

**UNIVERSIDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS
INSTITUTO DE ESTUDOS TECNOLÓGICOS**

Eduardo Lafaiete do Vale

EUTROFIZAÇÃO

Juiz de fora
2005

Eduardo Lafaiete do Vale

EUTROFIZAÇÃO

Monografia de conclusão de curso apresentada ao Curso de Tecnologia em Meio Ambiente do Instituto de Estudos Tecnológicos da Universidade Presidente Antônio Carlos como requisito parcial à obtenção do título de Tecnólogo em Meio Ambiente.
Orientador: Marconi Fonseca de Moraes

Juiz de Fora
2005

Eduardo Lafaiete do Vale

EUTROFIZAÇÃO

Monografia de conclusão de curso apresentada ao Curso de Tecnologia em Meio Ambiente do Instituto de Estudos Tecnológicos da Universidade Presidente Antônio Carlos como requisito parcial à obtenção do título de Tecnólogo em Meio Ambiente.

Orientador: Marconi Fonseca de Moraes



Prof. Marconi Fonseca de Moraes. (Orientador)
Universidade Presidente Antônio Carlos

Juiz de Fora
12/12/2005

Dedico este trabalho a minha esposa
Luciana Fiuza, à minha Mãe Carmen
Lúcia por todo o Amor que sempre
recebi de forma incondicional.

AGRADECIMENTOS

Aos meus familiares, cuja generosa ajuda financeira tornou possível a realização deste curso, além de garantir que minhas necessidades pessoais fossem atendidas.

A todos os meus amigos que, de alguma forma, me incentivaram a ingressar em um curso superior, especialmente o Dr. Antonio Carlos Nogueira e o Sr. Luiz Cláudio Dilly.

Aos professores, pelo esforço de disseminar seus conhecimentos fazendo o possível para esclarecer e orientar.

Inúmeras são as coisas que no colossal maquinismo do Universo concorrem para, ter influência na “VIDA” do Ser Humano; nada existe, porém, a que o Ser Humano mesmo não tenha inicialmente dado a causa.

Abdruschim
“Na Luz da Verdade”

RESUMO

O aumento das atividades humanas impactantes e o contínuo crescimento populacional em áreas de mananciais têm levado os ecossistemas aquáticos a níveis cada vez mais elevados de poluição, principalmente pelo aumento da disponibilidade de nutrientes críticos (geralmente nitrogênio e fósforo). Este processo, conhecido como eutrofização, tem afetado de forma preocupante os reservatórios naturais e artificiais.

O enriquecimento nutricional de um ambiente aquático, independentemente da fonte de entrada, torna o meio eutrófico. Os ambientes eutróficos caracterizam-se por apresentar transparência limitada, são rasos, possuem alto teor de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, altos teores de matéria orgânica no sedimento e na água e alta produção de biomassa, comumente desencadeando florações de algas. Em caso de microalgas cianobactérias, o problema torna-se especialmente preocupante, face a potencialidade de produção e liberação de substâncias tóxicas destes organismos ao meio.

Palavras – Chave: Eutrofização, Nitrogênio, Fósforo.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Evolução do processo de eutrofização em um lago ou represa.....	8
Figura 2- Superpopulação de Algas.....	11
Figura 3- Mortandade de Peixes causada pela Eutrofização.....	12
Figura 4- Lago totalmente tomado por algas.....	14
Figura 5- Perfis de um lago em condições de estratificação e de inversão térmica.....	16
Figura 6- Ilustração do Ciclo do Nitrogênio.....	21
Figura 7- Ilustração do Ciclo do Fósforo.....	23
Figura 8- Estratégias para o controle dos esgotos visando a prevenção do aporte de nutrientes na represa.....	25

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Contribuições unitárias de fósforo típicas.....	19
---	----

SUMÁRIO

1. Introdução.....	1
2. Poluição da Água.....	2
3. Eutrofização dos Corpos Hídricos.....	6
3.1. Conceitos.....	6
3.2. A Evolução do Processo de Eutrofização de um Lago ou Represa.....	9
3.3. Problemas da Eutrofização.....	12
3.4. Dinâmica de Lagos e Reservatórios.....	15
3.5. Nutriente Limitante.....	17
3.6. Estimativa da Carga de Fósforo Afluente a um Lago ou Represa.....	18
4. Ciclo do Nitrogênio.....	20
5. Ciclo do Fósforo.....	22
6. Controle da Eutrofização.....	24
6.1 Medidas Preventivas.....	24
6.2 Medidas Corretivas.....	26
7. Conclusão.....	27
8. Bibliografia.....	28

1. INTRODUÇÃO

A disponibilidade de água é fundamental para o funcionamento dos sistemas naturais bem como para a sustentação dos ciclos da vida no planeta. Água sempre foi e sempre será um fator limitante para o desenvolvimento sustentável, para o desenvolvimento econômico e social. As atividades humanas sempre produziram alterações consideráveis na qualidade e quantidade de água e recursos hídricos. Existe também uma relação bastante conhecida e bem demonstrada entre qualidade da água e saúde humana; água de baixa qualidade e contaminada contribui para aumentar a mortalidade infantil e reduzir a expectativa de vida em geral.

A quantidade e qualidade da água em uma dada bacia hidrográfica depende do clima, das características físicas, químicas e biológicas dos sistemas terrestres e aquáticos. As flutuações na disponibilidade de água dependem evidentemente dos ciclos naturais e das interferências das atividades humanas nesses ciclos (Tundisi, 2005).

A água é um valiosíssimo recurso diretamente associado à vida. Aliás, ela participa em geral com elevado potencial na composição dos seres vivos; suas funções biológicas e bioquímicas são essenciais, pelo que se diz que a água é elemento constitutivo da vida. Dentro do ecossistema, seu papel junto aos biomas é múltiplo, seja como integrante da cadeia alimentar e de processos biológicos, seja como condicionante do clima e dos diferentes habitats (Milaré, 2005).

2. POLUIÇÃO DA ÁGUA

A água que usamos para os mais variados fins é sempre a mesma, ou seja, ela é responsável pelo funcionamento da grande máquina que é a vida na Terra; sendo tudo isto movido pela energia solar, mas isso não é motivo para desperdiçá-la ou mesmo poluí-la.

Vista do espaço, a Terra parece o Planeta Água, pois esta cobre 75% da superfície terrestre, formando os oceanos, rios, lagos etc. No entanto, somente uma pequena parte dessa água está à disposição da vida na Terra, que corre o risco de não mais dispor de água limpa, o que em última análise significa que a grande máquina viva pode parar.

A água nunca é pura na Natureza, pois nela estão dissolvidos gases, sais sólidos e íons. Dentro dessa complexa mistura, há uma coleção variada de vida vegetal e animal, desde o fitoplâncton e o zooplâncton até a baleia azul (maior mamífero do planeta). Dentro dessa gama de variadas formas de vida, há organismos que dependem dela inclusive para completar seu ciclo de vida (como ocorre com os insetos). Enfim, a água é o componente vital no sistema de sustentação da vida na Terra e por isso deve ser preservada, mas nem sempre isso acontece. A sua poluição impede a sobrevivência daqueles seres, causando também graves consequências aos seres humanos.

Portanto, para a água se manter nessas condições, deve-se evitar sua contaminação por resíduos, sejam eles agrícolas (de natureza química ou orgânica), esgotos, resíduos industriais, lixo ou sedimentos vindos da erosão.

Sobre a contaminação agrícola temos, no primeiro caso, os resíduos do uso de agrotóxicos (comum nas atividades agropecuárias), que provêm de uma prática muitas vezes desnecessária ou intensiva nos campos, enviando grandes quantidades de substâncias tóxicas para os rios através das chuvas, o mesmo ocorrendo com a eliminação do esterco de animais criados em pastagens. No segundo caso, há o uso de adubos, muitas vezes exagerado, que acabam por ser carregados pelas chuvas aos rios locais, acarretando o aumento de nutrientes nestes pontos; isso propicia a ocorrência de uma explosão de bactérias decompositoras que consomem oxigênio, contribuindo ainda para diminuir a concentração do mesmo na água, produzindo sulfeto de hidrogênio, um gás de cheiro muito forte que, em grandes quantidades, é tóxico. Isso também afetaria as formas

superiores de vida animal e vegetal, que utilizam o oxigênio na respiração, além das bactérias aeróbicas, que seriam impedidas de decompor a matéria orgânica sem deixar odores nocivos através do consumo de oxigênio.

Os resíduos gerados pelas indústrias, cidades e atividades agrícolas são sólidos ou líquidos, tendo um potencial de poluição muito grande. Os resíduos gerados pelas cidades, como lixo, entulhos e produtos tóxicos são carregados para os rios com a ajuda das chuvas. Os resíduos líquidos carregam poluentes orgânicos (que são mais fáceis de ser controlados do que os inorgânicos, quando em pequena quantidade). As indústrias produzem grande quantidade de resíduos em seus processos, sendo uma parte retida pelas instalações de tratamento da própria indústria, que retêm tanto resíduos sólidos quanto líquidos, e a outra parte despejada no ambiente. No processo de tratamento dos resíduos também é produzido outro resíduo chamado "chorume", líquido que precisa novamente de tratamento e controle.

Enfim, a poluição das águas pode aparecer de vários modos, incluindo a poluição térmica, que é a descarga de efluentes a altas temperaturas, poluição física, que é a descarga de material em suspensão, poluição biológica, que é a descarga de bactérias patogênicas e vírus, e poluição química, que pode ocorrer por deficiência de oxigênio, toxidez e eutrofização.

A eutrofização é causada por processos de erosão e decomposição que fazem aumentar o conteúdo de nutrientes, aumentando a produtividade biológica, permitindo periódicas proliferações de algas, que tornam a água turva e com isso podem causar deficiência de oxigênio pelo seu apodrecimento, aumentando sua toxidez para os organismos que nela vivem (como os peixes, que aparecem mortos junto a espumas tóxicas).

A poluição de águas nos países desenvolvidos é resultado da maneira como a sociedade consumista está organizada para produzir e desfrutar de sua riqueza, progresso material e bem-estar. Já nos países pobres, a poluição é resultado da pobreza e da ausência de educação de seus habitantes, que, assim, não têm base para exigir os seus direitos de cidadãos, o que só tende a prejudicá-los, pois esta omissão na reivindicação de seus direitos leva à impunidade às indústrias, que poluem cada vez mais, e aos governantes, que também se aproveitam da ausência da educação do povo e, em geral, fecham os olhos para

a questão, como se tal poluição não atingisse também a eles. A Educação Ambiental vem justamente resgatar a cidadania para que o povo tome consciência da necessidade da preservação do meio ambiente, que influi diretamente na manutenção da sua qualidade de vida.

Dentro desse contexto, uma grande parcela da contenção da "saúde das águas" cabe a nós, brasileiros, pois se a Terra parece o Planeta Água, o Brasil poderia ser considerado sua capital, já que é dotado de uma extensa rede de rios, e privilegiado por um clima excepcional, que assegura chuvas abundantes e regulares em quase todo seu território.

O Brasil dispõe de 15% de toda a água doce existente no mundo, ou seja, dos 113 trilhões de m³ disponíveis para a vida terrestre, 17 trilhões foram reservados ao nosso país. Como a água é necessária para dar continuidade ao crescimento econômico, as Bacias Hidrográficas passam a ser áreas geográficas de preocupação de todos os agentes e interesses públicos e privados, pois elas passam por várias cidades, propriedades agrícolas e indústrias. No entanto, a presença de alguns produtos químicos industriais e agrícolas (agrotóxicos) podem impedir a purificação natural da água (reciclagem) e, nesse caso, só a construção de sofisticados sistemas de tratamento permitiriam a retenção de compostos químicos nocivos à saúde humana, aos peixes e à vegetação.

Quanto melhor é a água de um rio, ou seja, quanto mais esforços forem feitos no sentido de que ela seja preservada (tendo como instrumento principal de conscientização da população a Educação Ambiental), melhor e mais barato será o tratamento desta e, com isso, a população só terá a ganhar. Mas parece que a preocupação dos técnicos em geral é sofisticar cada vez mais os tratamentos de água, ao invés de se aterem mais à preservação dos mananciais, de onde é retirada água pura. Este é o raciocínio - mais irracional - de que a técnica pode fazer tudo. Técnicas sofisticadíssimas estão sendo desenvolvidas para permitir a reutilização da água no abastecimento público, não percebendo que a ingestão de um líquido tratado com tal grau de sofisticação pode ser tudo, menos o alimento vital do qual o ser humano necessita. Ou seja, de que adianta o progresso se não há qualidade de vida? A única medida mitigadora possível para este problema, na situação grave em que o consumo da água se encontra, foi misturar e fornecer à população uma água de boa procedência com outra de procedência pior, cuidadosamente tratada e controlada.

Portanto, a meta imediata é preservar os poucos mananciais intactos que ainda

restam para que o homem possa dispor de um reservatório de água potável para que possa sobreviver nos próximos milênios (Zampieron, Sônia Lúcia Modesto – 2005).

3. EUTROFIZAÇÃO DOS CORPOS HÍDRICOS

3.1. CONCEITOS

Processo de desequilíbrio entre produção, consumo e decomposição de matéria orgânica devido ao aporte de nutrientes inorgânicos (N e P). É um processo natural que pode ser acelerado devido às atividades antropogênicas.

A eutrofização é o crescimento excessivo das plantas aquáticas, tanto planctônicas quanto aderidas, a níveis tais que sejam considerados como causadores de interferências com os usos desejáveis do corpo d'água (Thomann e Mueller, 1987 apud Von Sperling, 1996.). Como será visto adiante, o principal fator de estímulo é um nível excessivo de nutrientes no corpo hídrico, principalmente nitrogênio e fósforo.

As plantas aquáticas podem ser classificadas dentro de duas categorias bem amplas:

- Plantas que se movem livremente com a água (plantas aquáticas planctônicas): incluem o fitoplâncton microscópico, plantas flutuantes e certos tipos de plantas, como as algas cianofíceas (algas azuis), que podem flutuar na superfície e mover-se com a corrente superficial;
- Plantas fixas (aderidas ou enraizadas): incluem as plantas aquáticas enraizadas de diversos tamanhos e as plantas microscópicas aderidas (algas bênticas).

As algas são, portanto, uma designação abrangente de plantas simples, a maior parte microscópica, que incluem tanto as plantas de movimentação livre, o fitoplâncton e as algas bênticas aderidas. Em todos os casos, as plantas obtêm a sua fonte de energia primária da energia luminosa através do processo de fotossíntese.

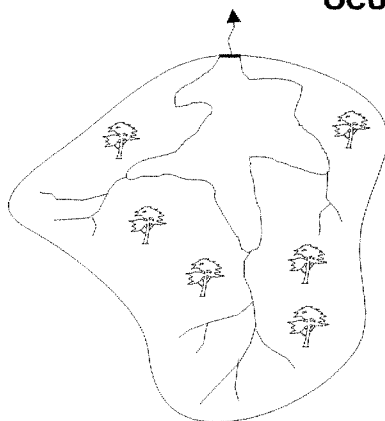
Neste trabalho enfoca-se, como corpo d'água, principalmente lagos e represas. O processo de eutrofização pode ocorrer também em rios, embora seja menos frequente, devido às condições ambientais serem mais desfavoráveis para o crescimento de algas e outras plantas, como turbidez e velocidades elevadas.

A descrição a seguir ilustra a possível sequência da evolução do processo de eutrofização em um corpo d'água, como um lago ou represa (Figura 1). O nível de

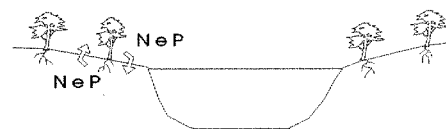
eutrofização está usualmente associado ao uso e ocupação do solo predominante na bacia hidrográfica.

EVOLUÇÃO DO PROCESSO DE EUTROFIZAÇÃO DE UM LAGO OU REPRESA

OCUPAÇÃO POR MATAS E FLORESTAS

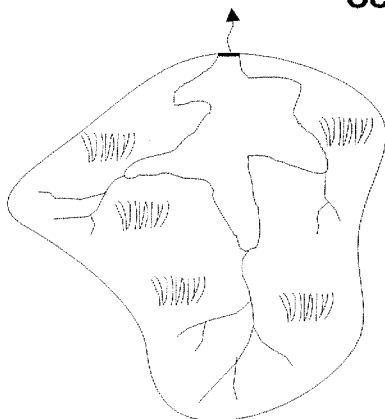


BAIXA CARGA DE FÓSFORO

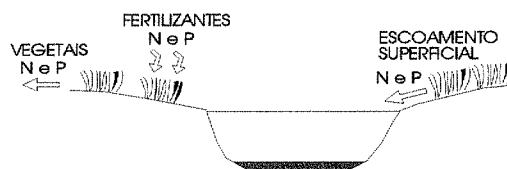


BAIXA CONCENTRAÇÃO DE ALGAS
POUCO ASSOREAMENTO

OCUPAÇÃO POR AGRICULTURA

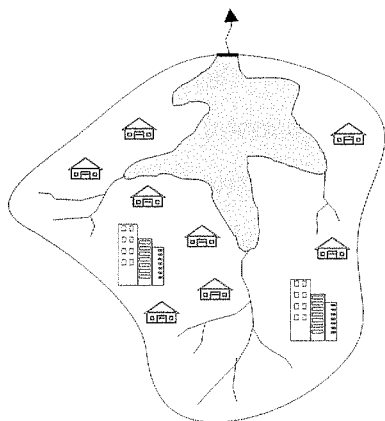


AUMENTO DA CARGA DE FÓSFORO

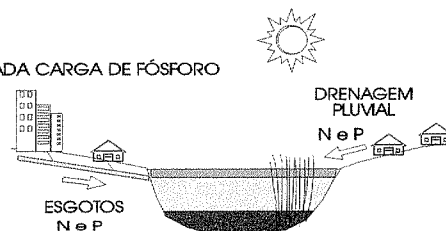


AUMENTO DA CONCENTRAÇÃO DE ALGAS
AUMENTO DO ASSOREAMENTO

OCUPAÇÃO URBANA



ELEVADA CARGA DE FÓSFORO



ELEVADA CONCENTRAÇÃO DE ALGAS
ELEVADO ASSOREAMENTO
PRESENÇA DE MACRÓFITAS

Figura. 1. Evolução do processo de eutrofização em um lago ou represa. Associação entre o uso e ocupação do solo e a eutrofização. Fonte: Von Sperling, 1996.

3.2. A EVOLUÇÃO DO PROCESSO DE EUTROFIZAÇÃO DE UM LAGO OU REPRESA

a) Ocupação por matas e florestas

Um lago situado em uma bacia hidrográfica ocupada por matas e florestas apresenta usualmente uma baixa produtividade, isto é, há pouca atividade biológica de produção. Mesmo nestas condições naturais e de ausência de interferência antrópica, o lago tende a reter sólidos que se sedimentam, constituindo uma camada de lodo no fundo. Com os fenômenos de decomposição do material sedimentado, há um certo aumento, do nível de nutrientes na massa líquida. Em decorrência, há uma progressiva elevação na população de plantas aquáticas na massa líquida e, conseqüentemente, de outros organismos situados em níveis superiores na cadeia alimentar (cadeia trófica).

Na bacia hidrográfica, a maior parte dos nutrientes é retida dentro de um ciclo quase fechado. As plantas, ao morrerem e caírem no solo, sofrem decomposição, liberando nutrientes. Numa região de matas e florestas, a capacidade de infiltração da água de chuva no solo é elevada. Em consequência, os nutrientes lixiviam pelo solo, onde são absorvidos pelas raízes das plantas, voltando a fazer parte da sua composição, e fechando, o ciclo. A quantidade de nutrientes ao corpo d'água é reduzido.

b) Ocupação por agricultura

A retirada da vegetação natural da bacia para ocupação por agricultura representa, usualmente, uma etapa intermediária no processo de deterioração de um corpo d'água. Os vegetais plantados na bacia são retirados para consumo humano, muito possivelmente fora da própria bacia hidrográfica. Com isto, há uma retirada, não compensada naturalmente, de nutrientes, causando uma quebra no ciclo interno dos mesmos. Para compensar esta retirada, e para tornar a agricultura mais intensiva, são adicionados artificialmente, fertilizantes, isto é, produtos com elevados teores dos nutrientes nitrogênio (N) e fósforo (P). Os agricultores, visando garantir uma produção elevada, adicionam quantidades elevadas de N e P, frequentemente superiores à própria capacidade de assimilação dos vegetais.

A substituição das matas por vegetais agricultáveis pode causar também uma redução da capacidade de infiltração no solo. Assim, os nutrientes, já adicionados em

excesso, tendem a escoar superficialmente pelo terreno, até atingir, eventualmente, o lago ou represa.

O aumento do teor de nutrientes no corpo hídrico causa um certo aumento do número de algas e, em consequência, dos outros organismos, situados em degraus superiores da cadeia alimentar, culminando com os peixes. Esta elevação relativa da produtividade do corpo hídrico pode ser até bem-vinda, dependendo dos usos previstos para o mesmo. O balanço entre os aspectos positivos e negativos dependerá, em grande parte, da capacidade de assimilação de nutrientes do corpo hídrico.

c) Ocupação urbana

Caso se substitua a área agricultável da bacia hidrográfica por ocupação urbana, uma série de consequências irá ocorrer, desta vez em taxa bem mais rápida.

- Assoreamento. A implantação de loteamentos implica em movimentos de terra para as construções. A urbanização reduz também a capacidade de infiltração das águas no terreno, devido à pavimentação. As partículas de solo tendem, em consequência, a seguir pelos fundos de vale, até atingir o lago ou represa. Aí, tendem a sedimentar, devido às baixíssimas velocidades de escoamento horizontal. A sedimentação das partículas de solo causa o assoreamento, reduzindo o volume útil do corpo d'água, e servindo de meio suporte para o crescimento de vegetais fixos de maiores dimensões (macrófitas) próximos às margens. Estes vegetais causam uma evidente deterioração no aspecto visual do corpo d'água.
- Drenagem pluvial urbana. A drenagem urbana transporta uma carga muito maior de nutrientes que os demais tipos de ocupação da bacia. Este aporte de nutrientes contribui para uma elevação no teor de algas na represa.
- Esgotos. O maior fator de deterioração está, no entanto, associado aos esgotos oriundos das atividades urbanas. Os esgotos contêm nitrogênio e fósforo, presentes nas fezes e urina, nos restos de alimentos, nos detergentes e outros subprodutos das atividades humanas. A contribuição de N e P através dos esgotos é bem superior à contribuição originada pela drenagem urbana.

Há, portanto, uma grande elevação na quantidade de N e P ao lago ou represa, trazendo, em decorrência, o aumento nas populações de algas e outras plantas. Dependendo da capacidade de assimilação do corpo d'água, a população de algas poderá atingir valores bastante elevados, trazendo uma série de problemas, como detalhado no item seguinte. Em um período de elevada insolação (energia luminosa para a fotossíntese), as algas poderão atingir superpopulações, constituindo uma camada superficial, similar a um caldo verde (figura 2). Esta camada superficial impede a penetração da energia luminosa nas camadas inferiores do corpo d'água, causando a morte das algas situadas nestas regiões. A morte destas algas traz, em si, uma série de outros problemas. Estes eventos de superpopulação de algas são denominados floração das águas.



Figura 2. Superpopulação de Algas. Fotografia da NOAA (National Oceanic & Atmospheric Administration).

3.3. PROBLEMAS DA EUTROFIZAÇÃO

Segue abaixo os principais efeitos indesejáveis da eutrofização: (Arceivala, 1981; Thomann e Mueller, 1987 apud Von Sperling, 1996):

- Problemas estéticos e recreacionais. Diminuição do uso da água para recreação, balneabilidade e redução geral na atração turística devido a:
 - frequentes florações das águas
 - crescimento excessivo da vegetação
 - distúrbios com mosquitos e insetos
 - eventuais maus odores
 - eventuais mortandades de peixes (Figura 3)



Figura 3. Mortandade de Peixes causada pela Eutrofização. Fotografia da NOAA (National Oceanic & Atmospheric Administration).

- Condições anaeróbias no fundo do corpo d'água. O aumento da produtividade do corpo d'água causa uma elevação da concentração de bactérias heterotróficas, que se alimentam da matéria orgânica das algas e de outros microrganismos mortos, consumindo oxigênio dissolvido do meio líquido. No fundo do corpo d'água predominam condições anaeróbias, devido à sedimentação da matéria orgânica, e à reduzida penetração do oxigênio a estas profundidades, bem como à ausência de fotossíntese (ausência de luz). Com a anaerobiose, predominam condições redutoras, com compostos e elementos no estado reduzido:

- o ferro e o manganês encontram-se na forma solúvel, trazendo problemas ao abastecimento de água
 - o fosfato encontra-se também na forma solúvel, representando uma fonte interna de fósforo para as algas
 - o gás sulfídrico causa problemas de toxicidade e maus odores.
-
- Eventuais condições anaeróbias no corpo d'água como um todo. Dependendo do grau de crescimento bacteriano, pode ocorrer, em períodos de mistura total da massa líquida (inversão térmica) ou de ausência de fotossíntese (período noturno), mortandade de peixes e reintrodução dos compostos reduzidos em toda a massa líquida, com grande deterioração da qualidade da água.
-
- Eventuais mortandades de peixes. A mortandade de peixes pode ocorrer em função de:
 - anaerobiose (já comentada acima)
 - toxicidade por amônia. Em condições de pH elevado (frequentes durante os períodos de elevada fotossíntese), a amônia apresenta-se em grande parte na forma livre (NH_3), tóxica aos peixes, ao invés de na forma ionizada (NH_4^+), não tóxica.
-
- Maior dificuldade e elevação nos custos de tratamento da água. A presença excessiva de algas afeta substancialmente o tratamento da água captada no lago ou represa, devido à necessidade de:
 - remoção da própria alga
 - remoção de cor
 - remoção de sabor e odor
 - maior consumo de produtos químicos
 - lavagens mais frequentes dos filtros
-
- Problemas com o abastecimento de águas industrial. Elevação dos custos para o abastecimento de água industrial devido a razões similares às anteriores, e também aos depósitos de algas nas águas de resfriamento.
-
- Toxicidade das algas. Rejeição da água para abastecimento humano e animal em razão da presença de secreções tóxicas de certas algas.

- Modificações na qualidade e quantidade de peixes de valor comercial
- Redução na navegação e capacidade de transporte. O crescimento excessivo de macrófitas enraizadas interfere com a navegação, aeração e capacidade de transporte do corpo d'água.
- Desaparecimento gradual do lago como um todo. Em decorrência da eutrofização e do assoreamento, aumenta a acumulação de matérias e de vegetação, e o lago se torna cada vez mais raso, até vir a desaparecer. Esta tendência de desaparecimento de lagos (conversão a brejos ou áreas pantanosas) é irreversível, porém extremamente lenta. Com a interferência do homem, o processo pode se acelerar abruptamente. Caso não haja um controle na fonte e/ou dragagem do material sedimentado, o corpo d'água pode desaparecer relativamente rápido. (Figura 4)



Figura 4. Lago totalmente tomado por algas. estadao.com.br.
Ciência e Meio Ambiente.

3.4. DINÂMICA DE LAGOS E RESERVATÓRIOS

O perfil vertical de temperatura em lagos e reservatórios varia com as estações do ano. Esta variação de temperatura afeta a densidade da água e, em consequência, a capacidade de mistura e estratificação do corpo d'água. (Von Sperling, 1996).

Durante o verão e os meses mais quentes do ano, a temperatura da camada superficial é bem mais elevada que a temperatura do fundo, devido à radiação solar. Devido a este fato, a densidade da água superficial torna-se inferior à densidade da camada do fundo, fazendo com que haja camadas distintas no corpo d'água:

- Epilímnio: camada superior, mais quente, menos densa, com maior circulação
- Termoclina: camada de transição
- Hipolímnio: camada inferior, mais fria, mais densa, com maior estagnação

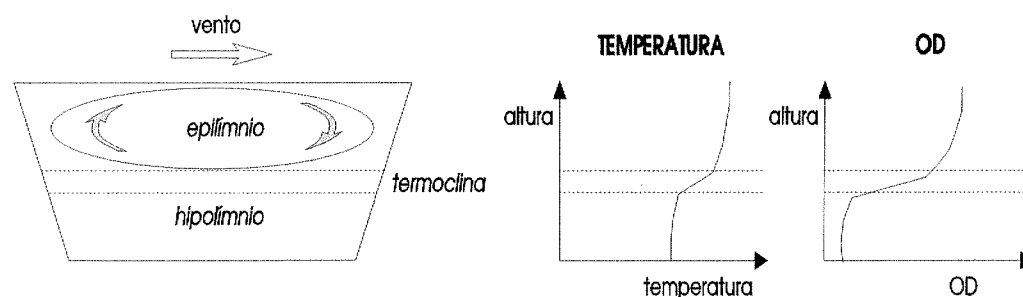
A diferença de densidades pode ser tal, que cause uma completa estratificação no corpo d'água, com as três camadas não se misturando entre si. Esta estratificação tem uma grande influência na qualidade da água. Dependendo do grau de trofia do corpo d'água, poderá haver uma ausência completa de oxigênio dissolvido no hipolímnio. Em decorrência, nesta camada tem-se a predominância de compostos reduzidos de ferro, manganês e outros.

Com a chegada do período frio, há um resfriamento da camada superficial do lago, causando uma certa homogeneização na temperatura ao longo de toda a profundidade. Com a homogeneização da temperatura, tem-se também uma maior similaridade entre as densidades. A camada superior, subitamente resfriada, tende a ir para o fundo do lago, deslocando a camada inferior, e causando um completo revolvimento do lago. A este fenômeno dá-se o nome de inversão térmica. Em lagos que apresentam uma maior concentração de compostos reduzidos no hipolímnio, a reintrodução destes na massa d'água de todo o lago pode causar uma grande deterioração na qualidade da água. A redução da concentração de oxigênio dissolvido, devido à demanda introduzida pelos compostos orgânicos e inorgânicos reduzidos, bem como à ressuspensão da camada anaeróbia do fundo, pode causar a mortandade de peixes.

A Figura 5 apresenta um perfil típico de temperatura e OD nas condições de estratificação e de inversão térmica.

DINÂMICA DE ESTRATIFICAÇÃO E MISTURA DE LAGOS

LAGO COM ESTRATIFICAÇÃO TÉRMICA (meses mais quentes)



LAGO COM MISTURA - INVERSÃO TÉRMICA (entrada do período frio)

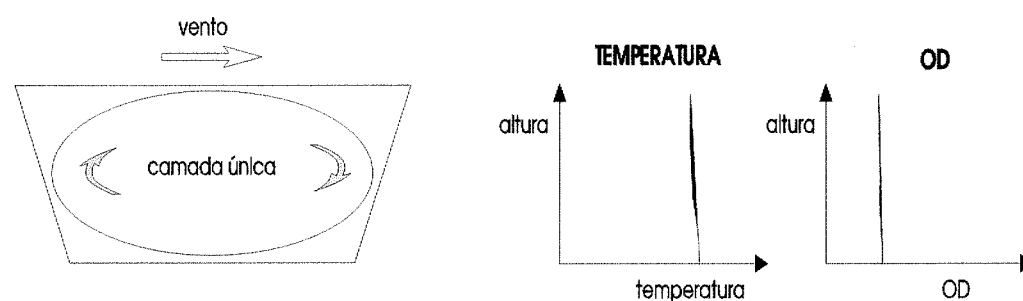


Figura 5. Perfis de um lago em condições de estratificação e de inversão térmica.
Fonte: Von Sperling, 1996.

3.5. NUTRIENTE LIMITANTE

Nutriente limitante é aquele, sendo essencial para uma determinada população e limita seu crescimento. Em baixas concentrações do nutriente limitante, o crescimento populacional é baixo. Com a elevação da concentração do nutriente limitante, o crescimento populacional também aumenta. Essa situação persiste até o ponto em que a concentração desse nutriente passa a ser tão elevada no meio, que um outro nutriente passa a ser o fator limitante, por não se apresentar em concentrações suficientes para suprir os elevados requisitos da grande população. Esse novo nutriente passa a ser o novo nutriente limitante, pois nada adianta aumentar a concentração do primeiro nutriente, que a população não crescerá, pois estará limitada pela insuficiência do novo nutriente limitante.

Thomann e Mueller (1987) apud Von Sperling, (1996) sugerem o seguinte critério, com base na relação entre as concentrações de nitrogênio e fósforo (N/P), para se estimar preliminarmente se o crescimento de algas em um lago está sendo controlado pelo fósforo ou nitrogênio.

Em grandes lagos, com predominância de fontes não pontuais com concentração de N/P maiores que 10 o nutriente limitante é o fósforo, enquanto que em pequenos lagos, com predominância de fontes pontuais com concentração de N/P menores que 10 o nutriente limitante é o nitrogênio.

De acordo com Salas e Martino (1991) apud Von Sperling, (1996), a maioria dos lagos tropicais da América Latina são limitados por fósforo. Um outro aspecto é o de que, mesmo que se controle o aporte externo de nitrogênio, há algas com capacidade de fixar o nitrogênio atmosférico, que não teriam a sua concentração reduzida com a diminuição da carga afluyente de nitrogênio. Por estas razões, prefere-se dar uma maior prioridade ao controle das fontes de fósforo quando se pretende controlar a eutrofização em um corpo d'água.

3.6. ESTIMATIVA DA CARGA DE FÓSFORO AFLUENTE A UM LAGO OU REPRESA

As principais fontes de fósforo a um lago ou represa são, em ordem crescente de importância:

- drenagem pluvial
 - áreas com matas e florestas
 - áreas agrícolas
 - áreas urbanas
- esgotos

A drenagem pluvial de áreas com ampla cobertura vegetal, como matas e florestas, transporta a menor quantidade de fósforo. Nestas áreas, o fósforo não está superabundando no meio, já que o ecossistema se encontra próximo ao equilíbrio, não havendo nem grandes excessos, nem grandes faltas dos principais elementos.

A drenagem de áreas agrícolas apresenta valores mais elevados e, também, uma ampla variabilidade, dependendo da capacidade de retenção do solo, irrigação, tipo de fertilização da cultura e condições climáticas (CETESB, 1976 apud Von Sperling, 1996)

A drenagem urbana apresenta valores mais elevados e com menor variabilidade.

Os esgotos domésticos veiculados por sistemas de esgotamento dinâmico são, na realidade, a maior fonte de contribuição de fósforo. Este encontra-se presente nas fezes humanas, nos detergentes para limpeza doméstica e em outros subprodutos das atividades humanas. Com relação aos esgotos industriais, é difícil a generalização da sua contribuição, em virtude da grande variabilidade apresentada entre distintas tipologias industriais, e mesmo de indústria para indústria em uma mesma tipologia.

O Quadro 1 apresenta valores típicos da contribuição unitária de fósforo, compilados de diversas referências nacionais e estrangeiras (Von Sperling, 1996). A unidade de tempo adotada é “ano”.

Quadro 1. Contribuições unitárias de fósforo típicas.

Fonte	Tipo	Valores típicos	Unidade
Drenagem	Áreas de matas e florestas	10	kgP/km ² .ano
	Áreas agrícolas	50	kgP/km ² .ano
	Áreas urbanas	100	kgP/km ² .ano
Esgotos	Domésticos	1,0	kgP/hab.ano

Fonte: Von Sperling, 1996.

4. CICLO DO NITROGÊNIO

O nitrogênio é o elemento químico característico e fundamental dos aminoácidos (que formam as proteínas) e das bases nitrogenadas (que constituem os ácidos nucleicos, DNA e RNA). Sem proteínas e ácidos nucleicos, não há vida. Mesmo os mais simples seres vivos, os vírus, são formados por essas substâncias.

Ainda que a atmosfera seja o compartimento que mais armazena nitrogênio na forma gasosa (N_2), nele também podem ser encontrados óxidos de nitrogênio (NO e NO_2), resultantes da reação do N_2 , quando aquecidos acima de $100^\circ C$, como acontece nos motores de veículos. Além de contribuir para a destruição da camada de ozônio, o NO_2 (dióxido de nitrogênio) causa irritação nos olhos e dificuldades para a respiração no ser humano.

A grande maioria dos vegetais não consegue absorver o nitrogênio atmosférico. As raízes somente conseguem absorver o nitrogênio na forma iônica de nitrato, quando dissolvido na água. Esse é o reservatório, no solo e no oceano, de nitrogênio disponível para os produtores. A atmosfera, sendo um grande depósito de N_2 , pode ser considerada uma válvula de segurança do ciclo (Figura 6).

Há dois processos biológicos pelos quais o nitrogênio torna-se disponível aos vegetais. O primeiro é a fixação biológica direta, realizada por algas cianofíceas do gênero *Anabaena* e *Nostoc* (no ambiente aquático); por bactérias de vida livre no solo – como a *Azobacter* e a *Clostridium*; pela bactéria-púrpura fotossintetizante do gênero *Rhodospirillum*; e por bactérias simbiotes (*Rhizobium*) que vivem em nódulos nas raízes de leguminosas. Esses organismos produzem amônia a partir do nitrogênio atmosférico (N_2). Estando já dentro do corpo do vegetal, a amônia é diretamente usada nos processos bioquímicos celulares.

O outro processo é a nitrificação, realizada por bactérias quimiosintetizantes do solo, pela qual a amônia é transformada em nitratos em duas etapas:

- Nitrosação: realizada por bactérias *Nitrosomonas*, que produzem nitritos a partir da amônia. Como os nitritos são muito tóxicos para as plantas, não podem acumular-se no solo, e, para isso, é importante que seja eficiente a segunda etapa.
- Nitratação: realizada por bactérias *Nitrobacter*, que transformam nitritos em nitratos. Este é, então, absorvido pelas raízes das plantas e depois transformado em amônia, para poder ser usado nas células.

As fontes de amônia, importantes para esse processo, são: os adubos nitrogenados, os relâmpagos (o aquecimento do ar produz a reação do N_2), a excreção de animais e a decomposição da matéria orgânica.

Parte do nitrato do solo e do mar é perdida para a atmosfera e transformada em N_2 , devido à ação de bactérias desnitrificantes (como algumas *Pseudomonas*), que fecham o ciclo do nitrogênio. Essas bactérias realizam a reação de desnitrificação como uma forma de respiração anaeróbica. São encontradas, principalmente, em ambientes pobres em oxigênio, como pântanos.

Há uma parcela de nitrogênio que sai do ciclo, quando sais de nitrato se depositam no fundo dos mares, formando novas camadas de sedimentos. Essa perda é compensada pelas erupções vulcânicas, que liberam N_2 e amônia.

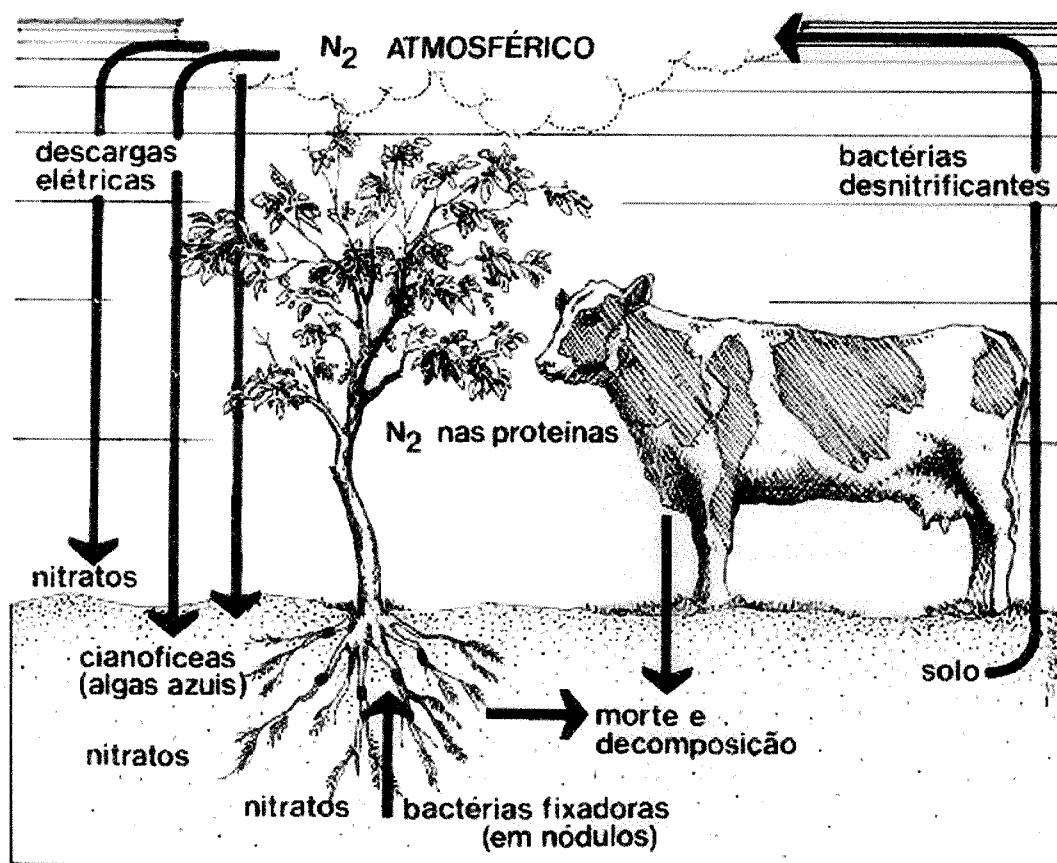


Figura 6. Ilustração do Ciclo do Nitrogênio
Fonte: Ecologia – Equilíbrio Ecológico

5. CICLO DO FÓSFORO

O ciclo do Fósforo (P) parece mais simples que o ciclo do Nitrogênio porque há menor número de etapas, e porque as etapas particulares do ciclo não são dependentes de grupos específicos de microrganismos (Figura 7). O ciclo do P também difere do ciclo do Nitrogênio pelo fato de que é a Crosta Terrestre, em vez da atmosfera, o reservatório primário de Fósforo. Não há quantidade significativa de gases que contenham P. Considerando que o fosfato $(\text{PO}_4)^{3-}$ - a única forma inorgânica de Fósforo importante - liga-se ao húmus e às partículas do solo, a reciclagem do Fósforo tende a ser muito localizada. O intemperismo das rochas e minerais por longos períodos é a fonte de maior parte do Fósforo presente na solução do solo. Comparada com a quantidade de Nitrogênio, a quantidade de P requerida pelas plantas é relativamente pequena. No entanto, de todos os elementos dos quais a Crosta Terrestre é reservatório primário, o Fósforo é o que provavelmente mais limita o crescimento vegetal. Na Austrália (e no Brasil), por exemplo, onde os solos são extremamente intemperizados e deficientes em Fósforo, a distribuição e os limites das comunidades de plantas nativas são freqüentemente determinados pela disponibilidade de fosfato do solo.

O Fósforo circula indo das plantas para os animais e sendo devolvido ao solo em formas orgânicas de resíduos e dejetos. Tais formas orgânicas do Fósforo são convertidas a Fosfato Inorgânico, pela ação de microrganismos, e assim o P torna-se novamente disponível para as plantas.

Parte do Fósforo é perdido do ecossistema terrestre pela lixiviação e erosão; no entanto, nos Ecossistemas mais naturais, o intemperismo das rochas pode compensar esta perda. O P perdido acaba alcançando os oceanos, onde é depositado e precipitado em sedimentos e nos restos de organismos marinhos. No passado, o uso de guano (depósito de fezes de aves marinhas) como fertilizantes agrícolas, devolvia uma parte do Fósforo oceânico para os ecossistemas terrestres. Contudo, a maior parte do Fósforo nos sedimentos profundos do mar se tornarão disponíveis somente como resultado de grandes soerguimentos geológicos. Os fertilizantes a base de fosfato são usados em solos agrícolas que apresentam níveis inadequados de P disponível para as plantas. Depósitos de rocha fosfatada são extraídos em larga escala para uso como fertilizantes agrícolas.

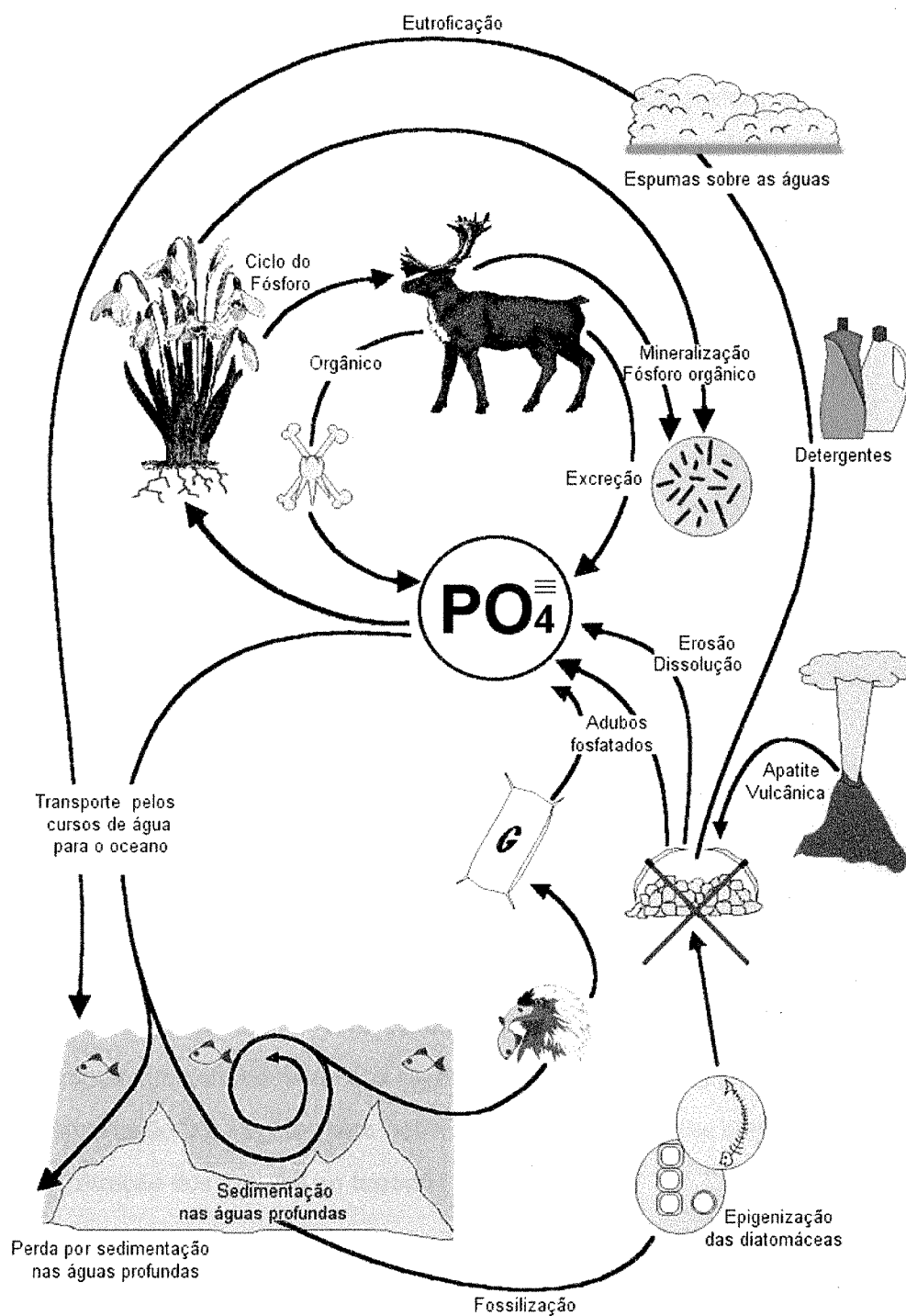


Figura 7. Ilustração do Ciclo do Fósforo
 Fonte: Servidor dos Alunos da UTAD

6. CONTROLE DA EUTROFIZAÇÃO

As estratégias de controle usualmente adotadas podem ser classificadas em duas categorias amplas (Thomann e Mueller, 1987 apud Von Sperling, 1996):

- medidas preventivas (atuação na bacia hidrográfica)
 - redução das fontes externas
- medidas corretivas (atuação no lago ou represa)
 - processos mecânicos
 - processos químicos
 - processos biológicos

6.1. MEDIDAS PREVENTIVAS

As medidas preventivas, as quais compreendem a redução do aporte de fósforo através de atuação nas fontes externas, podem incluir estratégias relacionadas aos esgotos ou à drenagem pluvial. As estratégias de controle dos esgotos estão ilustradas na Figura 8.

Controle dos esgotos

- Tratamento dos esgotos a nível terciário com remoção de nutrientes
- Tratamento convencional dos esgotos e lançamento a jusante da represa
- Exportação dos esgotos para outra bacia hidrográfica que não possua lagos ou represas
- Infiltração dos esgotos no terreno

Controle da drenagem pluvial

- Controle do uso e ocupação do solo na bacia
- Faixa verde ao longo da represa e tributários
- Construção de barragens de contenção

ESTRATÉGIAS PARA O CONTROLE DOS ESGOTOS

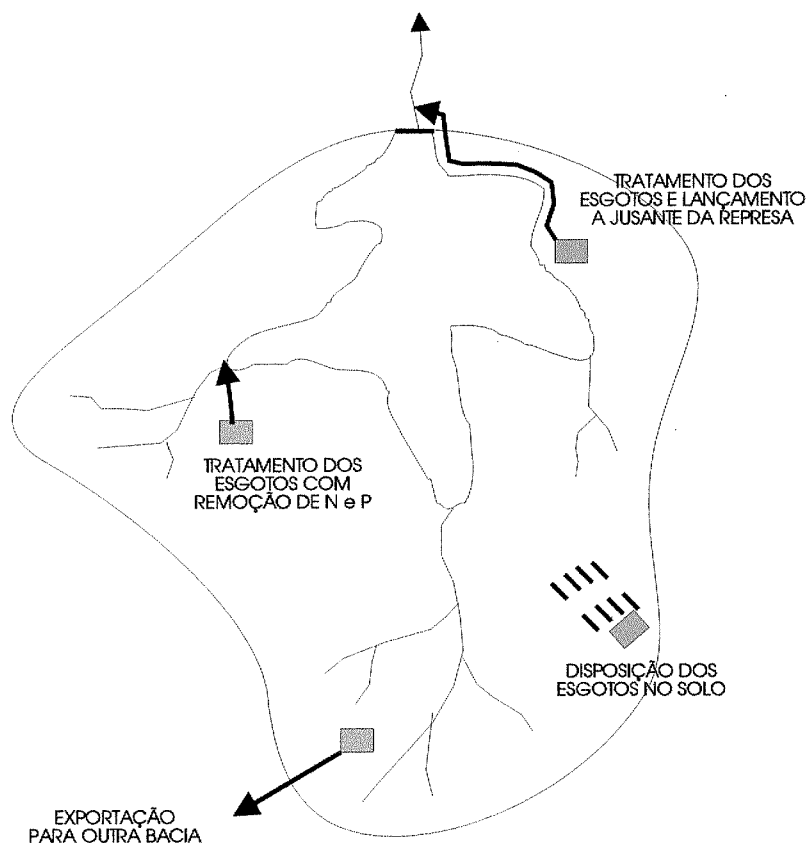


Figura 8. Estratégias para o controle dos esgotos visando a prevenção do aporte de nutrientes na represa.

Com relação ao tratamento dos esgotos com remoção de fósforo, esta pode ser efetuada por meio de processos biológicos e/ou físico-químicos.

A remoção avançada de fósforo no tratamento de esgotos por meio de processos biológicos foi desenvolvida há cerca de duas décadas, estando hoje bastante consolidada. O processo baseia-se na alternância entre condições aeróbias e anaeróbias, situação que faz com que um determinado grupo de bactérias assimile uma quantidade de fósforo superior à requerida para os processos metabólicos usuais. Ao se retirar estas bactérias do sistema, está-se retirando, em decorrência, o fósforo absorvido pelas mesmas. Com a remoção biológica de fósforo pode-se atingir efluentes com concentrações em torno de 0,5 mgP/l, embora seja mais apropriado considerar-se um valor mais conservador de 1,0 mgP/l.

A remoção de fósforo por processos físico-químicos baseia-se na precipitação do fósforo, após adição de sulfato de alumínio, cloreto férrico ou cal. O consumo de produtos químicos e a geração de lodo são elevados. O tratamento físico-químico após a remoção biológica de fósforo pode gerar efluentes com concentrações da ordem de 0,1 mgP/l.

6.2. MEDIDAS CORRETIVAS

As medidas corretivas a serem adotadas podem incluir uma ou mais das seguintes estratégias (Von Sperling, 1996):

Processos mecânicos

- Aeração
- Desestratificação
- Aeração do hipolímnio
- Remoção dos sedimentos
- Cobertura dos sedimentos
- Retirada de águas profundas
- Remoção de algas
- Remoção de macrófitas
- Sombreamento

Processos químicos

- Precipitação de nutrientes
- Uso de algicidas
- Oxidação do sedimento com nitratos
- Neutralização

Processos biológicos

- Biomanipulação
- Uso de cianófagos
- Uso de peixes herbívoros

Sempre que possível, deve-se dar grande ênfase aos métodos preventivos, usualmente mais baratos e eficazes.

7. CONCLUSÃO

Em termos de ação intervencionista, na realidade não restam dúvidas de que a ação do Estado se faz necessária para disciplinar o uso dos recursos naturais e assim manter um padrão de qualidade ambiental. A melhoria das condições de vida da população brasileira é uma aspiração de toda a nação, espelhada em todas as ações de governo como um objetivo nacional. Os recursos hídricos inserem-se neste contexto como prioritários sob os pontos de vista social, educacional e da dotação mínima de abastecimento de água, necessários e indispensáveis à manutenção da atividade econômica brasileira e mundial.

8. BIBLIOGRAFIA

ALMEIDA, Vinícius Campos de. Apostila de Silvicultura. Juiz de Fora: [s.n.], 2004. p.31

MILARÉ, Edis. Direito do Ambiente: Doutrina, Jurisprudência, Glossário. 4. ed. rev. atual. e ampl. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2005. p.279-280.

SARAIEGO, José Carlos. As Ameaças ao Planeta Azul. São Paulo: Scipione, 1994. p.104.

TUNDISI, José Galizia. Parcerias Estratégicas nº20. Pt2. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2005. p.728.

VON SPERLING, Marcos. Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos. Belo Horizonte: Desa-UFGM, 1996. p.126-137.

ZAMPIERON, Sonia Lucia Modesto. Poluição da Água. Disponível em:
<http://educar.sc.usp.br/biologia/textos/m_a_txt5.html>. Acesso em: 24/09/2005.