

## IV-199 - O IMPACTO DAS ATIVIDADES URBANA E AGRÍCOLA PARA AUMENTO DA CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO NAS ÁGUAS – ESTUDO DE CASO SOBRE O RIO TIETÊ

**Claudia Maria Gomes de Quevedo<sup>(1)</sup>**

Analista do Núcleo de Gestão Ambiental do Médio Tietê da Superintendência de Gestão Ambiental da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - SABESP. Doutoranda em Saúde Pública pela Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo - USP.

**Wanderley da Silva Paganini<sup>(2)</sup>**

Superintendente de Gestão Ambiental da Diretoria de Tecnologia, Empreendimentos e Meio Ambiente da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - SABESP. Professor Associado do Departamento de Saúde Ambiental da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo - USP.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Dr. Costa Leite, 2000 – Botucatu – São Paulo – SP – CEP 18606-820. Tel/Fax (14) 3811-8313. Email: claudiagomes@sabesp.com.br

### RESUMO

No decorrer das últimas décadas, as discussões sobre a dinâmica do fósforo no meio ambiente vêm sendo aprimoradas, uma vez que, na medida em que se verifica a aceleração dos processos de eutrofização de rios e reservatórios, se projeta um decréscimo nas reservas naturais desse elemento na natureza. Preocupados com essas questões, diversos países passaram a discutir as formas de controle das fontes de fósforo nas águas, através da redução da quantidade de tripolifosfato de sódio (STPP) presente nos detergentes em pó, do monitoramento dos lançamentos de efluentes domésticos e industriais, e da adoção de processos de produção agrícola mais controlados e sustentáveis. Face ao exposto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o impacto e a contribuição das atividades urbana e agrícola para o aporte de fósforo nas águas, discutindo as ferramentas adotadas para gestão e controle. Para melhor visualização do assunto, inserindo-o na realidade do Estado de São Paulo, apresenta-se uma análise de dados relativos a concentração populacional e a extensão das áreas cultivadas em uma bacia hidrográfica, em relação às concentrações de fósforo no compartimento água, ao longo de 22 anos, utilizando-se o rio Tietê como estudo de caso. Verifica-se a importância da evolução nas ferramentas de controle das fontes urbanas de fósforo, especialmente pela redução da presença de STPP nos sabões e detergentes.

**PALAVRAS-CHAVE:** Fósforo, esgotos domésticos, detergentes e áreas cultivadas.

### INTRODUÇÃO

A partir de meados do século XX, uma série de estudos vem sendo dedicados à análise da relação entre a presença de fósforo nas águas e os processos de eutrofização.

Com base nesses estudos, diversos países adotaram medidas para controle do aporte de fósforo nas águas, partindo, inicialmente, para a redução da concentração desse elemento nos esgotos, através da diminuição ou banimento da concentração de fosfatos em sabões e detergentes. Posteriormente, com base nos resultados obtidos, passaram a ser planejadas etapas para a implantação de sistemas avançados para tratamento dos esgotos e metodologias para controle das cargas difusas, especialmente aquelas provenientes de áreas agrícolas. (GLENNIE et. al, 2002; LLOYD, 2007; GILINSKY, 2009)

Também, de forma paralela, outros estudos relativos ao fósforo são conduzidos. Considerando-se que as fontes de fósforo no meio ambiente são finitas e não renováveis, e diante da perspectiva de esgotamento das suas reservas naturais, são discutidas medidas que contribuam para sua reutilização e reciclagem. (CATHCART, 1980; TAYLOR e KILMER, 1980; BRANCO e ROCHA, 1987; LLOYD, 2007)

Busca-se, assim, melhorar a qualidade das águas e promover a preservação das reservas naturais de fósforo, de forma integrada e sistêmica, em prol da proteção do meio ambiente e da garantia da qualidade de vida da atual e das futuras gerações.

Nesse contexto, a análise do impacto das atividades antrópicas para o aporte de fósforo nas águas é de grande importância, pois visa a obtenção de dados técnicos que fundamentem e direcionem as ações voltadas para o controle das fontes.

Para o Brasil, o aprofundamento desses estudos e o dimensionamento dessas fontes podem oferecer subsídios importantes para que as medidas de gerenciamento e controle estejam de acordo com a realidade de cada Estado, levando-se em conta as especificidades sociais, econômicas e ambientais de cada região, e a necessidade de universalização dos serviços de saneamento.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A realização deste trabalho envolveu o levantamento de informações sobre o elemento químico fósforo, sua dinâmica no meio ambiente e seu comportamento no solo e nas águas, bem como sobre as atividades antrópicas que contribuem para o seu aporte em rios e reservatórios.

Para avaliação do impacto dessas atividades, foi efetuada a análise da evolução dos dados relativos à concentração populacional e extensão das áreas cultivadas na bacia hidrográfica do rio Tietê, em relação às concentrações de fósforo no compartimento água, ao longo de 22 anos, no período entre 1986 e 2007. Justifica-se a escolha do Tietê devido a alguns fatores que lhe conferem características bastante particulares, como a diversidade de formas de uso e ocupação da bacia, os contrastes relacionados com a qualidade das águas e a existência de grandes represas ao longo do seu curso, característica que lhe altera o regime hídrico, contribuindo para a redução da velocidade das águas e favorecendo a precipitação do nutriente.

Os dados secundários sobre a concentração de fósforo na coluna d'água foram compilados a partir das informações fornecidas pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), através da Rede de Monitoramento de Águas Interiores, apresentadas anualmente no Relatório de Qualidade das Águas Interiores. Além de ser o sistema oficial de controle e monitoramento da qualidade das águas do Estado de São Paulo, a utilização dos dados dessa rede de monitoramento permite uma análise da evolução histórica das concentrações do nutriente no rio, uma vez que as localizações dos pontos de amostragem permanecem inalteradas.

Para levantamento dos dados sobre áreas cultivadas, foram utilizadas informações disponibilizadas pela Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI) e dados contidos no Levantamento das Unidades de Produção Agropecuária (LUPA), trabalho que apresenta a evolução das condições de uso agrícola do solo do Estado de São Paulo nos anos de 1998 a 2008. Em relação à concentração populacional, foram compilados os dados sobre população total e urbana disponibilizados pela Fundação Sistema Nacional de Análise de Dados (SEADE) através do sistema de Informações dos Municípios Paulistas (IMP).

Posteriormente, foi calculada a carga potencial de fósforo lançada nas águas através dos esgotos domésticos, com base nas informações sobre população urbana, estimando-se a contribuição decorrente da utilização de detergentes fosfatados, e em áreas cultivadas, a partir das estimativas de perdas de terra e da concentração média de fósforo nos solos do Estado de São Paulo.

De acordo com VON SPERLING (2005), citando Mota (1988), um trabalho de quantificação das cargas poluidoras em uma bacia hidrográfica deve levar em conta também outros levantamentos que abrangem dados físicos e comportamento hidráulico, tais como geologia, precipitação pluviométrica, escoamento, variações climáticas, temperatura, evaporação, vazões, volume de reservatório, profundidade, etc. No caso do presente trabalho, tais informações não serão abordadas, uma vez que se busca oferecer uma visão geral do problema e fornecer informações sobre o impacto potencial das atividades agrícola e urbana para o aporte de fósforo nas águas como forma de auxiliar no planejamento de medidas para proteção dos recursos naturais e gerenciamento dos recursos hídricos.

## O ELEMENTO QUÍMICO FÓSFORO

Classificado como um macronutriente primário, o fósforo possui papel relevante nos processos metabólicos de todos os organismos vivos, com participação na formação do ácido desoxirribonucléico (DNA), do ácido ribonucléico (RNA) e da adenosina tri-fosfato (ATP). No corpo humano, estima-se que cerca de 70% do fósforo ingerido seja absorvido; no homem, a deficiência de fósforo pode causar dificuldades e problemas de crescimento e baixo desenvolvimento de ossos e músculos, especialmente em recém-nascidos. (ESTEVES, 1988; BRAGA et al., 2002)

O fósforo encontra-se disponível na natureza, basicamente, nas rochas sedimentares e ígneas, de forma associada a outros elementos químicos, como cálcio, sódio, flúor, cloro, ferro, alumínio e magnésio. Sua obtenção se dá através dos trabalhos de exploração de minérios como a apatita ( $\text{Ca}_5\text{Cl}(\text{PO}_4)_3$  ou  $\text{Ca}_5\text{F}(\text{PO}_4)_3$ ) e a fosforita ( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ). (MACRAE et al., 1993; RUSSEL, 1994)

O início da exploração das fontes de fósforo visando sua utilização comercial ocorreu em meados do século XIX, em decorrência da sua aplicação nos fertilizantes; a partir do início do século XX, por meio do desenvolvimento industrial e tecnológico, outros produtos passaram a ser industrializados à base de fósforo, tornando esse nutriente ainda mais importante economicamente. Como resultado, CATHCART (1980) destaca que enquanto no ano de 1887 produzia-se 1 milhão de toneladas de fosfato, em 1938 a produção já era de 12 milhões de toneladas, destinada aos mais diversos usos.

Com base nas informações a respeito do volume de rocha fosfática disponível e de acordo com as demandas hoje existentes, são apresentadas previsões a respeito do esgotamento das reservas de fósforo no meio ambiente. De acordo com CORDELL (2008), no ritmo atual de exploração e a partir do crescimento populacional previsto, calcula-se que as reservas de rocha fosfática conhecidas e exploráveis estejam extintas no período de 50 a 100 anos.

Dados estimados pelo *United States Geological Survey* (USGS), apresentados no ano de 2003, apontam que o volume das reservas de fósforo pode ser estimado em 17 bilhões de toneladas, com uma longevidade projetada para 120 anos. (LOPES et al., 2004)

Apesar das divergências em relação à quantidade e tempo de duração das reservas de rocha fosfática, percebe-se em todos os casos uma clara tendência de esgotamento caso não sejam adotadas ações para gerenciamento e reaproveitamento do nutriente. O aprofundamento dos estudos relacionados à utilização de fósforo pelas plantas, às alternativas para sua reciclagem em áreas utilizadas para a produção agrícola e ao controle de seu uso em áreas urbanas, caminham de forma paralela à necessidade de redução da quantidade de fósforo lançada nos corpos d'água.

## A PRESENÇA DE FÓSFORO NAS ÁGUAS

O transporte através das águas é parte fundamental do ciclo do fósforo, correspondendo à forma predominante com que o fosfato se move através do meio ambiente.

A presença do fósforo em rios e reservatórios relaciona-se diretamente com o nível e intensidade das contribuições, sejam elas naturais ou artificiais. As fontes naturais estão relacionadas principalmente com as cargas difusas, devido aos processos erosivos da bacia de contribuição, à decomposição dos organismos aquáticos e dos vegetais que compõem as matas ciliares, ao assoreamento do corpo d'água, ao intemperismo das rochas e à intensidade das trocas ocorridas entre o sedimento e a coluna d'água. As fontes artificiais ou antrópicas são aquelas decorrentes da atividade humana, destacando-se dentre essas fontes, os lançamentos de esgotos domésticos, os despejos de efluentes industriais e o escoamento superficial de áreas cultivadas.

Em bacias mais desenvolvidas economicamente e com grande concentração populacional, a origem do fósforo está mais relacionada com as fontes denominadas artificiais ou antrópicas. Nesses locais, apesar de ocorrer o aporte de fósforo por influência dos processos naturais, estima-se que as fontes artificiais sejam sensivelmente mais importantes. (BRANCO, 1978; ESTEVES, 1988; CHAVE, 1997; VON SPERLING, 2005; PIVELI e KATO, 2005)

O aporte de fósforo em excesso nas águas está relacionada com a eutrofização, processo que corresponde às alterações qualitativas e quantitativas da produtividade biológica de um corpo hídrico em decorrência da introdução em excesso de nutrientes. Os principais efeitos da eutrofização, relatados por TUNDISI (2003), referem-se à redução dos níveis de oxigênio, com consequente mortalidade de peixes, crescimento de algas, elevação na concentração de matéria orgânica, alteração na composição de espécies de peixes e efeitos na saúde humana, crônicos e agudos. Acrescente-se a esses, os efeitos econômicos e sociais, como a deterioração de lagos recreacionais, dificuldades no transporte e aumento nos custos do tratamento da água.

Em um ambiente eutrofizado, a floração de cianobactérias é especialmente perigosa, pois diversas espécies liberam toxinas, causando sérios prejuízos às águas utilizadas para abastecimento público. Foi a presença dessas toxinas que provocou a morte de 40 pacientes de uma clínica de hemodiálise de Caruaru, no estado de Pernambuco, no ano de 1996. Nos Estados Unidos, surtos de uma espécie de alga microscópica ocorridos no início da década de 90 foram relacionados à eutrofização. Os danos neurológicos causados nas pessoas expostas ao material altamente tóxico e volátil produzido por essa alga auxiliou na conscientização pública em relação aos efeitos da presença de nutrientes nas águas e na evolução das discussões quanto à necessidade de solução. (OSÓRIO e OLIVEIRA, 2001; SHARPLEY et al., 2003)

Segundo GLENNIE et al. (2002), pode-se considerar que as principais fontes antrópicas de fósforo nas águas sejam os esgotos domésticos e a atividade agrícola, sendo que a mensuração de seus impactos está relacionada com a forma de uso e ocupação do solo no âmbito da bacia hidrográfica. Em locais onde a agricultura é menos intensiva, os esgotos domésticos são a maior fonte e as medidas para redução e controle das quantidades lançadas através dos efluentes são necessárias para melhoria da qualidade das águas. Em locais onde a agricultura é intensiva, essa pode ser a principal fonte de fósforo nas águas, sendo necessárias medidas para manejo da terra e gerenciamento do uso de fertilizantes.

Além disso, de acordo com VOLLENWEIDER (1968), a quantidade de fósforo transportada para um corpo d'água é bastante variável nas atividades desenvolvidas, tanto em áreas cultivadas como em áreas urbanas. No caso da atividade agrícola, as áreas aradas e os campos oferecem uma contribuição maior, comparativamente às áreas cobertas com florestas; para a atividade urbana, a maior contribuição de fosfato tem origem nos esgotos domésticos, sendo representado pelo material fecal e pelos detergentes sintéticos.

## IMPACTOS DA ATIVIDADE AGRÍCOLA

Os principais impactos na qualidade das águas associados com a atividade agrícola são decorrentes do transporte da matéria orgânica de origem animal, da utilização de fertilizantes e da ocorrência de processos erosivos. Estima-se que cerca de 80% das perdas de solo em áreas agrícolas estejam relacionadas com o carreamento das camadas superficiais pelas águas da chuva ou pela irrigação, especialmente quando utilizado o método de irrigação por sulcos. (SHARPLEY et al., 2003)

A contribuição da atividade agrícola para o aporte de fósforo nas águas é considerada de difícil quantificação devido ao seu caráter difuso e à existência de alguns fatores que tornam as perdas de nutrientes bastante suscetíveis a variações, como condições hidrológicas, tipos de solo, espécies cultivadas, técnicas agrícolas utilizadas, métodos de irrigação adotados e formas de manejo de fertilizantes.

Estudos efetuados ao longo dos anos apontam que a aplicação contínua e de longo prazo de fertilizantes em quantidades que excedem a necessidade das culturas, pode aumentar a concentração de fósforo no solo, contribuindo para a ocorrência de perdas. Nos Estados Unidos, testes laboratoriais realizados em amostras de solo de diversas regiões agrícolas, demonstram que cerca de 53% das áreas agricultáveis do país possuem níveis altos de fósforo, requerendo baixa ou ausência de aplicação de fertilizante fosfatado. A maior parte dessas áreas situa-se próxima de locais suscetíveis à eutrofização, como por exemplo, a Região dos Grandes Lagos e os mananciais da Costa Leste. (SHARPLEY et al., 2003)

O coeficiente de perdas de fósforo em áreas agrícolas é bastante variável, situando-se na faixa de 0,15 a 1,4 kg/ha/ano. (VOLLENWEIDER, 1968; GLENNIE et al., 2002; SHARPLEY et al., 2003)

No Estado de São Paulo, estudos efetuados pela CATI para a safra do período 1987/1988 concluíram que as perdas potenciais de fósforo em áreas cultivadas podem ser estimadas em 5.045t/ano, o que corresponde a 0,20

kg/ha/ano. Para esse cálculo foram considerados o teor médio natural desse nutriente nos solos do Estado e as quantidades médias adicionadas artificialmente através da aplicação de fertilizantes, totalizando 0,002614%. Tais valores têm como base as perdas de terra decorrentes dos processos erosivos e do escoamento superficial, estimadas para aquele período, calculadas em 193 milhões t/ano. (BELLINAZZI Jr et al., 1981; BERTOLINI e LOMBARDI NETO, 1994)

## IMPACTOS DA ATIVIDADE URBANA

Em relação à atividade urbana, o aporte de fósforo nas águas está mais relacionado com cargas pontuais, mais especificamente o lançamento de esgotos domésticos e efluentes industriais.

No caso dos efluentes industriais, a presença de fósforo tem relação com sua utilização como matéria-prima básica na composição e processamento do produto, em diversos graus de purificação, ou com o desempenho do processo produtivo em si, como por exemplo, para minimizar ou evitar problemas com incrustações em caldeiras, reduzir as precipitações em sistemas de resfriamento e em trocadores de calor e, mais recentemente, em fábricas de dessalinização. Nos efluentes oriundos do processamento do produto, a presença de fosfato relaciona-se com as atividades da indústria alimentícia, usinas de açúcar e álcool, laticínios, frigoríficos e produtos de limpeza, dentre outras; relaciona-se também, com o emprego de detergentes na etapa de “limpeza ou lavagem” de linhas de produção dos mais diversos ramos de atividade, como por exemplo, em indústrias têxteis e de alimentos. (SOLT, 1975; BRAILE e CAVALCANTI, 1979)

GLENNIE et al. (2002) destacam que, no que se refere ao aporte de fósforo nas águas, a contribuição das fontes industriais de fosfato tem sido considerada menos importante que a concentração urbana ou a atividade agrícola, já que o fósforo, na maioria dos processos produtivos, é considerado matéria-prima importante e de custo elevado, que normalmente não é descartada através dos efluentes.

Nos esgotos domésticos, o fósforo aparece na forma de compostos orgânicos, como por exemplo, as proteínas, e em compostos minerais, principalmente polifosfatos e ortofosfatos. Isto porque, além de sua origem orgânica, através do material fecal, o elemento químico fósforo tem aplicação bastante difundida em diversos produtos industrializados que são consumidos ou utilizados domesticamente pelo homem, desde produtos farmacêuticos, até gêneros alimentícios e produtos de limpeza. (BRAILE e CAVALCANTI, 1979; PIVELI e KATTO, 2005)

De acordo com METCALF e EDDY (2003), os esgotos domésticos possuem concentração de fósforo da ordem de 4 a 50 mg.P/L, a partir de uma produção diária de 1 a 3 g por pessoa. Para o Brasil, VON SPERLING (2005) aponta que a contribuição per capita de fósforo é de 0,7 a 2,5 g/hab/dia e a concentração típica desse elemento nos esgotos domésticos situa-se na faixa de 4 a 15 mg.P/L, sendo que a fração orgânica fica compreendida entre 1 a 6 mg.P/L e a fração inorgânica, entre 3 a 9 mg.P/L.

Calcula-se que nos locais onde há utilização doméstica de detergentes compostos por tripolifosfato de sódio (STPP), de forma geral, cerca de 50% do fósforo presente nos esgotos sanitários tem essa origem. Esse valor pode chegar a até 80%, dependendo das condições sócio-econômicas da população. (DEVEY e HARKNESS, 1975; ESTEVES, 1988; CHORUS e BARTRAN, 1999; GLENNIE et al. 2002)

## MEDIDAS DE GERENCIAMENTO E CONTROLE

A partir da década de 60, os estudos relativos à disponibilidade de fósforo, à produtividade biológica e à fertilização têm sido aprimorados e diversos países passaram a discutir medidas para gerenciamento e controle do aporte de fósforo nas águas, através da adoção de medidas corretivas e medidas preventivas, partindo inicialmente para a redução da utilização de fosfatos nos detergentes e sabões em pó, já que esta é considerada uma importante fonte de fósforo nos esgotos. No início da década de 70, diversas localidades passaram a restringir o uso de STPP nos detergentes, principalmente na Europa e nos Estados Unidos, sendo que países como Suíça, Bélgica e Holanda, dentre outros, baniram sua utilização. (GLENNIE et al., 2002)

Posteriormente, especialmente a partir da década de 90, passaram a ser adotadas ações para remoção de fósforo em sistemas de tratamento de esgotos. Na União Européia, a *Council Directive* nº 271/1991 estabeleceu critérios para direcionamento dos investimentos, considerando o porte do município e sua localização em



relação às áreas consideradas sensíveis à eutrofização. Nos Estados Unidos, o programa federal *Permit Compliance Systems* (PCS), instituído em 1997, monitora a concentração do fósforo nos lançamentos de esgotos em áreas consideradas críticas, como a Costa Leste e a região dos Grandes Lagos. De forma complementar, diversas localidades introduziram um “selo verde” para os detergentes com baixo teor de fosfato, oferecendo aos consumidores uma opção de compra mais sustentável e estimulando os fabricantes a desenvolver produtos e processos de produção mais adequados à proteção ambiental. Dentre esses “selos”, pode-se citar o *Nordic White Swan*, utilizado na Suécia, Finlândia, Dinamarca, Islândia e Noruega e o *Eco-Label*, utilizado nos países da União Européia. (EC, 1991; GLENNIE et al., 2002)

Além disso, passaram a ser adotadas medidas para controle das perdas de fósforo na atividade agrícola, especialmente através da fiscalização e controle das quantidades fertilizantes utilizadas e da otimização das formas de uso e manejo dos fertilizantes de acordo com as diferentes culturas e tipos de solo, viabilizando a implementação de processos produtivos mais controlados e sustentáveis. Nos Estados Unidos, por exemplo, o *Nonpoint Source Management Program*, instituído em 1987, estabelece uma subvenção governamental para execução de medidas de educação, assistência técnica, treinamento e transferência de tecnologia para projetos de controle da poluição difusa proveniente de áreas agrícolas, sendo que diversos Estados passaram a estabelecer limites para a concentração de fósforo em solos para uso agrícola, fornecendo recomendações quanto ao manejo mais adequado nas bacias hidrográficas de forma a evitar perdas de nutrientes e outras consequências ambientais. (SHARPLEY et al., 2003; GILINSKY et al., 2009)

Na União Européia, a Diretiva nº 60, de 23/10/2000, une todas as legislações a respeito do assunto e estimula os Estados-Membros a instituir programas de gerenciamento da atividade agrícola para cada região hidrográfica, exigindo a aplicação das melhores práticas ambientais. (EC, 2000)

No Brasil, a questão dos impactos das atividades do homem sobre o ciclo do fósforo e seus efeitos no meio ambiente está direcionada para controle das fontes urbanas, através da discussão sobre sua presença nos corpos d'água receptores de efluentes e pela limitação da presença de fósforo nos detergentes para uso doméstico, conforme preconizado nas Resoluções nº 357, de 29/04/2005 e nº 359, 29/04/2005, respectivamente, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

Por meio da Resolução CONAMA nº 359/2005, estabeleceu-se uma redução gradativa nos teores de fósforo empregados nos detergentes em pó para uso doméstico em lavanderias, até atingir o limite de 10,99% em peso de fosfato ( $P_2O_5$ ) ao final de 36 meses. Tal iniciativa, que vai ao encontro de ações já adotadas por outros países, tem como objetivo promover uma redução média de 30% na quantidade do elemento químico lançada nos rios. Estabelece-se ainda, conforme art. 7º, a previsão de revisão do conteúdo da Resolução em um período de 12 meses após a implementação da última redução, ou seja, em abril/2009, de forma a serem considerados dados sobre a evolução da redução dos níveis de fósforo nas águas e a avaliação dos métodos de controle empregados. (CONAMA, 2005; PACHIONI, 2005)

No entanto, ainda que tal legislação esteja sendo devidamente aplicada e fiscalizada, sua importância e seus resultados práticos não foram comunicados e informados à população, podendo-se avaliar que sua abrangência não atingiu a sociedade de forma plena. Ainda que o STPP seja sistematicamente empregado, não há referências sobre a sua presença ou concentração nos rótulos dos produtos comercializados.

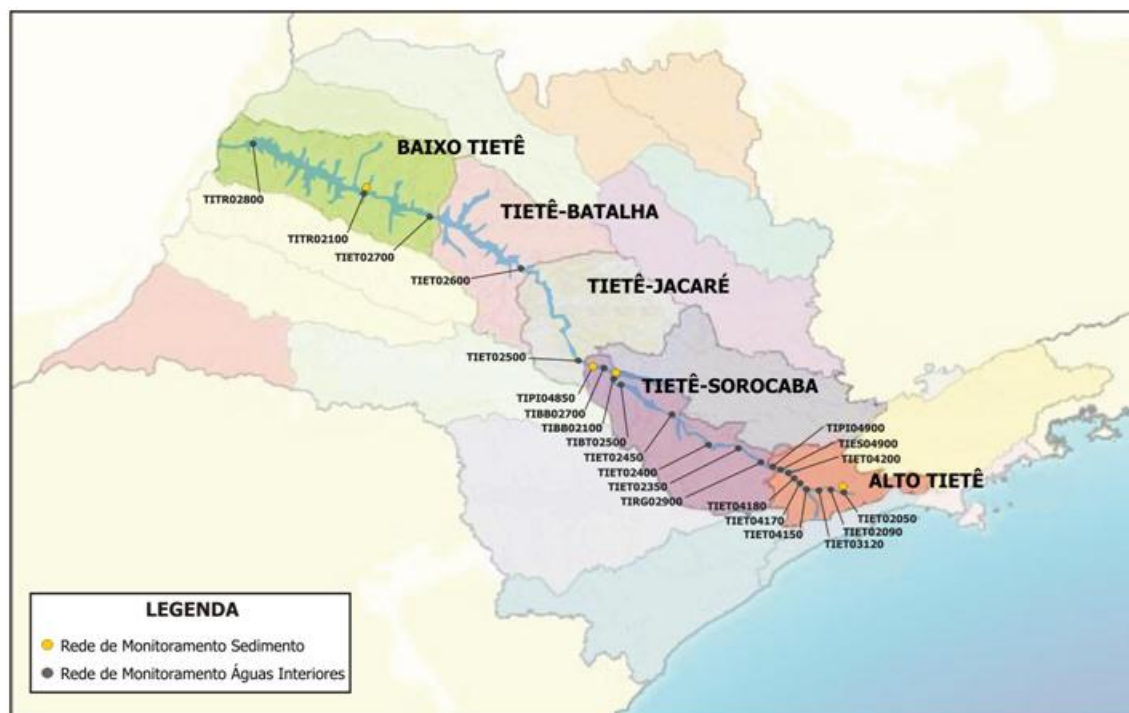
No que se refere à atividade agrícola, as discussões no país são ainda bastante incipientes, não existindo legislação específica para regulamentação do assunto.

## ESTUDO DE CASO SOBRE O RIO TIETÊ

Com uma extensão de 1.136 km, o Tietê é considerado o rio mais importante de São Paulo. A bacia hidrográfica do rio Tietê ocupa uma área total de 71.381 km<sup>2</sup> e abrange 233 municípios, tratando-se da maior bacia do Estado, em termos territoriais, correspondendo a 28,7% da sua área total. Na bacia do Tietê estão inseridas importantes áreas metropolitanas e outras regiões de alta concentração demográfica; possui também, importantes pólos industriais e pólos de desenvolvimento no interior do Estado, caracterizados pela intensa atividade agropecuária, especialmente nas porções média e baixa. (PAGANINI, 2007)

Conforme estabelecido pela Lei 9.034/94, que instituiu o Plano Estadual de Recursos Hídricos, a bacia do Tietê

está dividida em seis Unidades de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (UGRHs), sendo: Alto Tietê, Piracicaba/Capivari/Jundiaí, Tietê/Sorocaba, Tietê/Jacaré, Tietê/Batalha e Baixo Tietê. Na Figura 01 abaixo, pode-se observar a localização das UGRHs do rio Tietê.

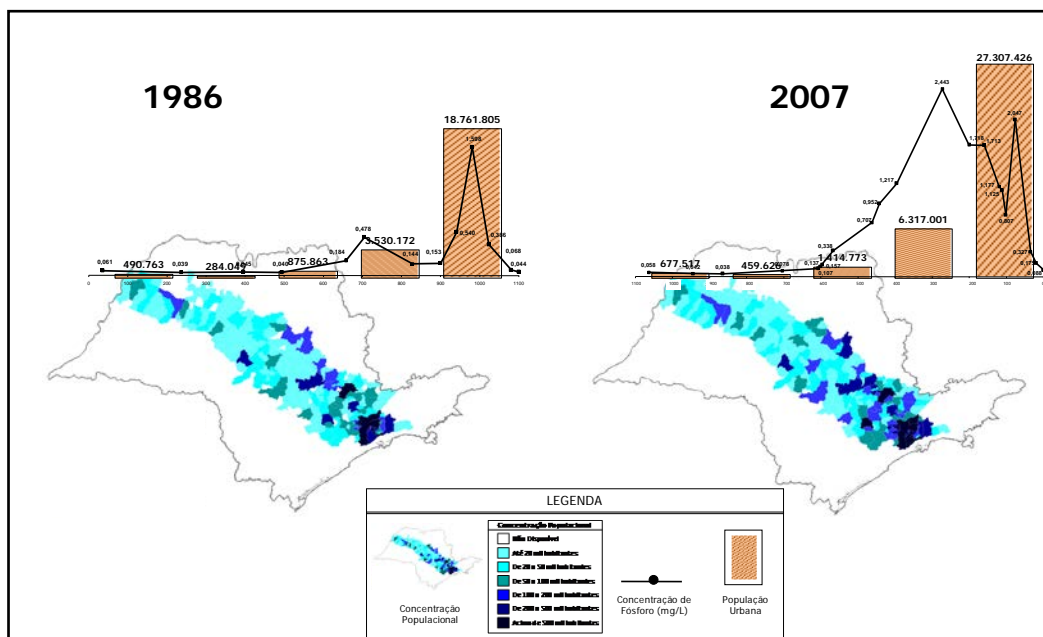


**Figura 01:** Localização das UGRHs da bacia hidrográfica do rio Tietê.

No período de 10 anos compreendido entre 1998 e 2008, a extensão das áreas cultivadas na bacia do Tietê foi alterada de 4,3 milhões ha para 5,3 milhões ha, um crescimento que corresponde a cerca de 24%. Em termos percentuais, as maiores expansões ocorreram nas UGRHs Piracicaba/Capivari/Jundiaí e Tietê/Sorocaba, com um aumento de mais de 292 mil ha e 248 mil ha, respectivamente. Deve-se destacar, entretanto, a situação da UGRHI Baixo Tietê; apesar da baixa ampliação das áreas cultivadas ocorrida no período, em termos numéricos e percentuais, somente no ano de 2008 mais de 1,5 milhões ha da Unidade de Gerenciamento foram destinados à atividade agrícola, o que corresponde a quase 92% do território total da UGRHI.

Em relação à concentração populacional, a bacia do rio Tietê registrou no ano de 2007 mais de 28,7 milhões de habitantes, sendo que, desse total, 27,3 milhões de habitantes estão localizados em áreas urbanas, o que corresponde a 71% da população urbana do Estado de São Paulo para aquele ano. No período entre 1986 e 2007, o número de habitantes da bacia foi ampliado em cerca de 8,7 milhões de habitantes; em termos numéricos, o maior crescimento populacional da bacia do Tietê, de mais de 5,3 milhões, se dá na UGRHI Alto Tietê, enquanto que em termos percentuais, as maiores taxas de crescimento médio anual são verificadas nas UGRHs Piracicaba/Capivari/Jundiaí e Tietê/Sorocaba, com 2,73% e 3,07%, respectivamente.

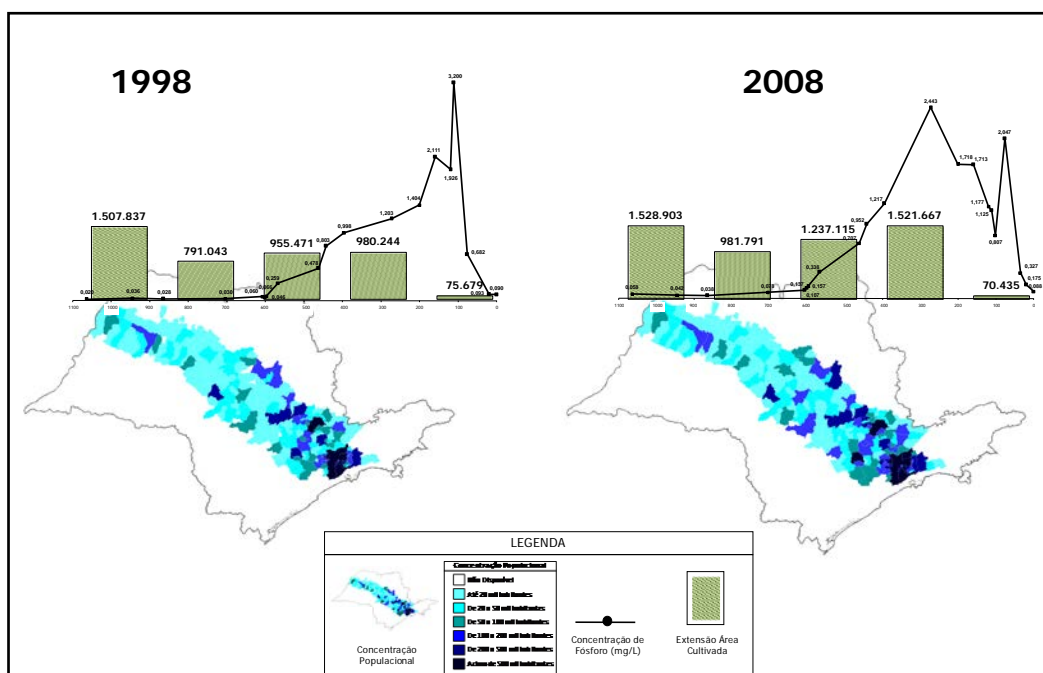
Da análise do comportamento do fósforo nas águas do Tietê no período entre 1986 e 2007, verifica-se que as maiores concentrações desse elemento tendem a ocorrer nas regiões mais urbanizadas, podendo-se avaliar, assim, que o crescimento populacional experimentado pelas UGRHs nesses 22 anos foi acompanhado de um aumento nas concentrações de fósforo na coluna d'água. A fim de permitir uma visualização gráfica das informações descritas, a Figura 02, a seguir, apresenta a comparação dos dados sobre concentração de fósforo nas águas, população total, população urbana, com base nos dados relativos aos anos de 1986 e 2007.



**Figura 02:** Comparação dos dados concentração de fósforo nas águas, população total e população urbana – Anos 1986 e 2007.

Fonte: QUEVEDO, 2009.

No que se refere à atividade agrícola, verifica-se que nos locais da bacia onde as áreas cultivadas são mais extensas, a concentração do nutriente nas águas é mais reduzida. No Baixo Tietê, inclusive, que possui as maiores áreas cultivadas da bacia, a concentração média de fósforo nas águas no período entre 1998 e 2008 manteve-se na faixa de 0,03 mg.P/L, valor enquadrado no limite estabelecido para ambientes lênticos classe 2, estipulado pela Resolução CONAMA nº 357/2005. A Figura 03 abaixo, apresenta a comparação gráfica dos dados sobre concentração de fósforo nas águas e extensão das áreas cultivadas nos anos de 1998 e 2008.



**Figura 03:** Comparação dos dados concentração de fósforo nas águas e extensão das áreas cultivadas – Anos 1998 e 2008.

Fonte: QUEVEDO, 2009.



A estimativa de carga potencial de fósforo lançada no rio, decorrente da concentração populacional e extensão das áreas destinadas à atividade, demonstra que enquanto a contribuição de fósforo a partir dos esgotos domésticos pode ser estimada em 68,3 t/dia, a contribuição decorrente das perdas em áreas cultivadas é de 3 t/dia. Ainda, da parcela de fósforo oriunda dos esgotos, estima-se que a quantidade decorrente do uso de detergentes seja da ordem de 34,1 a 54,6 t/dia. Para elaboração dessa relação, calcula-se que cada pessoa seja responsável pelo lançamento de 2,5 g/dia de fósforo a partir dos esgotos domésticos, e que, em cada hectare cultivado no Estado de São Paulo, o potencial de perdas de terra seja da ordem de 7,852 t/ha/ano, com concentrações de fósforo de 0,002614%.

Com as reduções propostas pela Resolução CONAMA nº 359/05, que regulamenta as concentrações de fósforo nos detergentes em pó, a quantidade de nutriente lançada nas águas do Tietê a partir dessa fonte poderia ser estimada, ainda, em 23,9 a 38,2 t/dia, o que pode ser considerado um valor ainda bastante elevado. Na Tabela 01 a seguir, pode-se visualizar um comparativo entre as cargas potenciais de fósforo na bacia do Tietê, a partir das atividades urbana e agrícola, para o ano de 2007, bem como as contribuições estimadas de STPP antes e após a aplicação da Resolução CONAMA nº 359/05.

**Tabela 01:** Cargas potenciais de fósforo na bacia do Tietê, em decorrência das atividades agrícola, urbana e do uso de detergentes contendo STPP, em t/dia, no ano de 2007.

Unidade de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (UGRHI)	Atividade Agrícola		Atividade Urbana		Detergentes - STPP			
	Área Cultivada	Carga Estimada de Fósforo	População Urbana	Carga Estimada de Fósforo	Antes CONAMA 359/05		Após CONAMA 359/05	
	(ha)	(t/dia)	(nº hab)	(t/dia)	Faixa (t/dia)		Faixa (t/dia)	
Alto Tietê	70.435	0,0	18.438.509	46,1	23,0	36,9	16,1	25,8
Piracicaba/Capivari/Jundiaí	846.600	0,5	4.691.885	11,7	5,9	9,4	4,1	6,6
Tietê/Sorocaba	675.067	0,4	1.625.116	4,1	2,0	3,3	1,4	2,3
Tietê/Jacaré	1.237.115	0,7	1.414.773	3,5	1,8	2,8	1,2	2,0
Tietê/Batalha	981.791	0,6	459.626	1,1	0,6	0,9	0,4	0,6
Baixo Tietê	1.528.903	0,9	677.517	1,7	0,8	1,4	0,6	0,9
<b>Total da Bacia do Tietê</b>	<b>5.339.911</b>	<b>3,0</b>	<b>27.307.426</b>	<b>68,3</b>	<b>34,1</b>	<b>54,6</b>	<b>23,9</b>	<b>38,2</b>

Fonte: QUEVEDO, 2009.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O controle do aporte de fósforo nas águas é de grande importância para a melhoria da qualidade das águas e para garantia da saúde pública. Em áreas com maior concentração populacional, a atuação nas fontes urbanas demonstra ser fundamental, podendo-se destacar a importância do controle de seu uso nos detergentes.

A redução dos teores de fósforo nos detergentes pode ser considerada uma ação preventiva aos processos de eutrofização, já que as cargas de fósforo presentes nos esgotos decorrentes do emprego de STPP na formulação desses produtos poderiam ser evitadas, reduzindo as emissões. O estabelecimento de limites para lançamento de esgotos e efluentes é também de grande importância, no entanto, tal iniciativa deve ser avaliada com os devidos cuidados, pois poderá demandar a necessidade da implantação de sistemas avançados para tratamento dos esgotos, que possuem altos custos de implantação, operação e manutenção.

Ou seja, a exemplo de outros países, necessita-se de uma evolução nas ferramentas para controle das fontes de fósforo, a ponto de banir a utilização de STPP nos detergentes, para depois serem sugeridas metodologias para implantação de sistemas terciários para tratamento dos esgotos, de forma gradual e criteriosa, levando-se em conta as diferentes características sociais, econômicas, ambientais e demográficas, bem como a capacidade técnica e o potencial de investimento de cada região.

Face ao exposto, em relação à atividade urbana, recomenda-se:

- Fiscalizar o cumprimento da Resolução CONAMA nº 359/05 e efetuar sua revisão, conforme previsto em seu art. 7, avaliando-se a necessidade da adoção de limites mais restritivos;
- Implementar um processo de comunicação e conscientização da população em relação a esse assunto;

- Definir um critério de etapas para a implantação de sistemas avançados para tratamento dos esgotos, de acordo com a motivação ambiental, a capacidade de investimento e as metas para universalização dos serviços de saneamento, tendo como base a realidade sócio-econômica brasileira;
- Intensificar os serviços de fiscalização e monitoramento dos pontos de lançamento, mapeando as indústrias que lançam fósforo em seus efluentes;
- Estimular a adoção de alternativas sustentáveis para tratamento de esgotos que auxiliem no aumento das taxas de retorno do fósforo ao seu ciclo natural e que contribuam para sua reciclagem e reutilização, como por exemplo, os sistemas de disposição de esgotos e efluentes no solo.

Em relação à atividade agrícola, ainda que sua contribuição para o aporte de fósforo nas águas seja mais reduzida, em comparação com a atividade urbana, recomenda-se:

- Implementar normas para fiscalização e controle da quantidade de fertilizante utilizada;
- Aprimorar os estudos relacionados com a utilização dos resíduos agrícolas, industriais e urbanos, e viabilizar sua implantação como alternativa para redução do consumo, reutilização de resíduos e reciclagem do nutriente, transformando potenciais fontes de poluição em fontes de produtividade;
- Buscar o envolvimento e comprometimento dos produtores rurais, através de um efetivo trabalho de educação e conscientização ambiental.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BELLINAZZI Jr. R.; BERTOLINI, D.; LOMBARDI NETO, F. Ocorrência de erosão rural no Estado de São Paulo. In: II Simpósio sobre o Controle da Erosão. **Anais...** São Paulo, 1981. São Paulo: ABGE, 1981, p.117-137
2. BERTOLINI, D.; LOMBARDI NETO, F. Embasamento técnico do programa estadual de microbacias hidrográficas. In: LOMBARDI NETO, F, DRUGOWICH, M. I. **Manual técnico de manejo e conservação do solo e água**. Relatório Técnico 38. Secretaria de Agricultura e Abastecimento. Coordenadoria de Assistência Técnica Integral. v 1. Campinas: CATI, 1994, p. 1-15.
3. BRAGA, B.; HESPAHOL, I; CONEJO J. G. L.; BARROS M. T. L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à engenharia ambiental**. São Paulo: Prentice Hall, 2002.
4. BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de tratamento de águas residuárias**. São Paulo: CETESB, 1993.
5. BRANCO, S. M.; ROCHA, A. A. **Elementos de ciência do ambiente**. 2 ed. São Paulo: CETESB/ASCETESB, 1987.
6. CATHCART, J. B. World phosphate reserves and resources. In: KHASAWNEH, F. E. et al. (Coord). **The role of phosphorus in agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, 1980, p. 1-18.
7. CATI - Coordenadoria de Assistência Técnica Integral. Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo. **Levantamento Censitário das Unidades de Produção Agropecuária (LUPA) – Anos 1998 e 2008**. Campinas, 2009.
8. CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de Qualidade de Águas Interiores do Estado de São Paulo**: relatório técnico. São Paulo: CETESB, 1986 a 2007. 22 v.
9. CHORUS, I.; BARTRAM, J. (Coord.). **Toxic cyanobacteria in water**: a guide to their public health consequences, monitoring and management. Londres: WHO/UNEP, 1999. Disponível em: <[http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/resources/resquality/en/index.html](http://www.who.int/water_sanitation_health/resources/resquality/en/index.html)>. Acesso em: 25 nov. 2007.
10. CORDELL, D. **The story of phosphorus**: missing global governance of a critical resource. Suécia: Global Phosphorus Research Initiative, 2008. Disponível em: <[http://phosphorusfutures.net/files/DCordell\\_SENSE\\_paper.pdf](http://phosphorusfutures.net/files/DCordell_SENSE_paper.pdf)>. Acesso em: 15 dez. 2008.
11. DEVEY, D. G.; HARKNESS, N. The significance of man-made sources of phosphorus: detergents and sewage. In: JENKINS, S. H.; IVES, K. J. (Coord). **Phosphorus in fresh water and the marine environment**. v. 2. 2 ed. Londres: Pergamon Press Officers, 1975, p. 35-54.
12. EC - European Community. Council Directive nº 271, of 21 May 1991. Concerning urban waste water treatment. Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu>>. Acesso em: 20 fev. 2009.
13. EC - European Commission. Council Directive nº 60, of 23 Oct 2000. Establishing a framework for Community action in the field of water policy. Disponível em: < <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ>>. Acesso em: 29 mar. 2011.
14. ESTEVES, F.A. **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro: FINEP, 1988.
15. FUNDAÇÃO SEADE - Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados. **Informações dos Municípios**

- Paulistas.** Disponível em: <<http://www.seade.gov.br/produtos/imp>>. Acesso em: 08 dez. 2008.
16. GLENNIE, E. B.; LITTLEJOHN, C.; GENDEBIEN, A.; HAYES, A.; PALFREY, R.; SIVIL, D.; WRIGHT, K. **Phosphates and alternative detergent builders: final report.** Wiltshire: EU Environment Directorate, 2002.
  17. GILINSKY, E.; CAPACASA, J. M.; BAKER, M. G.; KING, E. S. **An urgent call to action: report of the State-EPA nutrient innovations task group.** United States Environmental Protection Agency. Washington: USEPA, 2009. Disponível em: <[http://water.epa.gov/scitech/swguidance/waterquality/standards/criteria/aqlife/pollutants/nutrient/upload/2009\\_08\\_27\\_criteria\\_nutrient\\_nitgreport.pdf](http://water.epa.gov/scitech/swguidance/waterquality/standards/criteria/aqlife/pollutants/nutrient/upload/2009_08_27_criteria_nutrient_nitgreport.pdf)>.
  18. LLOYD, J. The nutrient cycle: closing the loop. In: HISLOP, H. (Coord.). **The nutrient cycle: closing the loop.** Reino Unido: Green Alliance, 2007. Disponível em: <<http://www.green-alliance.org.uk>>. Acesso em: 15 dez. 2008.
  19. LOPES, A. S.; SILVA, C. A. P.; BASTOS, A. R. R. Reservas de fosfatos e produção de fertilizantes fosfatados no Brasil e no Mundo. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Coord). **Fósforo na agricultura brasileira.** Piracicaba: Potafos, 2004, p.13-33.
  20. METCALF, L.; EDDY, H. P. **Wastewater engineering: treatment and reuse.** 4 ed. Singapore: McGraw-Hill Inc., 2003.
  21. PACHIONI, R. Fabricante se submete às leis ambientais: CONAMA regulamenta o teor de fósforo nas formulações, a fim de reduzir a eutrofização. Revista Eletrônica Química e Derivados, 438(4). 2005. Disponível em: <<http://www.quimicaederivados.com.br/revista/qd438/detergentes6.html>>. Acesso em: 24 set. 2008.
  22. PAGANINI, W. S. **A identidade de um rio de contrastes: o Tietê e seus múltiplos usos.** São Paulo: Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 2007.
  23. PIVELI, R. P.; KATO, M. T. **Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos.** São Paulo: ABES, 2005.
  24. QUEVEDO, C. M. G. As atividades do homem e a evolução da dinâmica do fósforo no meio ambiente. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Saúde Pública. Universidade de São Paulo. São Paulo. 2009
  25. RUSSEL, J. B. **Química geral.** São Paulo: Pearson Education do Brasil, 1994.
  26. SHARPLEY, A. N.; DANIEL, T.; SIMS, T.; LEMUNYON, J.; STEVENS, R.; PARRY, R. **Agricultural phosphorus and eutrophication.** United States Department of Agriculture. Agricultural Research Service. 2 ed. Washington: USDA-ARS, 2003. Disponível em: <<http://www.ars.usda.gov/is/np/Phos&Eutro2/agphoseutro2ed.pdf>>.
  27. SOLT, G. S. Phosphorus in industrial waters. In: JENKINS, S. H., IVES, K. J. (Coord). **Phosphorus in fresh water and the marine environment.** v. 2. Londres: Pergamon Press Officers, 1975, p. 69-75.
  28. TAYLOR, A. W.; KILMER, V. J. Agricultural phosphorus in the environment. In: KHASAWNEH, F. E. et al (Coord). **The role of phosphorus in agriculture.** Madison: American Society of Agronomy, 1980, p. 545-557.
  29. VOLLENWEIDER, R. A. **Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus factors in eutrophication.** Paris: Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), Tech. Report. DAS/CSI6827, 1968.
  30. VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** v. 1. 3 ed. Belo Horizonte: DESA/UFGM, 2005.