

**CURSO: “QUALIDADE DAS  
ÁGUAS E POLUIÇÃO:  
ASPECTOS FÍSICO-QUÍMICOS”**

**AULA 11**  
**NUTRIENTES: COMPOSTOS DE NITROGÊNIO E  
FÓSFORO EM ÁGUAS**

Prof. Dr. Roque Passos Piveli

## **AULA 11 – NUTRIENTES: COMPOSTOS DE NITROGÊNIO E FÓSFORO EM ÁGUAS**

### **1. Compostos de nitrogênio em Águas**

#### **1.1. Fontes de nitrogênio nas águas naturais**

São diversas as fontes de nitrogênio nas águas naturais. Os esgotos sanitários constituem em geral a principal fonte, lançando nas águas nitrogênio orgânico devido à presença de proteínas e nitrogênio amoniacal, devido à hidrólise sofrida pela uréia na água. Alguns efluentes industriais também concorrem para as descargas de nitrogênio orgânico e amoniacal nas águas, como algumas indústrias químicas, petroquímicas, siderúrgicas, farmacêuticas, de conservas alimentícias, matadouros, frigoríficos e curtumes. A atmosfera é outra fonte importante devido a diversos mecanismos: fixação biológica desempenhada por bactérias e algas, que incorporam o nitrogênio atmosférico em seus tecidos, contribuindo para a presença de nitrogênio orgânico nas águas; a fixação química, reação que depende da presença de luz, concorre para as presenças de amônia e nitratos nas águas; as lavagens da atmosfera poluída pelas águas pluviais concorrem para as presenças de partículas contendo nitrogênio orgânico, bem como para a dissolução de amônia e nitratos. Nas áreas agrícolas, o escoamento das águas pluviais pelos solos fertilizados também contribui para a presença de diversas formas de nitrogênio. Também nas áreas urbanas, as drenagens de águas pluviais associadas às deficiências do sistema de limpeza pública, constituem fonte difusa de difícil caracterização.

#### **1.2. Ciclo do nitrogênio na natureza**

Para que melhor se compreenda as transformações que o nitrogênio sofre nas águas é necessário conhecer o seu ciclo na natureza, ilustrado na figura 1:

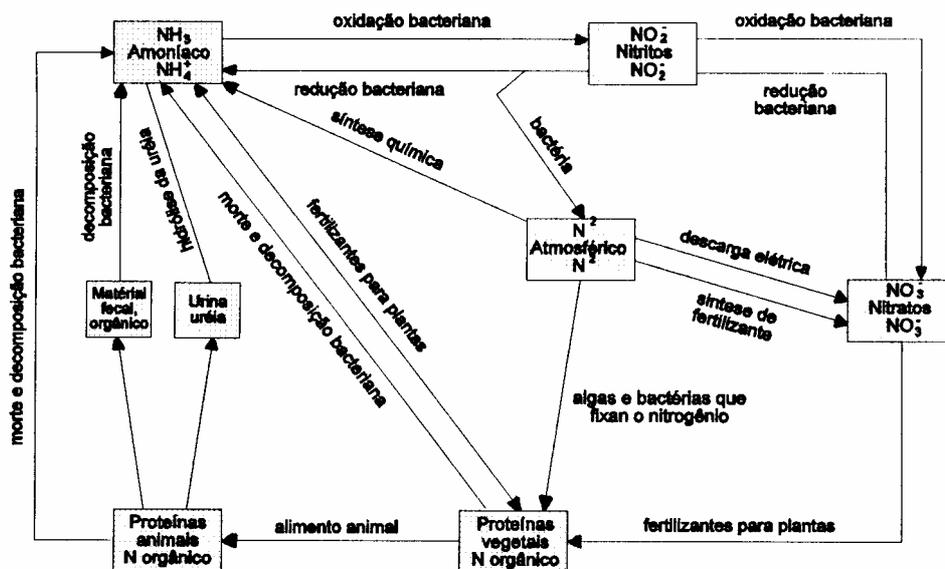


Figura 1: Ciclo do nitrogênio na natureza.

**FONTE: METCALF & EDDY (1991).**

O nitrogênio orgânico que toma parte no tecido de uma planta pode ser incorporado em tecidos animais pelo processo nutricional destes. A morte, seguida de decomposição, de animais e vegetais e, principalmente, as transformações sofridas pelos compostos orgânicos presentes nos esgotos, levam à formação de nitrogênio amoniacal nas águas, nas formas de amônia gasosa ( $\text{NH}_3$ ) ou do íon amônio ( $\text{NH}_4^+$ ). Nas águas, o processo de oxidação biológica sofrida pela amônia, que é convertida a nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) por um grupo de bactérias nitrificadoras chamadas *Nitrossomonas* e, posteriormente, a nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) por outro grupo conhecido por *Nitrobacter*, chama-se nitrificação. A nitrificação é um processo que ocorre apenas em meio aeróbio, pois não existem bactérias anaeróbias nitrificadoras. Corresponde, como visto, à demanda bioquímica de oxigênio de segundo estágio, devendo ocorrer nas estações de tratamento de esgotos. O processo inverso, ou seja, a redução biológica é possível, mas o caminho preferencial é a redução de nitrato a nitrito e posteriormente a nitrogênio gasoso ( $\text{N}_2$ ).

Este processo se denomina desnitrificação e ocorre em meio anóxico, isto é, na ausência de oxigênio livre, em lodos de fundo de rios e lagos e de unidades de separação de sólidos (decantadores) de estações de tratamento de esgotos. Reatores anaeróbios são projetados com esta função específica, pois a nitrificação (aeróbia) e a

desnitrificação (anóxica) levam ao controle efetivo dos problemas que os compostos nitrogenados podem trazer às águas naturais.

Ocorrem ainda, no ciclo do nitrogênio na natureza, as fixações química e biológica e o seu uso como nutriente, sendo que as plantas são capazes de metabolizar nitratos e os animais nutrem-se de nitrogênio na forma orgânica, principalmente.

### **1.3. Formas em que os compostos de nitrogênio se apresentam nas águas**

Como visto, o nitrogênio pode ser encontrado nas águas nas formas de nitrogênio orgânico, amoniacal, nitrito e nitrato. As duas primeiras chamam-se formas reduzidas e as duas últimas, formas oxidadas. Pode-se associar a idade da poluição com a relação entre as formas de nitrogênio, ou seja, se for coletada uma amostra de água de um rio poluído e as análises demonstrarem predominância das formas reduzidas significa que o foco de poluição se encontra próximo; se prevalecer nitrito e nitrato, ao contrário, significa que as descargas de esgotos se encontram distantes. Nas zonas de autodepuração natural em rios, distinguem-se as presenças de nitrogênio orgânico na zona de degradação, amoniacal na zona de decomposição ativa, nitrito na zona de recuperação e nitrato na zona de águas limpas.

### **1.4. Importância nos estudos de controle de qualidade das águas**

Os compostos de nitrogênio são nutrientes para processos biológicos. São tidos como macronutrientes pois, depois do carbono, o nitrogênio é o elemento exigido em maior quantidade pelas células vivas. Quando descarregados nas águas naturais conjuntamente com o fósforo e outros nutrientes presentes nos despejos, provocam o enriquecimento do meio tornando-o mais fértil e possibilitam o crescimento em maior extensão dos seres vivos que os utilizam, especialmente as algas, o que é chamado de eutrofização. Quando as descargas de nutrientes são muito fortes, dá-se o florescimento muito intenso de gêneros que predominam em cada situação em particular. Este crescimento exagerado de populações de algas podem trazer prejuízos aos usos que se possam fazer dessas águas, prejudicando seriamente o abastecimento público ou causando poluição por morte e decomposição. O controle da eutrofização, através da redução do aporte de nitrogênio, é comprometido pela multiplicidade de fontes, algumas muito difíceis de serem controladas como a fixação do nitrogênio

atmosférico, por parte de alguns gêneros de algas. Por isso, deve-se investir preferencialmente no controle das fontes de fósforo.

Deve ser lembrado também que os processos de tratamento de esgotos empregados atualmente no Brasil não são otimizados para a remoção de nutrientes e os efluentes finais tratados liberam grandes quantidades destes, que também podem dar margem à ocorrência do processo de eutrofização.

Nos reatores biológicos das estações de tratamento de esgotos, o carbono, o nitrogênio e o fósforo têm que estar em proporções adequadas para possibilitar o crescimento celular sem limitações nutricionais. Com base na composição das células dos microrganismos que formam parte dos tratamentos, costuma-se exigir uma relação DBO:N:P mínima de 100:5:1 em processos aeróbios e uma relação DQO:N:P de pelo menos 350:7:1 em reatores anaeróbios. Deve ser notado que estas exigências nutricionais podem variar de um sistema para outro, principalmente em função do tipo de substrato. Os esgotos sanitários são bastante diversificados em compostos orgânicos, já alguns efluentes industriais possuem composição bem mais restrita, com efeito sobre o ecossistema a ser formado nos reatores biológicos para o tratamento e sobre a relação C/N/P. No tratamento de esgotos sanitários, estes nutrientes se encontram em excesso, não havendo necessidade de adicioná-los artificialmente, ao contrário, o problema está em removê-los. Em alguns efluentes industriais, como é o caso dos efluentes de fábricas de celulose, que são compostos basicamente de carboidratos, não possuindo praticamente nitrogênio e fósforo, estes devem ser adicionados de forma a perfazer as relações recomendadas, utilizando-se para isto uréia granulada, rica em nitrogênio, e fosfato de amônia, que possui nitrogênio e fósforo, dentre outros produtos comerciais.

Pela legislação federal em vigor, a resolução N° 20 do CONAMA, o nitrogênio amoniacal é padrão de classificação das águas naturais e padrão de emissão de esgotos. Atender a um padrão de emissão igual a 5 mg/L para a amônia pode ser difícil para muitos sistemas que recorrem aos processos usuais de tratamento biológico, principalmente para as lagoas facultativas fotossintéticas que, além de não apresentarem elevados graus de nitrificação dos despejos, apresentam efluentes finais com concentrações elevadas de algas, necessitando de processo de remoção, o que pode inviabilizar os seus usos. Basicamente, somente a variante com aeração prolongada do processo de lodos ativados, dentre os processos usuais de tratamento de esgotos, é capaz de atender a este requisito.

Os nitratos são tóxicos, causando uma doença denominada metahemoglobinemia infantil, que é letal para crianças (o nitrato é reduzido a nitrito na corrente sanguínea, competindo com o oxigênio livre, tornando o sangue azul). Por isso, o nitrato é padrão de potabilidade, sendo 10 mg/L o valor máximo permitido pela Portaria 36.

A amônia é um tóxico bastante restritivo à vida dos peixes, sendo que muitas espécies não suportam concentrações acima de 5 mg/L. Além disso, como visto anteriormente, a amônia provoca consumo de oxigênio dissolvido das águas naturais ao ser oxidada biologicamente, a chamada DBO de segundo estágio. Por estes motivos, a concentração de nitrogênio amoniacal é importante parâmetro de classificação das águas naturais e normalmente utilizado na constituição de índices de qualidade das águas.

### **1.5. Determinação da concentração de nitrogênio em águas**

As determinações das espécies de nitrogênio em águas podem ser subdivididas em dois grupos. O primeiro corresponde às formas reduzidas, nitrogênio orgânico e amoniacal, em que a operação analítica fundamental é a destilação da amônia, mediante a elevação de pH empregando-se hidróxido de sódio. A elevação de pH força a conversão da amônia à forma gasosa e o balão contendo a amostra é colocado em manta de aquecimento para provocar o desprendimento. Após condensação, a amônia destilada é recolhida em solução de ácido bórico e colocada em erlenmeyer conectado ao conjunto de destilação. A solução apresenta coloração violeta e vai se tornando esverdeada à medida que a amônia vai sendo introduzida. Um teste em branco deve ser conduzido, destilando-se, segundo o mesmo procedimento, a água do laboratório. Nesta prova em branco, não deverá ocorrer variação de cor perceptível na solução de ácido bórico. A amônia destilada da amostra é finalmente quantificada através de titulação com ácido sulfúrico. Adicionando-se o ácido, a solução de ácido bórico com a amônia recolhida tende a recuperar a sua cor original. A solução utilizada no teste em branco é usada como referência para a identificação do ponto final da titulação. Os resultados são expressos em mg/L de N. Esta determinação de nitrogênio em águas não é recomendada para baixas concentrações, inferiores a 1 mg/L.

Desta forma, determina-se a concentração de nitrogênio amoniacal na amostra. Para a determinação do nitrogênio orgânico, necessita-se uma digestão química prévia dos compostos nitrogenados, que são convertidos em amônia. Empregam-se na

digestão mercúrio metálico, sulfato de sódio e sulfato de cobre. A operação pode ser realizada em um conjunto compacto de digestão.

Em resumo, procedendo-se apenas à destilação da amônia e sua titulação, mede-se apenas o nitrogênio amoniacal presente na amostra. Fazendo-se a digestão, a destilação e a titulação, mede-se o nitrogênio orgânico mais o nitrogênio amoniacal, o que é chamado nitrogênio total Kjeldahl (NTK). É este o parâmetro utilizado para ser relacionado com a DBO ou DQO, na previsão das necessidades de nutrientes em reatores biológicos de tratamento de esgotos, uma vez que os microrganismos decompositores não assimilam formas oxidadas. Finalmente, o nitrogênio orgânico isoladamente pode ser obtido por diferença entre os resultados obtidos com e sem digestão prévia da amostra.

No outro grupo, o das formas oxidadas, nitrito e nitrato, a análise é desenvolvida através de colorimetria. O nitrito reage com a sulfanilamida e a etilenodiamina, conjuntamente, formando um complexo rosa que obedece a lei fundamental da colorimetria. Já o nitrato, necessita ser reduzido a nitrito antes da execução da colorimetria. Para isso, a amostra é percolada por uma coluna preenchida por cádmio metálico. Procedendo-se em seguida à etapa de colorimetria, obtém-se a concentração de nitrito e nitrato, conjuntamente. A concentração de nitrato individualmente é obtida por diferença entre os resultados obtidos com e sem a passagem da amostra pela coluna de cádmio. Normalmente, é difícil se encontrar nitratos em águas naturais pois estes são instáveis, oxidando-se rapidamente a nitratos. Na análise colorimétrica, há a necessidade de se construir a curva de calibração, empregando-se como padrão, solução de nitrato de sódio.

## **1.6. Remoção de nitrogênio das águas**

Podem ser aplicados processos físico-químicos e biológicos para a remoção de nitrogênio das águas. Um dos processos físico-químicos é o arraste com ar (ammonia air stripping). Neste processo, o esgoto, o efluente industrial ou água natural poluída é inicialmente alcalinizado, adicionando-se cal hidratada ou soda cáustica. De acordo com o equilíbrio,  $\text{NH}_3 + \text{H}^+ \leftrightarrow \text{NH}_4^+$ , elevando-se o pH das águas para um valor entre 11 e 12, o íon amônio converte-se quase que totalmente à forma gasosa,  $\text{NH}_3$ .

Em seguida as águas são distribuídas sobre uma torre de gotejamento contendo material de enchimento constituído de barras de PVC cilíndricas ou, preferivelmente, de seção triangular. Os respingos provocados pelo contato da água com as barras facilitam o arraste da amônia que é proporcionado por exaustores colocados na parte superior da torre. A amônia arrastada pode ser recolhida em uma outra coluna para evitar a poluição do ar. O ar penetra na torre em aberturas posicionadas na parte inferior ou em toda a parede lateral. Na figura 2 apresenta-se o esquema do processo:

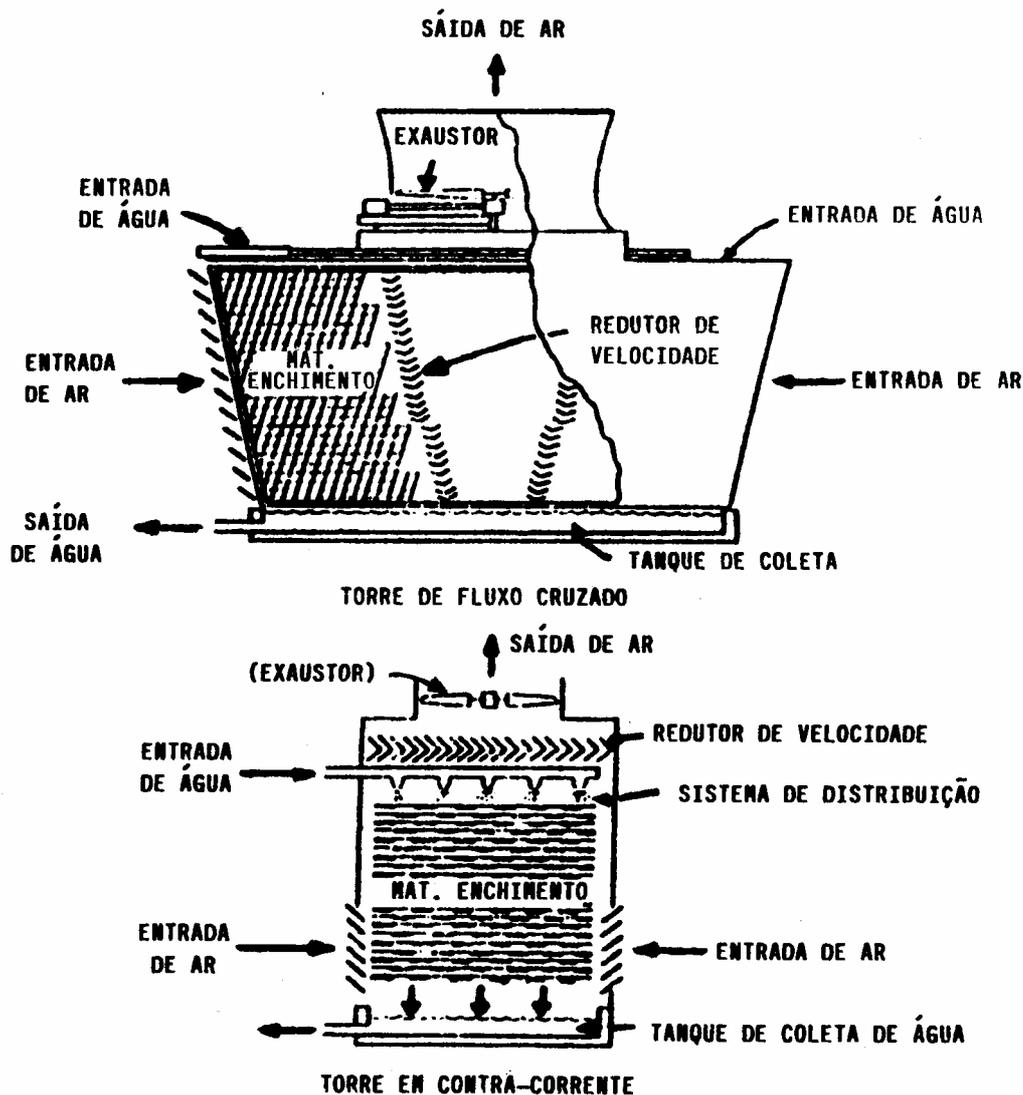


Figura 2: Torres de arraste de amônia com ar.

FONTE: EPA (1978a).

Este processo tem seu uso restrito devido à necessidade de grandes unidades devido às baixas taxas de aplicação, o que resulta em custo elevado. Outro processo físico-químico que pode ser empregado é a cloração ao “break-point”. As reações que ocorrem entre o cloro e a amônia nas águas foram mostradas em capítulo anterior. Ocorre inicialmente a formação das cloraminas (cloro combinado) que são destruídas em seguida à medida que se aumentam as quantidades de cloro adicionadas. Após a destruição total das cloraminas, o cloro adicionado a seguir se mantém como residual livre na água. A cloração ao “break-point” também tem o seu uso limitado economicamente devido principalmente à necessidade de se utilizar elevadas dosagens de cloro. Além disso, outras reações paralelas podem ocorrer, dependendo da composição da água, decorrentes principalmente da ação oxidante do cloro.

Os processos biológicos normalmente empregados para o tratamento de esgotos não são muito eficientes na remoção de nitrogênio amoniacal. Os processos de lodos ativados devem ser modificados para melhorar neste aspecto, aumentando-se a aeração e o tempo de residência celular. Em sistemas com aeração prolongada, é possível a nitrificação praticamente completa dos esgotos quando a taxa de introdução de oxigênio situa-se na faixa de 3,0 Kg O<sub>2</sub> por Kg de DBO aplicada. Alguns autores propõem o uso de dois sistemas de lodos ativados em série, para a remoção de boa parte da DBO carbonácea no primeiro, melhorando as condições dos efluentes para a nitrificação no segundo sistema. Os filtros biológicos aeróbios também não produzem bons níveis de nitrificação. As melhores condições para a nitrificação estão nas partes inferiores do filtro, uma vez que as janelas laterais de ventilação são posicionadas ao redor dos fundos do filtro, e também porque na parte inferior boa parte da DBO carbonácea, que inibe o crescimento das nitro-bactérias, já foi removida, uma vez que os filtros são de escoamento descendente. As lagoas aeradas mecanicamente são pobres em nitrificação. As lagoas de estabilização fotossintéticas também não produzem elevados graus de nitrificação, apesar dos elevados tempos de detenção adotados. Bons resultados podem ser obtidos somente após o tratamento em lagoas terciárias ou de maturação. Ocorre também desnitrificação no lodo de fundo destas lagoas facultativas, em condições anóxicas.

A nitrificação é muito importante mas a desnitrificação também é bastante desejável, no sentido de se reduzir a concentração de nitrato, que pode interferir na potabilidade da água.

A principal tendência atual da evolução do tratamento de esgotos sanitários está na otimização dos processos biológicos para melhorar as remoções de nitrogênio e fósforo, entendendo-se que os prejuízos provocados pela eutrofização são também preocupantes. Os estudos conduzem para o uso de sistemas híbridos anaeróbios-anóxicos-aeróbios de nitrificação-desnitrificação e remoção de fósforo. Pesquisas são realizadas em sistemas de lodos ativados existentes, modificando-se o sistema de aeração no sentido de se produzir zonas anaeróbias e anóxicas. Os arranjos denominados BARDENPHO e UCT são os mais difundidos. A bioquímica desses processos é bastante complexa mas razoavelmente conhecida, necessitando-se prioritariamente de maior número de resultados práticos da operação destes sistemas. Infelizmente, o conceito atual é o de que, apesar destas modificações, o nível de remoção é insuficiente para diversas situações.

## **2. Fósforo em Águas**

### **2.1. Fontes de fósforo nas águas**

O fósforo aparece em águas naturais devido principalmente às descargas de esgotos sanitários. Nestes, os detergentes superfosfatados empregados em larga escala domesticamente constituem a principal fonte (15,5% de  $P_2O_5$ ), além da própria matéria fecal, que é rica em proteínas. Alguns efluentes industriais, como os de indústrias de fertilizantes, pesticidas, químicas em geral, conservas alimentícias, abatedouros, frigoríficos e laticínios, apresentam fósforo em quantidades excessivas. As águas drenadas em áreas agrícolas e urbanas também podem provocar a presença excessiva de fósforo em águas naturais, por conta da aplicação de fertilizante no solo.

### **2.2. Formas em que o fósforo se apresenta nas águas**

O fósforo pode se apresentar nas águas sob três formas diferentes. Os fosfatos orgânicos são a forma em que o fósforo compõe moléculas orgânicas. Os ortofosfatos, por outro lado, são representados pelos radicais  $PO_4^{-3}$ ,  $HPO_4^{-2}$  e  $H_2PO_4^{-}$ , que se combinam com cátions formando sais inorgânicos nas águas. Os polifosfatos ou fosfatos condensados são polímeros de ortofosfatos. No entanto, esta terceira forma não é muito importante nos estudos de controle de qualidade das águas, porque os

polifosfatos sofrem hidrólise, convertendo-se rapidamente em ortofosfatos nas águas naturais.

### 2.3. Importância nos estudos de controle de qualidade das águas

Assim como o nitrogênio, o fósforo constitui-se em um dos principais nutrientes para os processos biológicos, ou seja, é um dos chamados macro-nutrientes, por ser exigido também em grandes quantidades pelas células. Nesta qualidade, torna-se parâmetro imprescindível em programas de caracterização de efluentes industriais que se pretende tratar por processo biológico. Em processos aeróbios, como informado anteriormente, exige-se uma relação  $DBO_5:N:P$  mínima de 100:5:1, enquanto que em processos anaeróbios tem-se exigido a relação  $DQO:N:P$  mínima de 350:7:1. Os esgotos sanitários no Brasil apresentam, tipicamente, concentração de fósforo total na faixa de 6 a 10 mgP/L, não exercendo efeito limitante sobre os tratamentos biológicos. Alguns efluentes industriais, porém, não possuem fósforo em suas composições, ou apresentam concentrações muito baixas. Neste caso, deve-se adicionar artificialmente compostos contendo fósforo como o monoamônio-fosfato (MAP) que, por ser usado em larga escala como fertilizante, apresenta custo relativamente baixo.

Ainda por ser nutriente para processos biológicos, o excesso de fósforo em esgotos sanitários e efluentes industriais, por outro lado, conduz a processos de eutrofização das águas naturais. Na tabela a seguir relaciona-se o nível trófico de lagos e reservatórios com as concentrações de fósforo total.

Nível	$P_T$ (mg/L)	Clorofila ( $\mu\text{g/L}$ )
<b>Oligotrófico</b>	< 0,010	< 2,5
<b>Mesotrófico</b>	0,010-0,035	2,5-8,0
<b>Eutrófico</b>	0,035-0,100	8,0-25,0
<b>Hipereutrófico</b>	> 0,100	> 25

Quando se atinge nível hipereutrófico, além do crescimento desordenado e explosivo de algas, aparecem plantas aquáticas superiores (macrófitas), prejudicando

os usos múltiplos que se possam fazer daquela água, além de se constituir em habitat adequado aos planorbídeos (caramujo hospedeiro intermediário do verme causador da esquistossomose).

O fósforo constitui-se, portanto, em importante parâmetro de classificação das águas naturais, participando também na composição de índices de qualidade de águas.

#### **2.4. Determinação de fósforo em águas**

A determinação de fósforo em águas é essencialmente feita através de espectrofotometria. Os íons ortofosfato se combinam com o chamado reagente combinado (solução de ácido ascórbico, molibdato de amônio e tartarato de antimônio e potássio) formando um complexo azul que obedece a Lei de Beer-Lambert quando as amostras são analisadas em espectrofotômetro a 880nm. As curvas de calibração podem ser construídas empregando-se diluições de solução padrão de fosfato de sódio.

Os fosfatos orgânicos necessitam de digestão química prévia à colorimetria. Empregam-se como digestores os ácidos sulfúrico e nítrico, conjuntamente, no mesmo equipamento utilizado para a digestão do nitrogênio orgânico. Quando se faz a digestão seguida da colorimetria, obtém-se a concentração de fósforo total. Quando se executa apenas a colorimetria, obtém-se a concentração de ortofosfatos, e a de fosfatos orgânicos pode ser obtida por diferença de resultados entre os dois procedimentos.

Deve-se estar atento ao fato de que os resultados de fósforo podem ser expressos em P ou em  $\text{PO}_4^{3-}$ , devendo-se promover as conversões estequiométricas às formas desejadas. Para se converter os resultados de  $\text{PO}_4^{3-}$  para P, deve-se multiplicá-lo por  $\frac{31}{31 + 16 \times 4}$ , ou seja 0,326. Para se fazer o inverso, deve-se multiplicar o resultado por  $\frac{1}{0,326}$ , ou seja, 3,065.

## 2.5. Remoção de fósforo

Como discutido anteriormente, o controle da eutrofização das águas é assunto de grande relevância. O conceito prevalecente em nossa região é o de que controlar as fontes de fósforo é mais interessante do que as de nitrogênio, por causa da existência de algas fixadoras do nitrogênio atmosférico, e também porque a concentração de fósforo nos esgotos é menor que a de nitrogênio, além do fato de que os processos físico-químicos para a remoção de fósforo podem ser viabilizados mais facilmente.

Para a remoção de fósforo de esgotos sanitários de efluentes pode-se recorrer a processos físico-químicos e a processos biológicos. Dentre os processos físico-químicos destacam-se as precipitações químicas com sulfato de alumínio ou com cloreto férrico, nas quais o fósforo é precipitado nas formas de fosfato de alumínio ou de ferro. Deve ser observado, no entanto, que a precipitação do fósforo é apenas uma reação paralela dentro de um processo geral de floculação, o que exige dosagens elevadas de coagulantes e conduz à geração de grandes quantidades de lodo, que tornam o processo oneroso. A precipitação com cal hidratada, em que o fósforo se precipita na forma de hidroxi-apatita,  $\text{Ca}_5(\text{OH})_4(\text{PO}_4)_2$ , constitui um tratamento mais barato, porém de rendimento inferior. Implementar modificações em processos biológicos de tratamento, incluindo a precipitação de fósforo, parece ser o caminho mais aconselhável. A melhor opção para ETEs novas é o tratamento terciário, ou seja, proceder-se à precipitação de fósforo após o tratamento biológico. Para ETEs existentes, o uso do decantador primário para a precipitação pode ser interessante, evitando-se obras de grande porte, implantando-se apenas o sistema de floculação. Porém, os custos operacionais deverão ser mais elevados, uma vez que o consumo maior de coagulantes nesta etapa deverá ultrapassar em custos a economia acarretada no consumo de energia elétrica para o tratamento aeróbio. Pode também ser estudada a aplicação de coagulante diretamente no tanque de aeração dos sistemas de lodos ativados, o que pode levar a uma melhoria global no processo de floculação biológica e, conseqüentemente, no funcionamento da unidade de separação de sólidos.

O emprego da precipitação química de fósforo em efluentes de reatores anaeróbios, como os reatores UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor, ou reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo), tem se destacado como alternativa interessante quando a preocupação com a eutrofização do corpo receptor é

grande, promovendo paralelamente um aumento na eficiência global do sistema na remoção de DBO.

Quando se empregam tratamentos exclusivamente aeróbios, parte do fósforo dos despejos é removido por incorporação no lodo biológico, mas os resíduos nos efluentes são ainda elevados, capazes de promover a eutrofização do corpo receptor. O emprego de sistemas híbridos anaeróbios/anóxicos/aeróbios leva a um aumento na remoção de fósforo dos efluentes. Dentro de uma bioquímica bastante complexa, resumidamente pode-se dizer que em meio anaeróbio ocorre liberação do fósforo das moléculas, tornando-o mais disponível para os microrganismos presentes nas zonas aeróbias do sistema de tratamento. Apesar disso, o nível de remoção de fósforo pode ser insuficiente para controlar o desenvolvimento de algas, em diversas situações.

### 3. Questionário

- 1) Quais as principais fontes de nitrogênio nas águas naturais?
- 2) Quais as formas em que os compostos de nitrogênio se apresentam nas águas naturais? Como se pode associar a distância de uma fonte poluidora com a relação entre as concentrações das diversas formas de nitrogênio identificadas em determinado ponto de coleta de amostras?
- 3) O que é nitrificação? Que condições ambientais são necessárias para que ela ocorra?
- 4) Promover a nitrificação dos esgotos é um benefício importante? Por quê? Que conseqüências negativas o fenômeno acarreta?
- 5) O que é desnitrificação? Que ambiente é necessário para que ela ocorra? Qual o principal benefício da desnitrificação em termos da qualidade das águas naturais?
- 6) Qual a importância da presença de formas reduzidas de nitrogênio nos reatores biológicos para o tratamento de efluentes líquidos?
- 7) Quais os malefícios provocados pela amônia em águas naturais? Como o pH da água influi no comportamento da amônia?
- 8) Na análise de um esgoto recente foram obtidos os seguintes resultados:  
Nitrogênio orgânico: 20 mg/L (em N)  
Nitrogênio amoniacal: 30 mg/L (em N)  
Nitrito: ausente  
Nitrito: 5 mg/L (em N)  
Nitrogênio total Kjeldahl (NTK): 55 mg/L (em N)

Existe(m) incoerência(s) neste laudo? Quais?

9) Por que tratar esgotos sanitários pode ser insuficiente para controlar a eutrofização de determinada água natural?

10) Quais as principais fontes de fósforo nas águas naturais?

11) Em um rio que tenha recebido descarga de esgoto sanitário, quais as relações esperadas entre as formas predominantes de fósforo em locais próximos e bastante afastados do ponto de lançamento?

12) Comentar sobre o efeito da ausência ou presença em quantidade insuficiente de fosfatos em reatores biológicos para o tratamento de efluentes líquidos.

13) Comentar sobre o problema da descarga de efluentes líquidos com concentração excessiva de fósforo nas águas naturais.

14) Um efluente industrial apresentou os seguintes resultados:

Vazão: 120 m<sup>3</sup>/h

DBO<sub>5,20</sub>: 1200 mg/L

Fosfato Total: 12 mg/L (em PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>)

Determinar a quantidade (em Kg/dia) de fosfato monoamônio comercial (MAP), possuindo um teor de 52% em P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a ser adicionado ao efluente, para perfazer uma relação DBO<sub>5</sub>/P igual a 100/1.

15) Comentar sobre as alternativas de tratamento de esgotos para a remoção de nitrogênio e fósforo.

#### **4. Referências Bibliográficas**

- 1) APHA; AWWA; WEF, “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”. American Public Health Association, 18<sup>th</sup> ed., Washington, 1992.
- 2) ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. “Nitrogen Removal”. Technology Transfer Series, Washington, E.P.A., 1978a.
- 3) ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. “Phosphorus Removal”. Technology Transfer Series, Washington, E.P.A., 1978b.
- 4) KATO, M.T., “Fósforo”. Roteiro de aula da disciplina Qualidade da Água, do Ar e do Solo. Escola de Engenharia Mauá, 1983.

- 5) KATO, M.T., “Nitrogênio”. Roteiro de aula da disciplina Qualidade da Água, do Ar e do Solo. Escola de Engenharia Mauá, 1983.
- 6) METCALF & EDDY, “Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse”. Mc Graw-Hill International Editions, 3<sup>rd</sup> ed. 1991.
- 7) SAWYER, C.N. & McCARTY, P.L., “Chemistry for Environmental Engineers”. 3<sup>rd</sup> ed. New York. Mc Graw-Hill Book Company, 1978.

**Questões de múltipla escolha – Aula 11**

- 1) Constituem-se em importantes fontes de nitrogênio em águas naturais
  - a) Esgoto doméstico, efluentes de abatedouros e drenagem de áreas agrícolas
  - b) Atmosfera, efluentes de indústrias de celulose e drenagem de áreas urbanas
  - c) Solo, efluentes de laticínios e drenagem de áreas agrícolas
  - d) Esgoto doméstico, efluentes de usinas de álcool e atmosfera
  - e) Solo, efluentes de indústrias petroquímicas e drenagem de áreas urbanas
  
- 2) Lançando-se um efluente contendo nitrogênio orgânico em um rio, sem que haja esgotamento completo do oxigênio dissolvido de suas águas, a sequência de transformações a ser sofrida pelo nitrogênio será:
  - a) Nitrogênio amoniacal, nitrogênio orgânico, nitrato e nitrito
  - b) Nitrogênio orgânico, nitrogênio amoniacal, nitrato e nitrito
  - c) Nitrito, nitrato, nitrogênio amoniacal e nitrogênio orgânico
  - d) Nitrato, nitrito, nitrogênio orgânico e nitrogênio amoniacal
  - e) Nitrogênio orgânico, nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato
  
- 3) Entende-se por nitrificação:
  - a) Fenômeno que ocorre em ambiente anóxico em que o nitrato é reduzido a nitrito, que por sua vez é reduzido a nitrogênio gasoso ou amônia
  - b) Fenômeno que ocorre em ambiente anaeróbico em que o nitrogênio amoniacal é oxidado sucessivamente a nitrato e a nitrito.
  - c) Fenômeno que ocorre em ambiente aeróbico em que o nitrato é oxidado a nitrito e este é reduzido em nitrogênio gasoso.
  - d) Fenômeno que ocorre em ambiente aeróbico ou anóxico em que o nitrogênio orgânico oxida-se sucessivamente em nitrito e nitrato
  - e) Fenômeno que ocorre em ambiente exclusivamente aeróbico em que o nitrogênio amoniacal é oxidado sucessivamente a nitrito e nitrato
  
- 4) Entende-se por desnitrificação:
  - a) Fenômeno que ocorre em ambiente anóxico em que o nitrato é reduzido a nitrito, que por sua vez é reduzido a nitrogênio gasoso ou amônia
  - b) Fenômeno que ocorre em ambiente anaeróbico em que o nitrogênio amoniacal é oxidado sucessivamente a nitrato e a nitrito.
  - c) Fenômeno que ocorre em ambiente aeróbico em que o nitrato é oxidado a nitrito e este é reduzido em nitrogênio gasoso.
  - d) Fenômeno que ocorre em ambiente aeróbico ou anóxico em que o nitrogênio orgânico oxida-se sucessivamente em nitrito e nitrato
  - e) Fenômeno que ocorre em ambiente exclusivamente aeróbico em que o nitrogênio amoniacal é oxidado sucessivamente a nitrito e nitrato
  
- 5) Com relação à presença de formas reduzidas de nitrogênio nos reatores biológicos para o tratamento de efluentes orgânicos pode ser dito que:
  - a) Deve ser evitada, pois mesmo em pequenas quantidades exerce efeito inibidor sobre o tratamento biológico
  - b) É indispensável, devido ao efeito tampão produzido por estas substâncias que conferem ao sistema resistência com relação à queda de pH
  - c) Deve ser evitada pois somente as formas oxidadas são desejáveis para garantir o crescimento biológico nos reatores

- d) É indispensável, por tratar-se de macro-nutrientes que se ausentes ou presentes em quantidades insuficientes em relação ao carbono orgânico, ocorre limitação do crescimento biológico nos reatores
  - e) Não há influência dessas substâncias no tratamento biológico de efluentes orgânicos
- 6) A presença de amônia em concentrações acima de certos limites é problemática em águas naturais devido à:
- a) Sua ação tóxica sobre a fauna ictiológica, por ser biodegradável, exercendo demanda de oxigênio e por ser nutriente, podendo causar crescimento excessivo de algas
  - b) Sua ação tóxica sobre microrganismos mesmo quando em baixas concentrações, alterando as características do ecossistema aquático
  - c) Sua ação sobre o pH da água, cuja alteração provocará desequilíbrios ecológicos e por provocar consumo de oxigênio ao se degradar biologicamente
  - d) Sua ação tóxica sobre as algas, reduzindo ou eliminando essa importante fonte de nutriente para os peixes, além de exercer demanda de oxigênio ao se degradar biologicamente
  - e) Sua grande resistência à degradação biológica, persistindo por longo tempo nas águas naturais, interferindo na sua potabilidade, além da sua ação tóxica sobre diversas espécies de peixes
- 7) Nos laudos de análises de águas, a expressão NTK - Nitrogênio Total Kjeldhal, representa a soma de:
- a) Nitrito e nitrato
  - b) Amônia e nitrato
  - c) Nitrogênio orgânico e amoniacal
  - d) Nitrogênio orgânico e nitrato
  - e) Amônia e nitrito
- 8) Na determinação das formas reduzidas de nitrogênio em águas, estão envolvidas as seguintes etapas:
- a) Digestão química, colorimetria e gravimetria
  - b) Digestão química, destilação e titulação
  - c) Extração com solvente, colorimetria e titulação
  - d) Oxidação química, destilação e colorimetria
  - e) Redução química, destilação e titulação
- 9) Na determinação de nitrito e nitrato em águas, estão envolvidos os procedimentos:
- a) Redução de nitrito à nitrato e espectrofotometria UV-Visível
  - b) Redução de nitrato à nitrito e espectrofotometria UV-Visível
  - c) Oxidação de nitrito à nitrato e titulometria
  - d) Oxidação de nitrato à nitrito e titulometria
  - e) Oxidação de nitrito à nitrato e espectrofotometria UV-Visível
- 10) São princípios de tratamento físico-químico para a remoção de nitrogênio amoniacal das águas:
- a) Redução química e precipitação
  - b) Adsorção e troca-iônica
  - c) Coagulação/floculação e flotação com ar dissolvido
  - d) Precipitação química e flotação com ar dissolvido

- e) Cloração ao "break-point" e alcalinização seguida de arraste com ar
- 11) Não constituem fontes importantes de descarga de fósforo nas águas naturais:
- Solo, efluentes de indústria de celulose, efluentes de indústria têxtil
  - Esgoto doméstico, efluentes de laticínios, drenagens de áreas agrícolas
  - Drenagens de áreas urbanas, esgoto doméstico e efluentes de indústria de fertilizantes
  - Efluentes de indústrias de detergentes, drenagens de áreas urbanas e efluentes de indústrias de pesticidas
  - Efluentes de matadouros e frigoríficos, esgoto doméstico e drenagem de áreas agrícolas
- 12) Um problema importante decorrente da descarga de fósforo em águas naturais é:
- Toxicidade introduzida ao meio
  - Introdução de substância oxidante, alterando as condições químicas do meio
  - Introdução de substância que desenvolve sabor e odor na água, prejudicando sua qualidade estética e seu uso para abastecimento
  - Introdução de substância coagulante que aumenta a quantidade de lodo de fundo
  - Introdução de macronutriente para processo biológico que pode levar a água a uma condição de eutrofização
- 13) Técnica de tratamento que apresenta maior capacidade de redução da concentração de fósforo dos esgotos sanitários:
- Lodos ativados com aeração prolongada
  - Sistema biológico misto anaeróbio/aeróbio
  - Precipitação química com sais de alumínio ou ferro
  - Oxidação com cloro
  - Adsorção em carvão ativado
- 14) Na determinação da concentração de fósforo em águas residuárias são envolvidas as seguintes etapas:
- Destilação e titulação
  - Digestão química e espectrofotometria UV-Visível
  - Digestão química e titulação
  - Destilação e espectrofotometria UV-Visível
  - Oxidação e titulação
- 15) Na caracterização de um efluente industrial foram obtidos os seguintes resultados:  
Vazão: 55 L/s  
DQO : 2.500 mg/L  
Fosfato total: 20 mg/L (em  $\text{PO}_4$ )
- A quantidade em kg/dia de fosfato de sódio,  $\text{Na}_3(\text{PO}_4)$ , necessária para perfazer uma relação DQO/P igual a 350:1 será: (Dadas as massas atômicas: Na = 23g; P = 31g; O = 16g)
- 0,6
  - 2,9
  - 8,4
  - 15,5
  - 26,8

**QUADRO DE RESPOSTAS – AULA 11**

Nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A										
B										
C										
D										
E										
Valor	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7

Nº	11	12	13	14	15
A					
B					
C					
D					
E					
Valor	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6