

Biologia

PROFESSOR FLÁVIO LANDIM



CICLOS BIOGEOQUÍMICOS 2 - NITROGÊNIO, ÁGUA, FÓSFORO, ENXOFRE E CHUVAS ÁCIDAS

CICLO DO NITROGÊNIO

O **nitrogênio** é um importante formador de moléculas orgânicas tais como aminoácidos de proteínas, bases nitrogenadas de ácidos nucleicos, vitaminas etc. O maior reservatório de nitrogênio no planeta Terra é a própria atmosfera, constituída principalmente por gás nitrogênio (N_2 , correspondente a cerca de 78% da composição da atmosfera).

Como o gás nitrogênio é extremamente estável e não reativo, a maioria dos seres vivos, é incapaz de aproveitá-lo diretamente da atmosfera, de modo que deve ser inicialmente convertido em amônia para entrar nos ecossistemas.

1. FIXAÇÃO

A primeira etapa do ciclo do nitrogênio consiste na **redução do gás nitrogênio atmosférico (N_2) em amônia (NH_3)**, o que é denominado **fixação do nitrogênio**. Essa amônia pode se acumular na água na forma de **íons amônio (NH_4^+)**.



A **fixação biológica do nitrogênio** é realizada por **organismos fixadores**, obrigatoriamente **procariontes**, sendo eles algumas espécies de **cianobactérias** e algumas espécies de **bactérias**. O processo de fixação biológica do nitrogênio necessita, além do N_2 como substrato, de um agente redutor forte para transferir átomos de hidrogênio para o nitrogênio, e de muita energia na forma de ATP, normalmente provida pela respiração aeróbica. A reação é catalisada pela **enzima nitrogenase**. Como o sistema enzimático necessário ao processo de fixação necessita de **molibdênio**, a disponibilidade de tal elemento pode agir como fator limitante do processo.

ASSUNTOS DA AULA.

Clique no assunto desejado e seja direcionado para o tema.

- [Ciclo da água](#)
- [Ciclo do enxofre \(s\)](#)
- [Chuvas ácidas](#)
- [Ciclo do fósforo \(p\)](#)

Observação: O consumo energético no processo de fixação é tão elevado que limita a proliferação de organismos fixadores, uma vez que eles não conseguem competir com os organismos não fixadores em ambientes onde já há nitrogênio fixado. Assim, as populações de fixadores não conseguem aumentar o suficiente para fazer com que o nitrogênio deixe de ser um fator limitante ao desenvolvimento da maioria dos vegetais.

Os **organismos fixadores de nitrogênio** podem ser:

- **cianobactérias ou algas cianofíceas,** cujas colônias apresentam indivíduos especializados na fixação, conhecidos como **heterocistos,** como as representadas pelos gêneros *Nostoc* e *Anabaena*;
- **bactérias fixadoras,** das quais se distinguem dois grupos:

- **Bactérias de vidas livres,** que liberam a amônia produzida diretamente no solo, como as do gênero *Azotobacter*, por exemplo.

- **Bactérias mutualísticas** (gênero *Rhizobium*), que vivem em **nódulos em raízes de plantas leguminosas** (plantas cujas sementes estão em frutos denominados vagens, como soja e feijão), em associações conhecidas como bacteriorrizas. As *Rhizobium* recebem nutrientes orgânicos da planta leguminosa e fornecem a ela a amônia produzida, de modo que os vegetais prontamente a transformam em aminoácidos e outros compostos nitrogenados. As raízes das plantas leguminosas liberam substâncias químicas (flavonoides) que atraem as *Rhizobium* para a sua vizinhança. Em resposta, as bactérias secretam fatores que estimulam divisões celulares no córtex da raiz, levando à formação de um tecido denominado meristema nodular primário, que por sua vez envolve as bactérias e compõe os nódulos. No interior dos nódulos, as bactérias assumem formas denominadas bacteroides, e passam a receber oxigênio da planta através da proteína leg-hemoglobina (que tem ação semelhante à da hemoglobina animal).

Outra observação: A enzima nitrogenase é muito fortemente inibida pelo oxigênio, de modo que **alguns fixadores de nitrogênio são anaeróbicos.** As leguminosas respiram aerobicamente, bem como as **bactérias *Rhizobium*;** assim, no interior dos nódulos nas raízes, o oxigênio é mantido a um nível suficiente para manter a respiração, mas não tão alto a ponto de prejudicar a ação da nitrogenase.

As bactérias mutualísticas são muito mais eficientes do que as de vida livre, fixando quantidades bem maiores de nitrogênio. Em média, as bactérias de vida livre fixam cerca de 4 a 6 kg de nitrogênio por hectare por ano, enquanto as mutualísticas conseguem fixar cerca de 200 a 300 kg de nitrogênio por hectare por ano, ou seja, cerca de 50 vezes mais.

Aproveitando essa maior eficiência das bactérias mutualísticas, plantas leguminosas são usadas para fertilizar o solo e evitar o esgotamento de seus nutrientes através da técnica de **adubação verde,** que pode se dar de duas maneiras:

- **a rotação de culturas,** que alterna o cultivo de leguminosas, que permitem o acúmulo de compostos nitrogenados no solo, com não leguminosas, que levam ao seu esgotamento;
- **a plantação consorciada,** que emprega o cultivo simultâneo de leguminosas e não leguminosas.

O emprego de técnicas como a adubação verde em monocultura é muito útil para dispensar o uso de fertilizantes artificiais e evitar o esgotamento do solo.

Tome nota:

Mais outra observação: Outros exemplos de associações mutualísticas entre organismos fixadores e outros seres são as que ocorrem entre:

- **plantas angiospermas** como a **casuarina** e **bactérias fixadoras** conhecidas como **actinomicetos**, presentes em suas raízes formando bacteriorrizas;
- **samambaias aquáticas** do gênero **Azolla** e **cianobactérias**, que enriquecem cursos de água com nitrogênio, sendo extremamente útil à orizicultura, ou seja, cultivo de arroz em áreas encharcadas;
- **fungos e cianobactérias**, na forma de líquens;
- **vermes moluscos** conhecidos como **teredos e bactérias fixadoras**, no que é a única associação ecológica conhecida entre organismos fixadores e animais.

Além dos métodos biológicos de fixação do nitrogênio, existem **métodos não biológicos**, alguns deles naturais, através da ação de **raios** (descargas elétricas atmosféricas) sobre o gás nitrogênio atmosférico e através de **erupções vulcânicas**, e outros deles **artificiais**, como a fixação industrial de nitrogênio para a produção de fertilizantes agrícolas nitrogenados.

O desenvolvimento do **Método Haber-Bosch para fixação industrial de nitrogênio**, após a Segunda Guerra Mundial, permitiu um aumento na disponibilidade de nitrogênio para vegetais cultivados no mundo todo, aumentando a produção global de alimentos. Esse aumento na produção de alimentos a partir de meados do século XX, conhecido como **Revolução Verde**, se deveu a três avanços tecnológicos importantes:

- o desenvolvimento de **fertilizantes nitrogenados** devido ao método artificial para remover nitrogênio do ar e fixá-lo em compostos fertilizantes passíveis de serem usados por vegetais;
- o desenvolvimento de **sementes híbridas** altamente produtivas e altamente resistentes através de processos de **seleção artificial** (também chamado de **melhoramento genético**);
- o desenvolvimento de **pesticidas**, como os inseticidas como o DDT, que depois se mostrou muito agressivo ao meio ambiente e deixou de ser utilizado, sendo substituído por outros tipos de inseticidas de menor impacto ambiental.

2. NITRIFICAÇÃO

A amônia é um composto tóxico para várias formas de vida quando em grandes quantidades. Assim, o nitrogênio acumulado no solo sob a forma de amônia deve ser convertido em outros compostos para que permaneça no solo podendo ser utilizado por outros organismos sem riscos de intoxicação. A **nitrificação** é o processo que converte a amônia tóxica em nitratos capazes de serem utilizados sem maiores problemas pelos vegetais a partir do solo. Essa nitrificação envolve duas etapas:

2.1. Nitrosação: As bactérias nitrosas (representadas pelos gêneros *Nitrosomonas* e *Nitrosococcus*) oxidam a amônia (NH₃) a nitrito (NO₂⁻). Este é tóxico também, não devendo se acumular no solo.



2.2. Nitratação: As bactérias nítricas (representadas pelo gênero *Nitrobacter*) oxidam o nitrito a nitrato (NO₃⁻). O nitrato não é tóxico às plantas, podendo se acumular no solo e ser absorvido pelas raízes.



Tanto as bactérias nitrosas quanto as nítricas são chamadas de nitrobactérias, sendo organismos autótrofos quimiossintetizantes, ou seja, capazes de aproveitar a energia liberada na oxidação de amônia a nitrito e de nitrito a nitrato para a síntese de nutrientes orgânicos.

3. PRODUÇÃO DE COMPOSTOS ORGÂNICOS NITROGENADOS

As plantas utilizam os compostos nitrogenados absorvidos, na forma de amônia nas leguminosas e de nitratos nas demais espécies vegetais, e produzem **compostos orgânicos nitrogenados**, em particular **aminoácidos** em proteínas. Esses passam para consumidores através de relações alimentares.

4. AMONIZAÇÃO

Através do processo de excreção, os consumidores eliminam **excretas nitrogenadas** como a própria **amônia**, a **ureia** e o **ácido úrico** de volta para o meio. Além disso, quando produtores e consumidores morrem, os decompositores degradam a matéria orgânica nitrogenada. Tanto através de excretas nitrogenadas (ácido úrico e ureia) como de compostos nitrogenados em organismos mortos, os decompositores devolvem o nitrogênio ao meio na forma inorgânica de amônia, num processo denominado de **decomposição** ou **amonização**. A amônia volta para a nitrificação e então forma nitrato, que pode ser usado por alguma planta ou então passar para a desnitrificação.

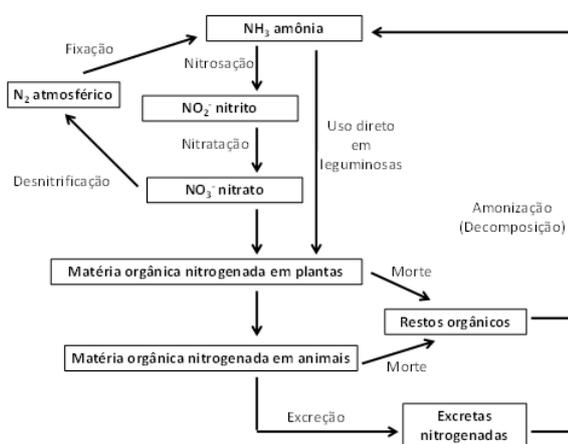
5. DESNITRIFICAÇÃO

Bactérias desnitrificantes (gênero *Pseudomonas*, como a *P. denitrificans* e a *P. aeruginosa*) vivem no solo e utilizam o **nitrato** (produzido a partir da amônia por bactérias nitrificantes) num processo de respiração anaeróbica particular delas, o que **devolve o gás nitrogênio (N₂)** de volta à atmosfera. Esse processo é a **desnitrificação**.



É bom lembrar que essas bactérias são **anaeróbicas facultativas**: se há oxigênio, elas fazem respiração, e se não há oxigênio, elas utilizam o nitrato na desnitrificação. Assim, o processo de desnitrificação ocorre em ambientes pouco oxigenados, sendo muito comum em pântanos e mangues.

RESUMO DO CICLO DO NITROGÊNIO



Efeitos da Poluição por Fertilizantes Agrícolas

Fertilizantes agrícolas (adubos) são utilizados em lavouras para fornecer nutrientes essenciais às plantas, estando entre os principais deles o **nitrogênio**, de forma que **nitratos (NO₃⁻)** estão comumente presentes nesses ferti-

zantes. No solo, os fertilizantes podem ainda ser drenados e contaminar lençóis freáticos, rios e mares.

- Se ingeridos por humanos, os **nitratos** se combinam de modo muito estável com o ferro da hemoglobina do sangue, formando um composto denominado **metaemoglobina**, que impede a ligação do oxigênio com o ferro da hemoglobina para formar **oxiemoglobina**, reduzindo a capacidade de transporte de oxigênio pelo sangue e levando à asfixia. Essa condição grave é conhecida como **metaemoglobinemia**, e tem comportamento semelhante ao do efeito da intoxicação por monóxido de carbono.

- Em grandes quantidades em ecossistemas aquáticos, os fertilizantes nitrogenados promovem **eutrofização**, ou seja, aumento na disponibilidade de nutrientes para microorganismos como as algas. Com esse aumento na quantidade de nutrientes inorgânicos, ocorre **proliferação das algas**, num fenômeno conhecido como **floração das águas**. O aumento na disponibilidade de nutrientes e o aumento na atividade de decomposição biológica aeróbica (em relação às algas que morrem) levam ao aumento no consumo de oxigênio na água (**aumento no débito biológico de oxigênio**), o que leva à **diminuição no teor de oxigênio** na mesma, com **morte de seres aeróbicos e proliferação de seres anaeróbicos**. Por exemplo, no Golfo do México, a intensa descarga de fertilizantes utilizados na agricultura norte-americana e drenados por seus rios até o mar tem gerado extensas **zonas mortas oceânicas** pela redução dos teores de oxigênio na água.

- Em excesso no solo, os fertilizantes liberam **óxidos de nitrogênio**, os quais podem causar **chuvas ácidas** e contribuir para o **aquecimento global**.

Efeitos da Poluição por Óxidos de Nitrogênio (NO_x)

Os **óxidos de nitrogênio** são encontrados naturalmente na atmosfera como resultado da ação de microorganismos nitrificantes, uma vez que nitritos e nitratos podem ser quimicamente decompostos, com liberação de gases como NO, NO₂ e N₂O. Partes desse nitrito e desse nitrato são incorporados ao solo, sendo, muitas vezes devolvidos ao meio ao longo de milhões de anos, normalmente pela movimentação de placas tectônicas. Assim, por serem componentes naturais da atmosfera, os óxidos de nitrogênio são considerados **poluentes quantitativos**, só agindo como poluentes quando em quantidades acima daquelas que ocorrem na natureza.

Entre ações antrópicas que podem levar ao aumento nos

teores atmosféricos de óxidos de nitrogênio estão a **queima de combustíveis fósseis** (que possuem compostos nitrogenados em sua composição) e o **uso excessivo de fertilizantes nitrogenados** (à base de nitratos).

Como efeitos nocivos relacionados aos óxidos de nitrogênio, pode-se citar a contribuição para o **aquecimento global** (uma vez que são gases de estufa), a **destruição da camada de ozônio** e a **formação de chuvas ácidas**, como mostrado nas reações a seguir entre eles e a água das chuvas.



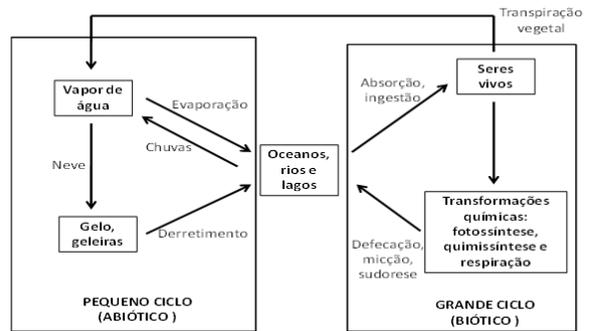
Além disso, o **óxido nítrico (N₂O)** é um importante **gás de efeito estufa**, contribuindo para o **aquecimento global**.

CICLO DA ÁGUA

A **água** é a substância química mais abundante na matéria viva, onde age como **meio para dissolução de substâncias, moderador de temperatura e reagente em reações químicas como a fotossíntese, a quimiossíntese e a hidrólise**.

A maior parte da água do planeta se encontra na **forma líquida**, acumulada em reservatórios como **oceanos, rios, lagos e lençóis freáticos**. Essa **água evapora** e volta à atmosfera, se acumulando na forma de **vapor de água**, que, diante de determinadas condições, se reúne em **núcleos de condensação de nuvens**. Essas nuvens levam à **precipitação da água na forma líquida de chuvas** ou **sólida de neve**, retornando aos reservatórios líquidos ou se acumulando em geleiras. O derretimento dessas geleiras leva a água de sólida de volta à **forma líquida**. Esta parte do ciclo da água aqui descrita não envolve seres vivos, sendo chamada de **pequeno ciclo da água**.

Os seres vivos interferem no ciclo da água. Assim eles ingerem água diretamente ou indiretamente através dos alimentos. E eliminam essa água de volta nas fezes, excretas e transpiração. Além disso, a água é utilizada pelos produtores nas **reações de síntese de matéria orgânica (fotossíntese e quimiossíntese)** ou em **reações de hidrólise**. Através de **reações de oxidação de matéria orgânica (respiração)** ou em **reações de síntese por desidratação**, a água volta a ser quimicamente produzida. Esta parte do ciclo que envolve seres vivos é chamada de **grande ciclo da água**.



IMPACTO DAS POPULAÇÕES HUMANAS SOBRE O CICLO DA ÁGUA

A população humana está hoje com quase 7 bilhões de habitantes, e o ritmo de crescimento populacional ainda está muito alto em várias partes do planeta. Esse aumento da população implica em maiores pressões sobre o ciclo da água, como o aumento da poluição e da sobre exploração dos recursos hídricos, com conseqüente diminuição na disponibilidade de água potável para a humanidade.

Apesar de a água doce ser um recurso renovável, o ciclo de renovação da água é lento demais para compensar as agressões, havendo um risco real de esgotamento das reservas de água potável.

Cerca de 97,5% da água do planeta é salgada, e, portanto, imprópria para o consumo, apesar da existência de **usinas dessalinizadoras** de água do mar, que trabalham por técnicas como a **osmose reversa**. Entretanto, o alto custo da técnica a torna economicamente inviável para muitas regiões.

Apenas cerca de 2,5% da água do planeta é doce, estando principalmente na forma de geleiras e lençóis freáticos que não podem ser utilizados, que representam até 99,7% do total dessa água doce. Assim, restam apenas 0,3% do volume de água doce na Terra na forma de rios, lagos e reservatórios subterrâneos que podem ser explorados pelo homem.

Não bastasse a pequena disponibilidade de água potável, este ainda é um recurso muito mal distribuído. Para se ter uma idéia, algo em torno de 1/3 da água potável do planeta está concentrada na América do Sul. Só o **Brasil** tem entre **10 e 12% do potencial hídrico do planeta**, possuindo as **duas maiores bacias hidrográficas do mundo, a Amazônica e a Platina**, bem como **os dois maiores aquíferos (reservatórios subterrâneos) de água doce, o SAGA (Sistema Aquífero da Grande Amazônia, antigamente chamado Alter do Chão), na região norte, e o Aquífero Guarani, que se espalha na região centro-sul do país e se estende ainda por Paraguai, Uruguai e Argentina**. Apesar disso, o nordeste brasileiro é uma região bastante árida, com problemas frequentes

de abastecimento de água.

Do total de água consumida pela humanidade, cerca de **10% se destinam ao consumo humano**, cerca de **20% se destinam à produção industrial** e a maior parcela, os **70% restantes, se destinam à atividade agrícola**.

A **redução no consumo de água**, especialmente do desperdício em perdas no transporte de água pouparia grande parte dos mananciais. Em relação à irrigação, a troca da técnica de **aspersão**, que envolve grandes perdas de água por evaporação, pela técnica do **gotejamento**, mais cara, porém levando a um menor consumo, seria extremamente benéfico.

A **água de reuso** já é realidade em algumas regiões, onde algumas construções recolhem a água utilizada em atividades pessoais como alimentação ou banho e a reutilizam em atividades que não exigem um tratamento tão minucioso da água, como a manutenção de jardins ou as descargas de vasos sanitários.

Usinas Hidrelétricas

O homem pode aproveitar o **ciclo da água** para a produção de **energia elétrica** através de **usinas hidrelétricas**. Essas são construídas aproveitando-se **desníveis naturais no relevo** por onde passam rios. Nas quedas de água, a **energia potencial gravitacional** da água é convertida em **energia cinética**, e essa energia cinética é convertida em **energia elétrica** pela usina. Na verdade, a energia elétrica em uma usina hidrelétrica é indiretamente proveniente do Sol: esse aquece a água dos mares, rios e lagos, que evapora e se eleva na atmosfera, precipitando na forma de chuvas no alto de montanhas, onde acumula a energia potencial gravitacional que será posteriormente convertida em energia cinética e daí em energia elétrica. Assim, a energia potencial gravitacional que é acumulada pela água é provida inicialmente pela energia do Sol que aquece a água.

Apesar de a energia elétrica produzida por usinas hidrelétricas não liberar resíduos tóxicos como gás carbônico, não se pode afirmar que o impacto ambiental trazido por elas é nulo.

O primeiro problema advindo de usinas hidrelétricas diz respeito a **alterações de relevo e inundações de grandes áreas para a construção de reservatórios**, que **deslocam populações humanas e inundam áreas florestais**. Muitos animais não conseguem ser resgatados antes da inundação, e com isso são mortos, **diminuindo a biodiversidade e a variabilidade genética das espécies sobreviventes na região**. Essas áreas florestais inundadas são decompostas, muitas vezes anaerobicamente, liberando gases como **gás carbônico e metano**, ambos **gases promotores de efeito estufa**.

Outro problema advindo da construção de usinas hidrelétricas está em **alterar a inclinação suave dos rios**, transformando-a em **inclinações abruptas nas paredes dos reservatórios**. Para os peixes que praticam a **piracema**, ou seja, que sobem os rios, contra a corrente, para desovar nas nascentes de águas ricas em oxigênio, a subida pelas paredes dos reservatórios (barragens) se torna impossibilitada, impedindo a conclusão de seu ciclo reprodutivo. A construção de **escadas para peixes** que desviam das paredes dos reservatórios, caminhos alternativos para a subida dos rios por peixes de piracema, pode aliviar esse problema ambiental.

CICLO DO ENXOFRE (S)

O **enxofre** é encontrado em algumas moléculas orgânicas, como **alguns aminoácidos (cisteína e metionina)**, sendo fundamental às **proteínas**, e **algumas vitaminas** (como a **vitamina B5** que origina a famosíssima **coenzima A da respiração celular**).

O **principal reservatório de enxofre na natureza é o solo**, onde se encontra em combinações de **sais de sulfato, sulfetos e minério**. Com a erosão, o enxofre fica **dissolvido na água do solo** e assume a forma iônica de **sulfato (SO_4^{2-})**; sendo assim, facilmente absorvido pelas raízes dos vegetais. Nas proximidades de **vulcões**, o enxofre é encontrado na sua forma original, razão pela qual há muitas unidades de exploração nestas regiões.

Há um reservatório menor na atmosfera, na forma de **gases de enxofre**, como os **óxidos de enxofre (SO_x)**. A maior parte do enxofre atmosférico está na forma de o **SO_2 (dióxido de enxofre)**, havendo uma proporção menor de **SO_3 (anidrido sulfúrico)** e **H_2S (gás sulfídrico)**, característico pelo seu cheiro de “ovo podre” e de vida curta na atmosfera, sendo logo transformado em SO_2 . Esses óxidos de enxofre (SO_2 e SO_3) reagem com a água das chuvas, formando ácido sulfúrico, que se incorpora ao solo na forma de íons de sulfato (SO_4^{2-}).

Assim, o ciclo do enxofre ocorre com descrito a seguir:

1. Organismos como os **vegetais** absorvem **compostos inorgânicos de enxofre** como, os **sulfatos**;
2. Os vegetais utilizam o **enxofre** para a produção de **compostos orgânicos sulfurados**, como **aminoácidos**;
3. Os compostos orgânicos sulfurados são transferidos dos vegetais para os demais elos das teias alimentares por **relações alimentares**;
4. O único retorno natural do enxofre para a atmosfera é através de **microorganismos** que decompõem os compostos orgânicos sulfurados encontrados nos restos de animais e plantas, gerando **sulfeto de hidrogênio (H₂S ou gás sulfídrico)**, que logo é convertido em **SO₂** na atmosfera.

Um outro processo dentro do ciclo do enxofre é a ação das **sulfobactérias** (*Sulfobacter*), que oxidam o sulfeto de hidrogênio a sulfatos, como uma forma de obtenção de energia para a quimiossíntese.

Apesar de a atividade vulcânica liberar enxofre na atmosfera, sua responsabilidade no acúmulo de óxidos de enxofre atmosféricos é pouco significativa quando comparada com as atividades antrópicas de **queima de combustíveis fósseis**. Esses possuem enxofre em sua composição (3% no carvão e 0,05% no petróleo), liberando SO₂ e SO₃ em sua combustão, o que em áreas industriais é responsável por 80% da poluição por enxofre. Ambos são, nessas condições, **fortemente irritantes para os olhos e pulmões**, além de contribuir para a formação do **smog**, mistura de fumaça (*smoke*, no inglês) com neblina (*fog*), altamente tóxico, que surge durante as inversões térmicas. Os óxidos de enxofre também contribuem fortemente para o surgimento de chuvas ácidas.

CHUVAS ÁCIDAS

A **água da chuva** já é naturalmente **ácida**, com **pH na faixa de 5,5**. Isso ocorre porque o **gás carbônico** atmosférico reage com a água da chuva formando o **ácido carbônico**.



Chuvas ácidas são caracterizadas como tendo **pH inferior a 5,5**, e essa intensificação na acidez pode ocorrer devido a **excessos de gás carbônico atmosférico** (como ocorre em áreas florestais queimadas e áreas industriais com intenso uso de combustíveis fósseis) e pela presença de **outros gases**, como **óxidos de enxofre** (SO₂ e SO₃, liberados principalmente pela queima de combustíveis fósseis como carvão mineral e através de atividade vulcânicas) e de **óxidos de nitrogênio** (NO, NO₂ e N₂O, liberados pelo uso excessivo de fertilizantes nitrogenados no solo ou pela queima de combustíveis fósseis).



E



Alguns efeitos nocivos da chuva ácida são:

- **abaixamento do pH de lagos e rios**, levando à morte do plâncton e de peixes;
- **destruição de folhas de árvores**, prejudicando a fotossíntese;
- **abaixamento do pH do solo**, dificultando às raízes das plantas a absorção de nutrientes como o ferro;
- **corrosão de mármore e metal**, destruindo fachadas de prédios, estátuas, pinturas de carros etc.

CICLO DO FÓSFORO (P)

O **fósforo** é encontrado em várias moléculas orgânicas, como os **nucleotídeos** formadores dos **ácidos nucleicos**, as moléculas energéticas de **ATP** e os **fosfolípidios** de membrana. Além disso, em sua forma inorgânica, o fosfato entra na formação de estruturas como **ossos** e **dentes** em vertebrados, uma vez que seu principal componente mineral são os **fosfatos de cálcio** (conhecidos como **apatita**).

O ciclo do fósforo é mais simples do que os ciclos do carbono e do nitrogênio, pois não existem muitos compostos gasosos de fósforo e, portanto, **não há passagem pela atmosfera**. O principal reservatório de fósforo na natureza é o solo, onde ele se encontra incorporado a rochas principalmente com fosfato de cálcio. Outra razão para a simplicidade do ciclo do fósforo é a existência de apenas um composto de fósforo realmente importante para os seres vivos, que são os íons fosfato.

Os organismos vegetais obtêm fósforo do ambiente absorvendo os fosfatos dissolvidos na água e no solo, podendo produzir compostos orgânicos fosforados (onde o fosfato é denominado fosfato orgânico). Os demais elos da teia alimentar obtêm fósforo através da água (na forma inorgânica) e no alimento (na forma orgânica). Os compostos orgânicos contendo fosfato podem ser decompostos na respiração celular, libertando fosfato inorgânico na urina ou noutras excreções. Os decompositores agem sobre os restos orgânicos de cadáveres, também liberando fosfato inorgânico no meio.

Parte do fósforo proveniente da decomposição é absorvida novamente pelos vegetais, reiniciando o ciclo de forma rápida, em uma escala de tempo relativamente curta, que podemos chamar “ciclo de tempo ecológico”. Outra parte desse fósforo é arrastada pelas chuvas para os lagos e mares, onde acaba se incorporando às rochas. Nesse caso, o fósforo só retornará aos ecossistemas bem mais tarde, quando essas rochas se elevarem em consequência de processos geológicos e, na superfície, forem decompostas e transformadas em solo, o que envolve uma escala de tempo muito mais longa, que pode ser chamada “ciclo de tempo geológico”.

A maioria dos ciclos biogeoquímicos se caracteriza como **ciclos atmosféricos**, nos quais há uma forma gasosa do elemento, com conseqüente passagem pela atmosfera. Ciclos como o do fósforo, o do cálcio e o do magnésio se caracterizam como **ciclos sedimentares**, nos quais não há uma forma gasosa do elemento, não havendo passagem pela atmosfera.

Tome nota: