próprio alimento, realizada pelas plantas, acontece através de uma reação química simples, a fotossíntese. “Grosseiramente falando”, o gás carbônico é captado da atmosfera, e com uma forcinha da água e da luz solar, é transformado em oxigênio e glicose. Essencial para a vida na Terra, pesquisadores neste ano parecem ter descoberto uma forma para, de forma artificial, realizar o processo

de fotossíntese e ainda amenizar os gases do efeito estufa.

Desenvolvida por pesquisadores da Universidade da Flórida Central, a estrutura responsável pela fotossíntese artificial é chamada de MOF, *metal-organic framework* (em português, estrutura metalorgânica). A MOF é toda feita de titânio, material capaz de absorver a luz visível, e assemelha-se a uma pequena cama de bronzamento artificial. Na estrutura, “antenas” captam a luz, e o dióxido de carbono (CO₂) é transformado em moléculas de formiato e formamida, tipos diferentes de combustível solar.





Após a realização da fotossíntese artificial, o ar tornou-se mais limpo e o excesso de energia

Fonte: Journal of Materials Chemistry A.



This image shows a full page of white paper with horizontal blue or grey ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page, typical of notebook paper. There are no margins, text, or other markings on the page.