

Sumário

Introdução	4
1. CICLOS BIOGEOQUÍMICOS	5
2. Ciclo Hidrológico ou da Água	5
3. Ciclo do Carbono	7
Artigo “O que é sequestro de carbono?”	9
4. Ciclo do Nitrogênio	11
5. Ciclo do Fósforo	13
6. Ciclo do Enxofre	14
Conclusão	16
Lista de Ilustrações	17
Referências Bibliográficas	18

Introdução

Os ciclos biogeoquímicos podem ser definidos como processos naturais que, por diversos meios, reciclam vários elementos em diferentes formas químicas do meio ambiente para os organismos e depois, fazem o processo inverso. Assim, a água, o carbono, o nitrogênio, o oxigênio, o enxofre, o fósforo, entre outros elementos, percorrem esses ciclos transformando o planeta Terra em um sistema dinâmico.

Todos os elementos químicos tendem a circular na biosfera em vias características, do ambiente aos organismos e destes, novamente, ao ambiente. Como os recursos na Terra são finitos e a vida depende do equilíbrio natural desse ciclo, esse processo de reciclagem da matéria é de suma importância. A interferência do homem nos ciclos biogeoquímicos acelera o movimento de muitos materiais e assim os ciclos tendem a se tornar imperfeitos.

O estudo desses ciclos se torna cada vez mais importante, com, por exemplo, para avaliar o impacto ambiental que um material potencialmente perigoso, possa vir causar no meio ambiente e nos seres vivos que dependem direta ou indiretamente desse meio para garantir a sua sobrevivência. É essencial a compreensão do funcionamento dos ciclos para um melhor monitoramento da poluição; estabelecimento de técnicas de manejo, tendo em vista das necessidades sustentáveis; determinação e controle da perda de fertilizantes; uso racional de recursos hídricos e minerais; controle do aumento de CO₂ na atmosfera. O objetivo deste trabalho é levar os estudantes de Engenharia Sanitária e Ambiental ao entendimento dos ciclos biogeoquímicos e às diversas formas de aplicação dessa pesquisa num contexto prático como alguns citados acima.

1. CICLOS BIOGEOQUÍMICOS

Um ciclo biogeoquímico pode ser entendido como sendo o movimento ou um ciclo de um elemento ou elementos químicos através da atmosfera, hidrosfera, litosfera e biosfera da Terra. Tais elementos são essenciais à vida e são incorporados aos organismos na forma de compostos orgânicos ou através de diversas reações químicas.

Os elementos essenciais quando disponíveis na forma molecular ou iônica recebem o nome de nutrientes, divididos em macronutrientes (participam com quantidades superiores a 0,2% do peso orgânico seco ou p.o.s.) e os micronutrientes (participam com quantidades inferiores a 0,2% do p.o.s.). Entre os principais macronutrientes, encontra-se o Hidrogênio, o Oxigênio, o Fósforo, o Nitrogênio entre outros. No grupo dos micronutrientes destacam-se o Alumínio, o Boro, o Zinco e o Cromo.

Analisar-se-á agora os principais ciclos biogeoquímicos.

2. Ciclo Hidrológico ou da Água

A água está em constante mudança de estado físico e há permanente troca dessa substância entre rios, lagos, mares, solos, atmosfera e seres vivos.

A água presente sob forma líquida na superfície terrestre sofre evaporação e passa para a atmosfera. Com o resfriamento nas camadas mais altas da atmosfera, os vapores d'água condensam-se, formam nuvens e depois voltam ao meio terrestre sob forma de chuva. Se houver resfriamento em excesso, ainda na atmosfera os vapores de água podem se condensar e sofrer solidificação, dando origem à neve ou ao gelo, que podem cair na superfície terrestre formando a nevada e o granizo, respectivamente.

Os seres vivos absorvem ou ingerem água, pois ela é fundamental para sua sobrevivência. Parte da água presente no corpo dos seres vivos retorna ao meio ambiente através da respiração, pela excreção e principalmente pela transpiração.

A água participa de vários processos dentro do corpo dos seres vivos. As raízes das plantas absorvem água do solo. Parte dela sobe às folhas e participa da fotossíntese, outra parte patê volta à atmosfera pela transpiração, processo importante não só para resfriar o corpo da planta, como também para a condução da seiva bruta até as folhas.

Nos animais terrestres, a água é obtida pela ingestão e retorna ao ambiente por meio da respiração, da excreção (urina e fezes) e, principalmente, da transpiração.

Ciclo da água

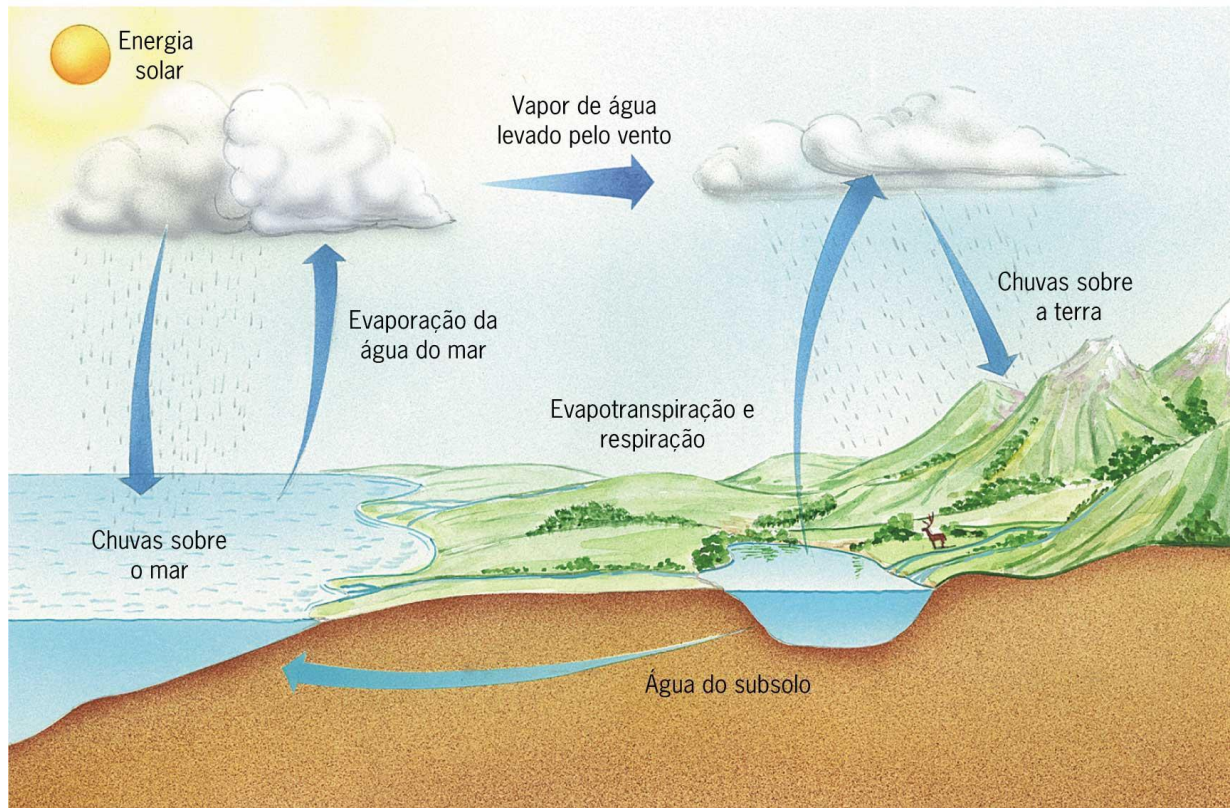


Figura 1.1. Ciclo da Água

(http://biologiacesaresezar.editorasaraiva.com.br/navitacontent_/userFiles/File/Biologia_Cesar_Sezar/Bio3_332.jpg)

Podemos resumir o ciclo hidrológico por meio dos seguintes processos:

- *Detenção*: parte da precipitação fica retida na vegetação, depressões do terreno e construções. Essa massa de água retorna à atmosfera pela ação da *evaporação* ou penetra no solo pela *infiltração*.
- *Escoamento Superficial*: constituído pela água que escoar pelo solo, fluindo para locais de altitudes inferiores, até atingir um corpo d'água como um rio, lago ou oceano. A água que compõe o escoamento superficial pode também sofrer infiltração para as camadas superiores do solo, ficar retida ou sofrer evaporação.
- *Infiltração*: a água infiltrada pode sofrer evaporação, ser utilizada pela vegetação, escoar ao longo da camada superior do solo ou alimentar o lençol de água subterrânea.
- *Escoamento Subterrâneo*: constituído por parte da água infiltrada na camada superior do solo, sendo bem mais lento que o escoamento superficial. Parte desse escoamento alimenta os rios e os lagos, além de ser responsável pela manutenção desses corpos durante épocas de estiagem.

- *Evapotranspiração:* parte da água existente no solo que é utilizada pela vegetação e é eliminada pelas folhas na forma de vapor.
- *Evaporação:* em qualquer das fases descritas anteriormente, a água pode voltar à atmosfera na forma de vapor, reiniciando o ciclo hidrológico.
- *Precipitação:* água que cai sobre o solo ou sobre um corpo d'água.

Nesse ciclo, o desmatamento e a impermeabilização do solo (devido à pavimentação) causados pelo homem, aceleram a evaporação e reduz a recarga dos lençóis freáticos. A partir disso, as enchentes nos cursos d'água que cortam centros urbanos aumentam e podem trazer efeitos catastróficos à população.

3. Ciclo do Carbono

O carbono é um elemento químico de grande importância para os seres vivos, pois participa da composição química de todos os componentes orgânicos e de uma grande parcela de inorgânicos também.

Na atmosfera, encontra-se na forma de dióxido de carbono (CO_2), um gás, que nas condições normais de temperatura e pressão, é inodoro e incolor. O ciclo do carbono é perfeito, pois o carbono é devolvido à mesma taxa que é sintetizado pelos produtores.

As plantas utilizam o CO_2 e o vapor d'água da atmosfera para, na presença de luz solar, sintetizar compostos orgânicos de carbono, hidrogênio e oxigênio, tais como a glicose.

Por meio da fotossíntese e da respiração, o carbono passa de sua fase inorgânica à fase orgânica e volta para a fase inorgânica, completando, assim, seu ciclo biogeoquímico. Fotossíntese e respiração são processos de reciclagem do carbono e do oxigênio em várias formas químicas em todos os ecossistemas.

As bactérias que realizam quimiossíntese fabricam suas substâncias orgânicas a partir do CO_2 . Os compostos orgânicos mais comumente formados são os açúcares (carboidratos), mas, além deles, as plantas são capazes de produzir proteínas, lipídeos e ceras em geral.

O carbono das plantas pode seguir três caminhos:

- pela respiração é devolvido na forma de CO_2 ;
- passa para os animais superiores através da cadeia alimentar;
- pela morte e decomposição dos vegetais, volta a ser CO_2 .

O carbono é adquirido pelos animais, de forma direta ou indireta, do reino vegetal durante sua alimentação. Assim, os animais herbívoros recebem dos vegetais os compostos orgânicos e, através de seu metabolismo são capazes de sintetizar e até transformá-los em

novos produtos. O mesmo ocorre com os animais carnívoros, que se alimentam dos herbívoros e assim sucessivamente. O carbono nos animais pode seguir, assim como as plantas, três caminhos:

- respiração é devolvido na forma de CO_2 ;
- passagem para outro animal, por meio da nutrição;
- pela morte e decomposição dos animais, volta a ser CO_2 .

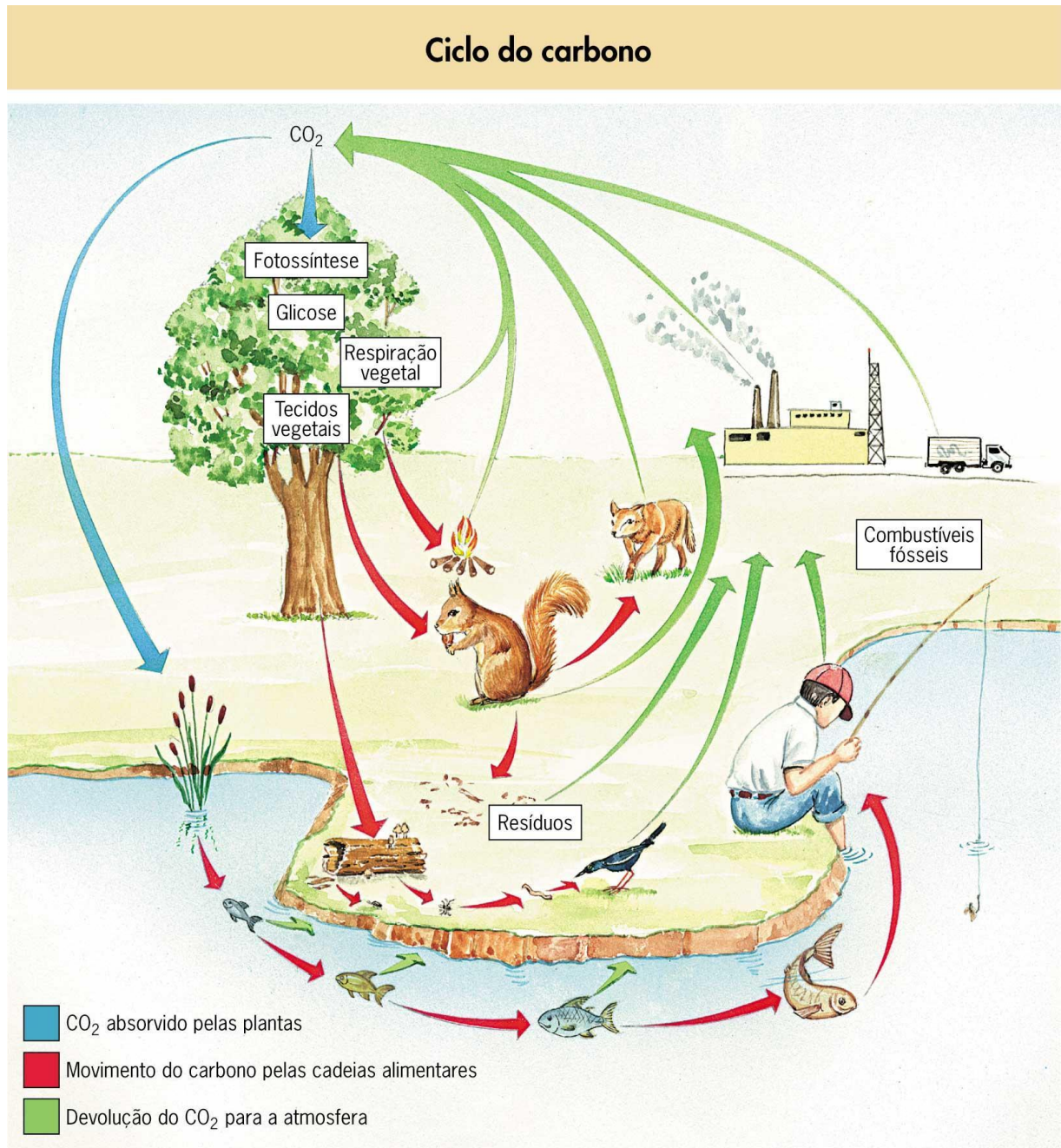


Figura 1.2 Ciclo do Carbono

(http://biologiacesaresezar.editorasaraiva.com.br/navitacontent/userFiles/File/Biologia_Cesar_Sezar/Bio3_333.jpg)

Outra forma do carbono retornar ao ambiente é através da combustão de combustíveis fósseis (gasolina, óleo diesel, gás natural). Além dessa, a queima de florestas é um outro meio de devolução. Vale ressaltar que estes mecanismos são prejudiciais ao meio ambiente, sendo a primeira um dos principais causadores do efeito estufa e a segunda além do efeito estufa, o desequilíbrio de ecossistemas regionais e até mesmo globais, uma vez que as florestas são essenciais para a manutenção da temperatura. Tendo em vista a preocupação ambiental crescente, surgiu uma idéia para ajudar o planeta. É uma forma de compensar as grandes queimas envolvendo liberação de carbono e, conseqüentemente, o aumento da temperatura global. Entenda do que se trata, no artigo abaixo extraído da revista Superinteressante, Dez/2007.

O que é seqüestro de carbono?

É a absorção de grandes quantidades de gás carbônico (CO_2) presentes na atmosfera. A forma mais comum de seqüestro de carbono é naturalmente realizada pelas florestas. Na fase de crescimento, as árvores demandam uma quantidade muito grande de carbono para se desenvolver e acabam tirando esse elemento do ar. Esse processo natural ajuda a diminuir consideravelmente a quantidade de CO_2 na atmosfera: cada hectare de floresta em desenvolvimento é capaz de absorver nada menos do que 150 a 200 toneladas de carbono.

É por essas e outras que o plantio de árvores é uma das prioridades para a diminuição de poluentes na atmosfera terrestre. “A recuperação de áreas plantadas, que foram degradadas durante décadas pelo homem, é uma das possibilidades mais efetivas para ajudar a combater o aquecimento global”, afirma Carlos Joly, do Instituto de Biologia da Unicamp.

Porém não é a única: já existem estudos avançados para realizar o que os cientistas chamam de seqüestro geológico de carbono. É uma forma de devolver o carbono para o subsolo. Os gases de exaustão produzidos pelas indústrias são separados através de um sistema de filtros que coletam o CO_2 . Esse gás é comprimido, transportado e depois injetado em um reservatório geológico apropriado – que podem ser campos de petróleo maduros (já explorados ou em fase final de exploração), aquíferos salinos (lençóis de água subterrânea com água salobra não aproveitável) ou camadas de carvão que foram encontradas no solo. (veja infográfico ao lado)

“Os reservatórios geológicos são altamente eficazes para aprisionar fluidos em profundidade. Do contrário, o forte terremoto que causou o tsunami na Ásia teria rompido diversos depósitos geológicos naturais. No entanto, nenhum campo de gás natural ou

petróleo vazou”, explica o geólogo José Marcelo Ketzer, coordenador do Centro de Excelência em Pesquisa sobre Armazenamento de Carbono (Cepac). Ketzer lembra ainda que os campos de petróleo ou gás natural guardaram esses fluidos por milhões de anos e que eles permaneceriam intactos se o homem não resolvesse trazê-los para a superfície.

O gás carbônico é separado no processo de exaustão das indústrias por meio de um sistema de filtros. Esse gás é comprimido e transportado até um local geológico. Ali, o gás é injetado em 3 tipos de reservatório: campos de petróleo maduros (já explorados ou em fase final de exploração), aquíferos salinos (lençóis de água subterrânea com água salobra não aproveitável) ou camadas de carvão.

1. Nas árvores

Em fase de crescimento, as árvores são verdadeiros aspiradores de CO₂ da atmosfera. O tronco de uma árvore é 80% composto de carbono, portanto não é de admirar que elas suguem, por hectare, 150 a 200 toneladas de CO₂ do ar. Uma árvore, sozinha, é capaz de absorver 180 quilos de CO₂.

2. Camadas de carvão

Assim como nos campos de petróleo, a injeção de carbono em reservas de carvão também pode ser lucrativa: o carvão retém o CO₂ e libera no processo o gás natural, que pode ser explorado e comercializado. Nos depósitos localizados em profundidades muito grandes, o gás carbônico pode ser armazenado.

3. Campos de petróleo

Os poços maduros, onde não há mais produção de petróleo e gás, podem se transformar em grandes depósitos de CO₂. Seria dar apenas mais um passo, uma vez que as petrolíferas já injetam o gás carbônico em campos maduros de petróleo para, por intermédio dessa pressão, aumentar o potencial de extração neles.

4. Aquíferos salinos

Nestes enormes mantos de água no subsolo, a água é tão salobra que não serve para o consumo. Dessa forma, eles seriam uma ótima alternativa para estocar carbono. Trata-se das formações com mais capacidade de armazenar CO₂: os especialistas estimam que os aquíferos possam reter até 10 mil gigatoneladas do gás.

4. Ciclo no Nitrogênio

O nitrogênio é um elemento químico que entra na constituição de duas importantíssimas classes de moléculas orgânicas: proteínas e ácidos nucleicos. Além disso, o nitrogênio é componente de um nucleotídeo essencial a todos os seres vivos da biosfera: o ATP. Embora esteja presente em grande quantidade no ar (cerca de 79%), na forma de N_2 , poucos seres vivos o assimilam nessa forma. Apenas alguns tipos de bactérias, principalmente cianobactérias, conseguem captar o N_2 , utilizando – o na síntese de moléculas orgânicas nitrogenadas.

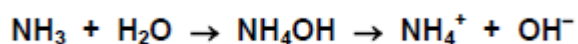
O nitrogênio utilizado pelos seres vivos é o combinado com o hidrogênio na forma de amônia (NH_3). A transformação do N_2 em NH_3 é chamada fixação. Fenômenos físicos, como os relâmpagos e faíscas elétricas, são processos fixadores de nitrogênio. A produção de amônia por esses fenômenos atmosféricos é pequeníssima, sendo praticamente inexistente em face às necessidades dos seres vivos. A fixação do nitrogênio por esses meios é chamada fixação física.

Outra forma de fixação de nitrogênio é fixação industrial, realizada por indústrias de fertilizantes, onde se consegue uma elevada taxa de fixação de nitrogênio.

A fixação do nitrogênio realizada pelas bactérias, algas azuis e fungos que vivem livres no solo ou associados às raízes das plantas é denominada de fixação biológica ou biofixação. Esses microorganismos, que vivem em nódulos nas raízes das plantas, estabelecem uma relação de mutualismo, ou seja, eles recebem proteção as plantas e em troca lhes fornecem um farto suprimento de nitrogênio aproveitável (NH_3).

A amônia pode ser produzida por dois tipos de biofixadores de vida livre: bactérias do gênero *Azobacter* (aeróbias) e *Clostridium* (anaeróbias).

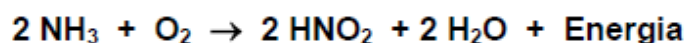
Quando os decompositores começam a atuar sobre a matéria orgânica nitrogenada (proteína de húmus, por exemplo), liberam diversos resíduos para o ambiente, entre eles a amônia (NH_3). Combinando-se com a água do solo, a amônia forma hidróxido de amônio que se ionizando produz o íon amônio (NH_4^+) e hidroxila. Esse processo é denominado de amonização:



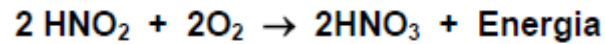
A oxidação dos íons amônio produz nitritos como resíduos nitrogenados, que por sua vez são liberados para o ambiente ou oxidados a nitrato. A conversão dos íons amônio em nitrito e nitrato é conhecida por nitrificação, que ocorre pela ação de bactérias nitrificantes.

O processo de nitrificação pode ser dividido em duas etapas:

a) Nitrosação: A amônia é transformada em nitrito



b) Nitração: ocorre a transformação de íon nitrito em íon nitrato



Os nitratos quando liberados para o solo, podem ser absorvidos e metabolizados pelas plantas. Assim, o ciclo do nitrogênio envolve três processos:

- Nitrosação: conversão de íons amônio em nitritos;
- Nitração: conversão de nitritos em nitratos;
- Nitrificação: conversão dos íons amônio em nitratos.

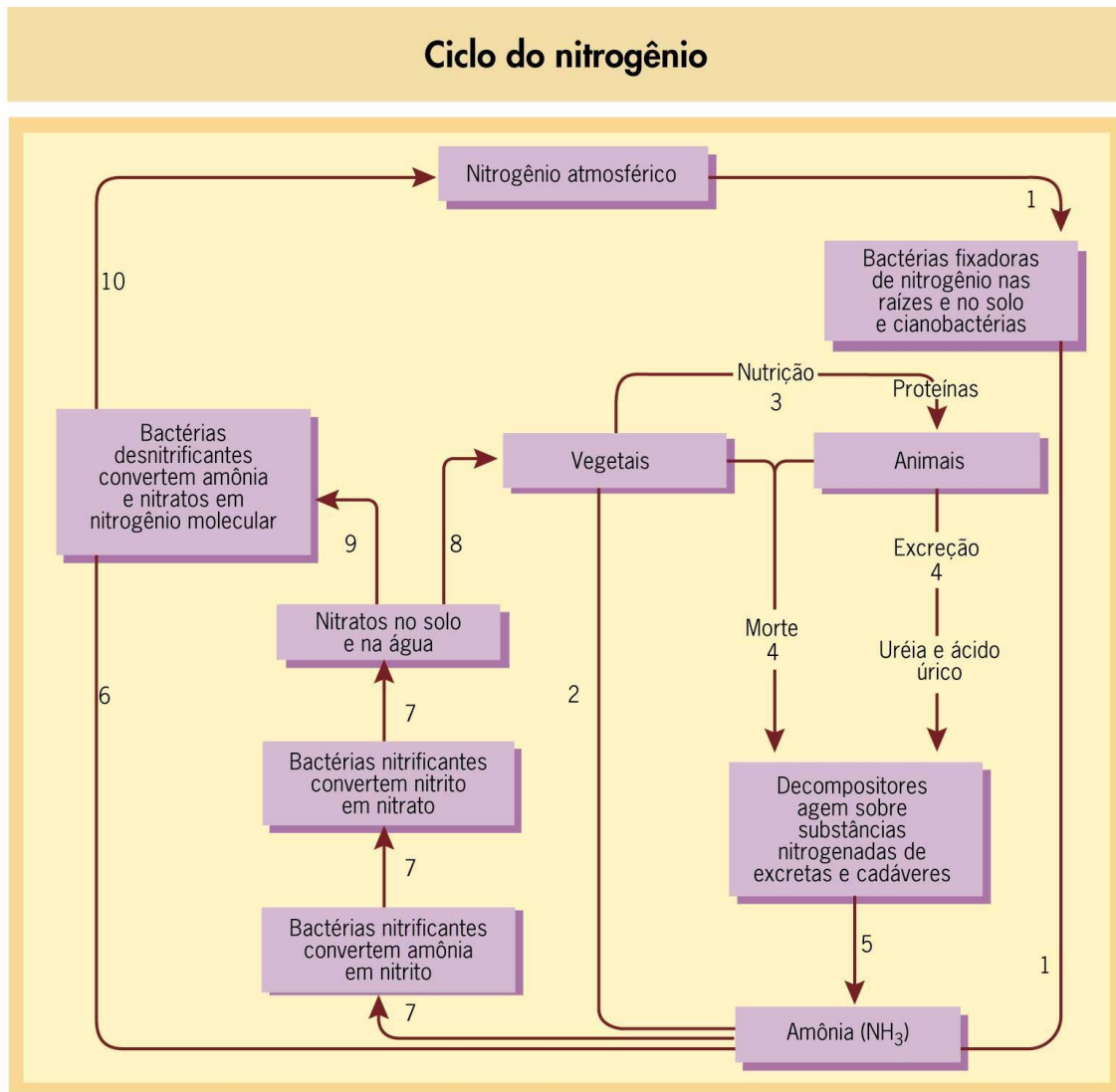


Figura 1.3 Ciclo do nitrogênio

(http://biologiacesaresezar.editorasaraiva.com.br/navitacontent_/userFiles/File/Biologia_Cesar_Sezar/Bio3_336.jpg)

O nitrogênio retorna ao ambiente pela excreção e, quando os organismos morrem, pelo processo de decomposição. As excretas nitrogenadas uréia e ácido úrico são transformadas em amônia por bactérias e fungos decompositores. Esses organismos também degradam as substâncias contidas no corpo de organismos mortos, transformando-

as em amônia. A amônia prossegue o ciclo sendo transformada em nitrito e nitrato pelas bactérias nitrificantes ou em nitrogênio (N_2) por bactérias desnitrificantes.

5. Ciclo do fósforo

O fósforo é um elemento químico que participa estruturalmente de moléculas fundamentais do metabolismo celular, como fosfolipídios, coenzimas e ácidos nucleicos. É um nutriente limitante do crescimento das plantas, principalmente no meio aquático.

Os grandes reservatórios de fósforo são as rochas e outros depósitos formados durante as eras geológicas. Esses reservatórios, devido ao intemperismo, pouco a pouco fornecem o fósforo para os ecossistemas, onde é absorvido pelos vegetais e posteriormente transferido aos animais superiores e, por consequência, ao Homem, pela cadeia alimentar.

O retorno do fósforo ao meio ocorre pela ação de bactérias fosfolizantes, atuando nas carcaças de animais mortos. O fósforo retorna ao meio na forma de composto solúvel, sendo, portanto facilmente carregado pela chuva para os lagos e rios e destes para os mares, de forma que o fundo do mar passa a ser um grande depósito de fósforo solúvel.

As aves marinhas, ao se alimentarem de peixes marinhos e excretarem em terra firme, trazem o fósforo de volta ao ambiente terrestre. Ilhas próximas ao Peru, cobertas de guano (excremento das aves), mostram o quanto as aves são importantes para a manutenção do ciclo.

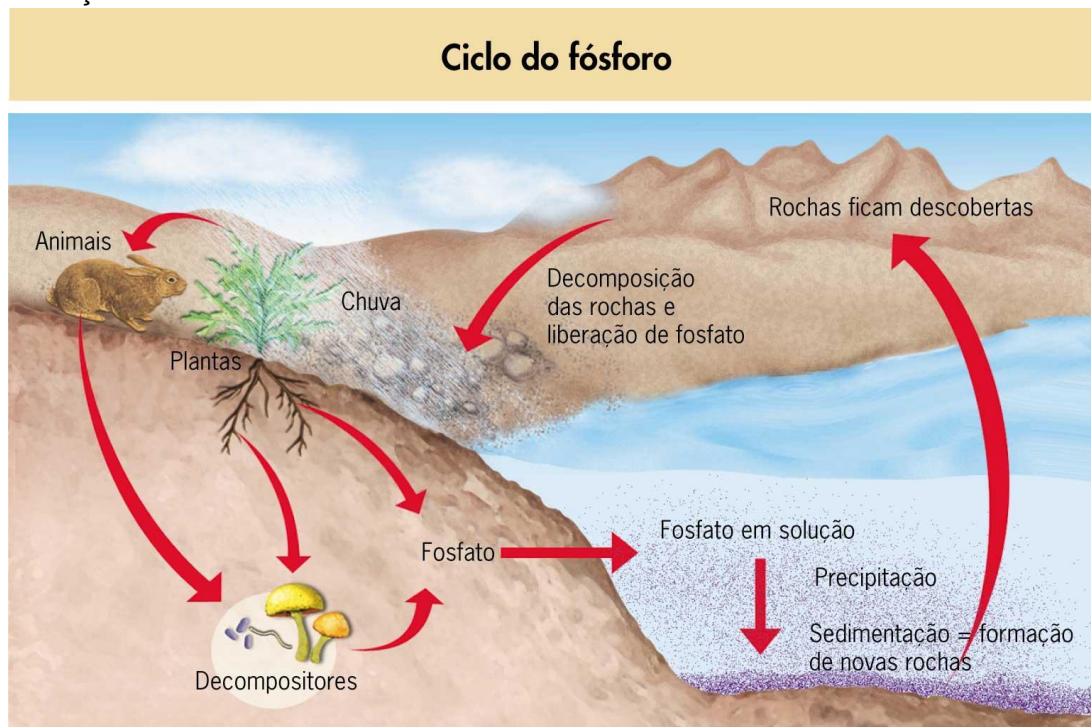


Figura 1.5 Ciclo do fósforo

6. Ciclo do Enxofre

O enxofre apresenta um ciclo basicamente sedimentar, embora possua uma fase gasosa, porém de pouca importância. A principal forma de assimilação do enxofre pelos seres produtores é como sulfato inorgânico. O processo biológico envolvido nesse ciclo compreende uma série de microorganismos com funções específicas de redução e oxidação.

A maior parte do enxofre que é assimilado é mineralizado em processo de decomposição. Entretanto, sob condições anaeróbias, ele é reduzido a sulfetos, entre os quais o sulfeto de hidrogênio (H_2S), composto letal à maioria dos seres vivos. Esse gás, tanto no solo como na água, sobe as camadas mais areadas onde então é oxidado, passando a forma de enxofre elementar, quando, mais oxidado, ele se transforma daí, em sulfato.

Sob condições anaeróbias e na presença de ferro, o enxofre precipita-se, formando sulfetos férricos e ferrosos. Esses compostos, por sua vez, permitem que o fósforo converta-se de insolúvel a solúvel, tornando-se assim utilizável.

A ação do homem também interfere nesse ciclo por meio de grandes quantidades de dióxido de enxofre liberadas nos processos de queima de carvão e óleo combustível em indústrias e usinas termelétricas. O dióxido de enxofre pode causar a chuva ácida e o smog industrial.

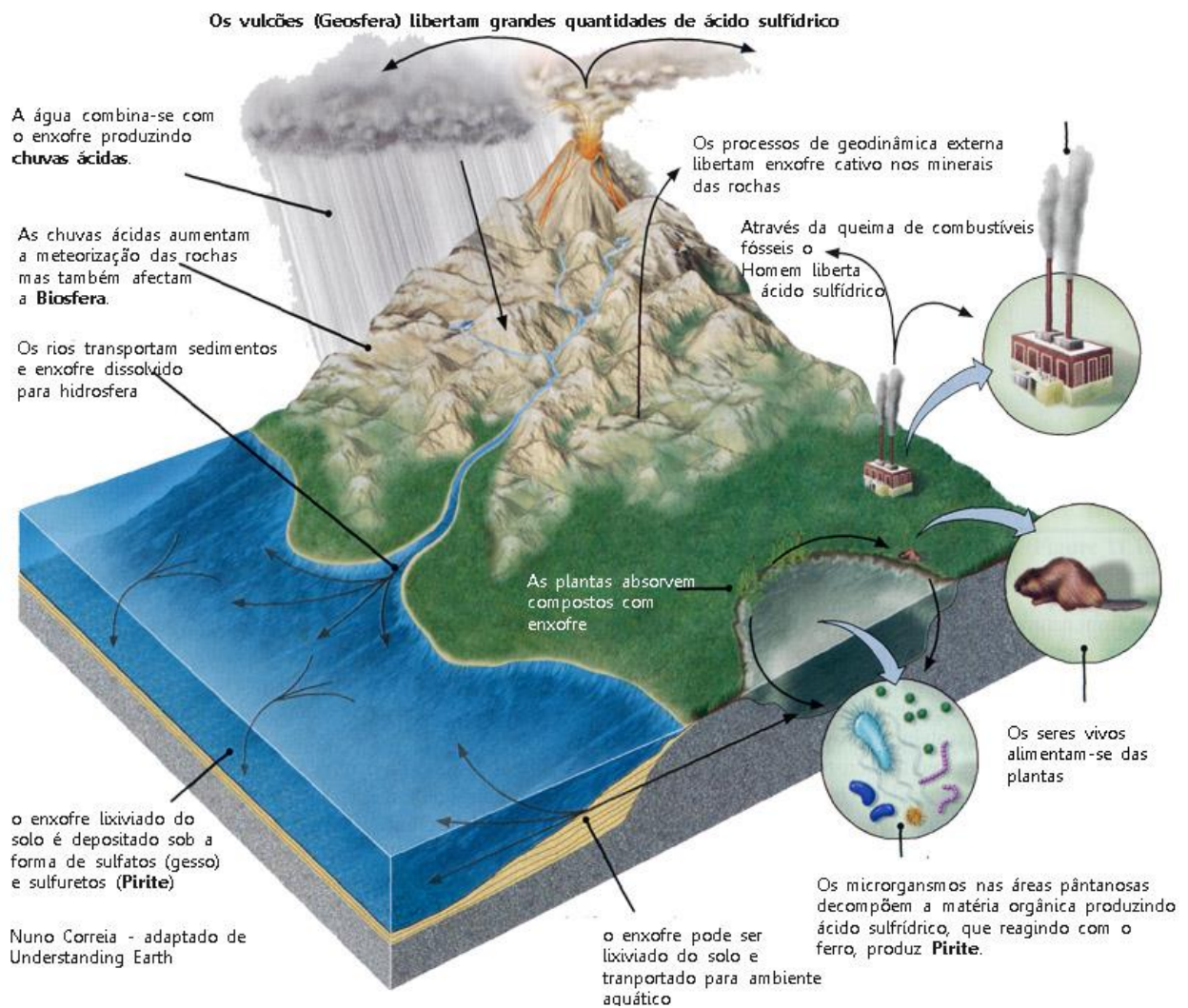


Figura 1.5 Ciclo do enxofre

(http://farm4.static.flickr.com/3349/3240465413_4db1f5b3a1_o.jpg)

Conclusão

Os ciclos biogeoquímicos são essenciais para a manutenção da vida na Terra, seja a vida humana, animal ou vegetal, uma vez que reciclam a matéria. Mas com a forte intervenção do homem nesses ciclos, muitos deles tendem a se tornar acíclicos, ou seja, podem acabar um dia. Portanto, estudar e conhecer o funcionamento dos ciclos biogeoquímicos é fundamental, pois assim ficará mais fácil entender que preservar o meio ambiente é a salvação para a humanidade.

Lista de Ilustrações

No corpo do trabalho:

Figura 1.1 Ciclo da Água	6
Figura 1.2 Ciclo do Carbono	8
Figura 1.3 Ciclo do Nitrogênio	12
Figura 1.4 Ciclo do Fósforo	13
Figura 1.5 Ciclo do Enxofre	15

Referências Bibliográficas

BRAGA, Benedito *et al.* **Introdução à Engenharia Ambiental**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

LOPES, Sônia; ROSSO, Sergio. **Biologia – Volume Único**. 1. ed. São Paulo: Saraiva, 2005

CARVALHO, Benjamim de Araujo; **Ecologia aplicada ao Saneamento Ambiental**. 1. ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental: Banco Nacional da Habitação: Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente, 2=1980

ROSA, Rogério da Silva *et al.* **Importância da compreensão dos ciclos biogeoquímicos para o desenvolvimento sustentável**. 56f. 2003. Monografia. Universidade de São Paulo.

Disponível em:

<http://www.iqsc.usp.br/iqsc/servidores/docentes/pessoal/mrezende/arquivos/EDUC-AMB-Ciclos-Biogeoquimicos.pdf>

TONON, Rafael. *O que é seqüestro de carbono?* **Superinteressante**, Editora Abril, Edição 247-15, p.38-39, Dezembro de 2007