

VI-051 - AS AÇÕES ANTRÓPICAS E A INSERÇÃO DO FÓSFORO NO MEIO AMBIENTE: ESTUDO DE CASO SOBRE A REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO

Claudia Maria Gomes de Quevedo ⁽¹⁾

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. Mestre em Saúde Pública pela Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo - USP.

Wanderley da Silva Paganini ⁽²⁾

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

RESUMO

Nutriente vital para os processos biológicos de todos os organismos, o fósforo possui fontes finitas e não renováveis. A aceleração no ritmo de exploração das fontes de fósforo no meio ambiente, decorrente da expansão nos níveis de utilização em produtos industrializados, permite delinear previsões a respeito de sua provável escassez, bem como, verificar os impactos negativos do seu aporte excessivo nos corpos hídricos sobre a qualidade das águas em decorrência da eutrofização. Atentos a essas questões, diversos países buscam imprimir maior eficiência no uso do fósforo, reduzindo o seu consumo e reciclando resíduos sólidos, especialmente os de origem orgânica. Diante do exposto, o presente trabalho busca discutir a dinâmica do fósforo no meio ambiente, o impacto das ações do homem sobre o ciclo do nutriente, a problemática de sua escassez e a possibilidade de sua reciclagem a partir de fontes residuais, abordando a sua inserção no meio ambiente e discutindo as ferramentas para gestão e controle, por meio de um estudo de caso sobre a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

PALAVRAS-CHAVE: Fósforo, esgotos sanitários, meio ambiente, reciclagem.

INTRODUÇÃO

O fósforo possui papel relevante no metabolismo de todos os organismos vivos, com participação na formação do ácido desoxirribonucleico (DNA), do ácido ribonucleico (RNA) e da adenosina tri-fosfato (ATP), nucleotídeo responsável pelo armazenamento da energia proveniente da respiração celular e da fotossíntese. Entretanto, apesar de sua importância biológica, suas fontes são finitas e não renováveis, sendo que o atual ritmo de exploração do nutriente, muito superior à sua capacidade de retorno ao ciclo natural, permite delinear previsões a respeito de sua provável escassez. (ESTEVES, 1988; MALAVOLTA, 2004; CORDELL, 2008)

O aporte excessivo de fósforo em rios, lagos e reservatórios, ocasionado pelo lançamento de esgotos domésticos e industriais, bem como pelo carreamento de solo e fertilizantes em áreas cultivadas, está relacionado com a eutrofização, situação que pode contribuir para a deterioração da qualidade das águas e para a inviabilização de seus usos, configurando-se num importante problema ambiental e de saúde pública. (CHAVE, 1997; GILINSKI *et al.*, 2009)

Atentos a essas questões, diversos países buscam reduzir os impactos das atividades humanas sobre as fontes de fósforo adotando medidas de prevenção à poluição, de forma a imprimir maior eficiência no uso da matéria-prima. Além disso, busca-se inserir tecnologias que contribuam para a sua reciclagem, processo que em alguns países tem sido denominado *closing the loop*. (LITKE, 1999; GLENNIE *et al.*, 2002; LLOYD, 2007)

Diante desse cenário, surge o potencial de reaproveitamento e reciclagem do fósforo presente nos resíduos sólidos. O lodo de esgoto, por exemplo, material rico em matéria orgânica e nutrientes, é muitas vezes encaminhado para incineração ou disposição final em aterros, fato que impossibilita a reciclagem dos recursos

naturais importantes. Dependendo da vazão e do processo de tratamento adotado, podem ser geradas elevadas quantidades de lodo, com grande potencial de reaproveitamento e reciclagem.

Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho é discutir a dinâmica do fósforo no meio ambiente, o impacto das ações do homem sobre o ciclo do nutriente e as perspectivas de sua escassez, abordando-se as alternativas para reciclagem e inserção no meio ambiente. Para tanto, efetua-se um estudo de caso sobre a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP)

MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente, são apresentadas informações sobre o elemento químico fósforo, seu ciclo biogeoquímico, sua presença no solo e nas águas, as atividades antrópicas que contribuem para o seu aporte em rios e reservatórios, e a possibilidade de reciclagem a partir de fontes resicuais.

Posteriormente, analisa-se a evolução dos dados relativos à concentração populacional, número de indústrias e extensão das áreas cultivadas na RMSP, em relação às concentrações de fósforo nos compartimentos água e sedimento do rio Tietê, ao longo de 25 anos, no período entre 1986 e 2010.

A partir desses dados, efetua-se uma estimativa da carga potencial de fósforo lançada nas águas através das atividades antrópicas desenvolvida na RMSP. Busca-se, assim, dimensionar as contribuições dessas ações para a inserção do fósforo no meio ambiente, a carga potencial de fósforo que é lançada nas águas e a quantidade do nutriente que poderia ser preservada por meio da redução do consumo e da reciclagem.

O CICLO DO FÓSFORO E SUA DINÂMICA NO MEIO AMBIENTE

Ao contrário do nitrogênio, cujo reservatório é o ar, a fonte de fósforo na natureza é a litosfera, sendo o seu ciclo denominado sedimentar. O fósforo contido no solo, tanto na forma orgânica como na inorgânica, é utilizado pelas plantas e posteriormente consumido por todos os animais; a matéria orgânica oriunda dessas plantas e animais retorna ao ciclo através do solo ou da hidrosfera, seja através da decomposição ou dos excrementos. O retorno do fósforo sedimentado nos mares ocorre muito lentamente, principalmente através dos peixes e aves marinhas. (BRANCO e ROCHA, 1987; DERÍSIO, 2000; BRAGA *et al.*, 2002)

O transporte através das águas é parte fundamental do ciclo do fósforo, eis que é a forma predominante com que o fosfato se move através do meio ambiente. Grande parte do fosfato presente em um ambiente aquático continental pode ser precipitada no sedimento, de onde somente retornará para a coluna d'água, para uso pelos seres vivos, mediante condições físicas e químicas específicas, como pH, concentração de íons ferro, alumínio e carbonatos, concentração de oxigênio e taxa de decomposição da matéria orgânica. ESTEVES (1988) descreve a precipitação do fosfato no ambiente aquático como a sua exclusão da dinâmica do ecossistema, e, em Gessner (1959), destaca que essa situação pode ser considerada “uma verdadeira tragédia limnológica”, onde um dos elementos mais importantes para a os processos biológicos pode ser permanentemente imobilizado.

O aporte excessivo de fósforo nas águas está relacionado com a eutrofização, processo que corresponde às alterações qualitativas e quantitativas da produtividade biológica de um corpo hídrico e que pode causar prejuízos à qualidade das águas. 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 deterioração de lagos recreacionais, dificuldades no transporte e aumento nos custos do tratamento da água.

A expansão dos conhecimentos sobre a química do fósforo e as descobertas relativas aos campos de aplicação dos fosfatos, intensificaram os níveis de utilização pela indústria, resultando no aumento no ritmo de exploração pela mineração e no incremento das quantidades do nutriente que são disponibilizadas ao meio ambiente. Desta forma, a questão do controle do aporte de fósforo nas águas aparece conectada à sustentabilidade das reservas do nutriente, uma vez que a eutrofização demonstra ser o resultado da aceleração das taxas de exploração de fosfato para utilização em produtos industrializados, que são utilizados e descartados pelo homem.

LLOYD (2007) descreve que desde a Revolução Industrial, a quantidade de fósforo colocada em circulação no meio ambiente pode ter sido triplicada, devido ao expressivo incremento nas atividades econômicas e à fabricação de produtos que utilizam fosfatos em suas formulações, principalmente detergentes e fertilizantes.

Tal situação vem desencadeando um processo de reciclagem denominado “acíclico”. Estima-se que de 2 milhões de toneladas de fósforo que são produzidas, somente cerca de 60 mil tenham capacidade de retornar ao meio de origem. São expressivos os impactos que essa situação pode ocasionar para a sustentabilidade do meio ambiente e para a qualidade de vida, já que se trata de um nutriente vital e um recurso natural finito. (BRANCO e ROCHA, 1987; BRAGA *et al.*, 2002; DERÍSIO, 2000)

A ESCASSEZ DAS FONTES DE FÓSFORO

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. (MACRAE *et al.*, 1993; RUSSEL, 1994)

A exploração comercial da rocha fosfática tem como objetivo suprir a necessidade de fósforo como matéria-prima a ser utilizada na composição e processamento de produtos, em diversos graus de purificação, e como agente para melhoria do processo produtivo. Dados estimados pelo *United States Geological Survey* (USGS) apontam que, para o ano de 2003, as reservas disponíveis de fósforo seriam de 17 bilhões de toneladas, com uma longevidade projetada de 120 anos. (LOPES *et al.*, 2004)

Com base nas informações a respeito do volume das reservas mundiais disponíveis e de acordo com as demandas hoje existentes, CORDELL (2008) ressalta a provável ocorrência de um pico na exploração das reservas de rochas fosfáticas do mundo na década de 2030. Após esse período, devido ao crescimento populacional projetado, estima-se que a disponibilidade das reservas e a capacidade de sua exploração deverá ser reduzida gradativamente e ficará sujeita aos impactos decorrentes da elevação dos custos de operação, da redução da qualidade e do aumento na dificuldade técnica de acesso às reservas. Assim, calcula-se que as reservas de rocha fosfática, conhecidas e exploráveis, estejam extintas no período de 50 a 100 anos.

MALAVOLTA (2004), em Reider (1986), projeta a situação das reservas brasileiras e mundiais de rocha frente ao crescimento da demanda de fosfato. Estima que as reservas mundiais tendem a durar 70 anos, caso ocorra um aumento de 6% na demanda ou 210 anos, caso esse crescimento seja de 1%. No caso das reservas brasileiras, nas mesmas condições de crescimento percentual, o tempo de duração poderá ser de 40 ou 120 anos. A ilustração dessa situação segue na Figura 1.

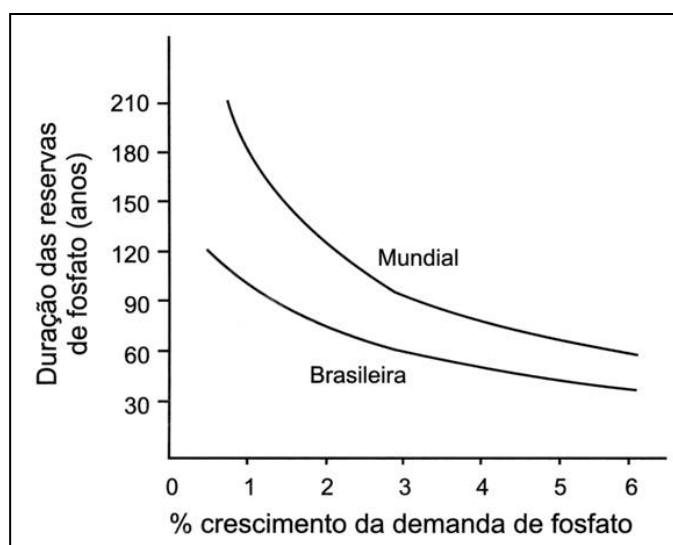


Figura 1. Estimativas de duração das reservas de fosfato no Brasil e no Mundo.
Fonte: MALAVOLTA, 2004.

As preocupações quanto à possível escassez de fósforo no meio ambiente e a inexistência de outro elemento que o substitua nos processos biológicos são abordadas por MALAVOLTA (2004, p.36) da seguinte forma:

“O limite de crescimento da humanidade não será ditado pelo esgotamento dos minerais estratégicos ou pelo das reservas de combustíveis fósseis como pretende ou pretendia o Clube de Roma, pois para esses há alternativas técnicas e econômicas. A humanidade poderá crescer enquanto houver no solo fósforo para ser aproveitado e enquanto o homem puder transferir esse elemento da litosfera para a biosfera servindo como comida insubstituível para as plantas e para os animais, pois o fósforo é vida e sem ele teríamos um planeta silencioso.”

Tais assertivas podem ser traduzidas como polêmicas, uma vez que a importância do fósforo é comparada à questão estratégica dos combustíveis fósseis. É fato, entretanto, que alguns países já adotam medidas que auxiliem a prolongar a longevidade de suas reservas internas.

A China estabeleceu um imposto de 135% sobre as exportações de fosfato e priorizou o atendimento da demanda interna. Os Estados Unidos, que são historicamente os maiores produtores, consumidores, exportadores e importadores de rocha fosfatada e fertilizantes, estimam que suas reservas internas estejam extinta em 25 anos; empresas americanas já importam, sistematicamente, rocha fosfatada do Marrocos. Nesse cenário, o valor comercial da rocha fosfatada teve um acréscimo, no mundo, de 700% no período de 14 meses, passando de U\$ 50 a tonelada, em janeiro/2007, para U\$ 350 a tonelada, em março/2008. (CORDELL, 2008)

Por outro lado, LOPES *et al.* (2004), em Isherwood (1999), acrescentam que a duplicação ou a triplicação dos preços dos fosfatos podem auxiliar na descoberta de novas jazidas, principalmente através da exploração das plataformas continentais e das montanhas dos oceanos, como o que vem ocorrendo na China e na Austrália.

Assim, de forma paralela aos diferentes cenários relativos às dimensões, à longevidade das reservas de rocha fosfática nos diferentes países e às perspectivas de exploração frente à crescente demanda, tomam corpo as discussões inerentes ao paradoxo existente entre a essencialidade do nutriente e a sua disponibilidade limitada na natureza. Intensificam-se as discussões relativas à promoção de sua sustentabilidade, levando-se em conta o respeito ao seu ciclo natural.

Nesse contexto, a preocupação com a adoção de medidas visando avaliar a sua inserção no meio ambiente e promover a sua reciclagem, vem se tornando crescente; busca-se diminuir os seus efeitos indesejados no meio ambiente e imprimir maior eficiência no aproveitamento dos recursos naturais disponíveis.

O POTENCIAL DE RECICLAGEM DE FÓSFORO

O fósforo pode ser reciclado a partir de diversas fontes residuais, especialmente de resíduos orgânicos, como lodos de esgoto, estrume animal, restos de matadouros - ossos, sangue e cascos, restos de alimentos, resíduos de culturas agrícolas e resíduos de alguns tipos de indústrias, como a de alimentos, por exemplo, que possuem elevado teor de matéria orgânica e de nutrientes.

A concentração de fósforo nessas fontes é variável de acordo com o tipo de resíduo e com as características econômicas, sociais e culturais de cada região. No caso do estrume bovino, por exemplo, a concentração de fósforo possui relação com o tamanho do rebanho, o tipo de animal, o regime alimentar e o tipo de habitação. Já nos restos de alimentos, a concentração de fósforo está atrelada à dieta alimentar da população, à quantidade dos alimentos consumidos e à forma de gerenciamento das perdas e sobras; enquanto o feijão possui uma concentração de fósforo de 0,6%, no leite essa concentração é de 0,09%, no leite condensado é de 0,2%, no iogurte é de 0,1% e na carne de aves é de 0,3%. (BRAILE e CAVALCANTI, 1979; SCHRÖDER *et al.*, 2010)

No lodo de esgoto, material também conhecido como biossólido, a concentração de fósforo é influenciada por fatores como concentração populacional, poder aquisitivo, características alimentares e regulamentação do uso de fosfato nos detergentes. Dependendo da vazão e do processo de tratamento adotado, podem ser geradas elevadas quantidades de lodo, com grande potencial de reaproveitamento e reciclagem de fósforo. Em processos de tratamento com precipitação química, por exemplo, a quantidade de lodo gerada é cerca de 7

vezes maior, comparativamente aos processos onde a precipitação não é aplicada, como é o caso dos sistemas de tratamento em nível secundário por lodos ativados. (METCALF e EDDY, 2003).

Na Tabela 1, pode-se visualizar a concentração típica de fósforo nas fontes residuais.

Tabela 1. Concentração típica de fósforo nas diferentes fontes residuais.

Fonte Residual	Fósforo (% em peso)
Excrementos humanos	0,35
Lodo de esgoto ativado	1,4
Lodo de digestor de biogás	0,48 a 0,77
Estrume bovino	0,04 a 0,07
Estrume de aves	0,88 a 1,27
Vermicomposto	0,65
Resíduos de culturas	0,04 a 0,33
Material de compostagem urbana	0,16 a 0,44
Processamento de oleaginosas	0,9 a 1,27
Farinha de carne	1,09
Farinha de osso	8,73 a 10,91

Fonte: SCHRÖDER *et al.* (2009), em Cordell (2010).

O biofósforo pode ser utilizado na agricultura e na produção vegetal de diversas formas, através da aplicação direta no solo, levando-se em conta alguns critérios como tipos de cultura, características físico-químicas do resíduo e morfologia do terreno, dentre outros, através da produção de fertilizante, após emprego de tecnologia de processamento adequada, ou através da produção de solo sintético, obtido por desidratação. (TSUTIYA, 2002)

Outra forma de reaproveitamento do fósforo contido no biofósforo é pela compostagem. Na propriedade agrícola, o composto é obtido a partir de substratos comuns, como os diferentes tipos de capins, bagaço de cana, cascas de árvores, serragens, resíduo de agroindústria, esterco animal e outros. Nesse caso, o biofósforo é adicionado a esses substratos comuns, dando origem a um composto considerado bastante eficiente para a recuperação, condicionamento e fertilização de solos. (CARVALHO, 2002)

Aliando-se a crescente demanda por fertilizantes, a perspectiva de escassez das fontes de fósforo, as elevadas quantidades de lodo de esgoto que são geradas atualmente, e a perspectiva de ampliação desse volume, uma vez que a produção desse tipo de resíduo é considerada proporcional à expansão populacional e à elevação nos níveis de atendimento com tratamento de esgotos, as discussões e as pesquisas científicas voltadas para reaproveitamento do biofósforo na agricultura e produção vegetal têm sido ampliadas.

Em alguns países, inclusive, essa prática vem sendo adotada há alguns anos. Na Comunidade Européia, em 2001, 41% do lodo de esgoto gerado foi utilizado em áreas agrícolas, o que corresponde à reciclagem de 115 mil toneladas de fósforo. Na Alemanha, para o mesmo período, 29% do lodo de esgoto gerado foi utilizado na agricultura, com reciclagem de 19,6 mil toneladas de fósforo e atendimento de cerca de 10% da demanda do país por fertilizantes. Nos Estados Unidos, a primeira usina de compostagem de lodo de esgoto foi construída em 1973 e, em 1995, 228 unidades se encontravam em funcionamento, com outras 330 unidades em fase de projeto. (CARVALHO, 2002; SCHRÖDER *et al.*, 2009)

De acordo com MIHELIC *et al.* (2011), a quantidade de fósforo potencialmente disponível para reciclagem a partir dos esgotos sanitários, em termos mundiais, de acordo com levantamentos feitos no ano de 2009, poderia ser calculada em aproximadamente 22% da demanda total existente. A implementação de tecnologias para sua recuperação poderia contribuir não somente para a prevenção da poluição, mas também, para a melhoria da qualidade e variedade nutricional dos alimentos, para aumento dos ganhos com a venda de colheitas excedentes

e para melhor gerenciamento dos recursos que seriam evitados para a aquisição de fertilizantes, com aumento dos investimentos em áreas de saúde pública.

Deve-se ressaltar, no entanto, que essa prática requer alguns cuidados específicos no sentido de se maximizar a capacidade de assimilação do solo e evitar o risco de acumulação de poluentes. Para tanto, devem ser consideradas as condições específicas de cada localidade, como por exemplo, tipo de cultura plantada, propriedades do solo e suas características morfológicas, clima e precipitação pluviométrica, dentre outros. Alguns fatores sociais e culturais também devem ser observados, como dietas alimentares, existência de lançamentos de efluentes industriais na rede coletora de esgotos sanitários operada pelo sistema de saneamento e condições de saúde da comunidade atendida. (HESPANHOL, 2002; PIVELI, 2009)

Outro aspecto a ser considerado é a aceitação pública, já que a reciclagem de resíduos na agricultura envolve, muitas vezes, mudanças de postura e de cultura por parte dos meios produtores, gestores e da população em geral quanto à importância econômico-ambiental e os aspectos de segurança sanitária envolvidas com essa prática. De acordo com BERLINCK (2003), a participação da sociedade na gestão do meio ambiente envolve um processo maciço de educação e comunicação, de forma a serem divulgadas informações de fácil compreensão e acesso, com vistas a ampliar a capacidade técnica da população e auxiliar na constituição de processos colaborativos, fatores fundamentais para a sua atuação efetiva, contribuindo para alterações nos processos produtivos, de acordo com a capacidade técnica e financeira de cada país.

ESTUDO DE CASO SOBRE A RMSP

O rio Tietê possui uma extensão de 1.136 km e cruza o Estado no sentido leste-oeste. Sua bacia hidrográfica abrange 233 municípios e conforme estabelecido pela Lei 9.034/94, que instituiu o Plano Estadual de Recursos Hídricos, está dividida em seis Unidades de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (UGRHs): Alto Tietê, Piracicaba/Capivari/Jundiaí, Tietê/Sorocaba, Tietê/Jacaré, Tietê/Batalha e Baixo Tietê. (PAGANINI, 2007)

A UGRHI Alto Tietê possui uma área de 5.985 km² e um total de 19,3 milhões de habitantes, quase a metade da população do Estado de São Paulo. O território abrangido por essa Unidade de Gerenciamento ocupa grande parte da RMSP, sendo que dos municípios metropolitanos, apenas Guararema, Santa Isabel e Jquitiba não integram a mesma. Embora as áreas desses municípios sejam relativamente grandes, suas populações respectivas correspondem a cerca de 0,5% do total metropolitano. Portanto, cerca de 99,5% da população da RMSP estão localizados na área da UGRHI Alto Tietê, o que na prática, acaba por resultar em uma similaridade para fins de tendências demográficas, sociais e econômicas. Assim, embora os contornos territoriais sejam diferentes, pode-se afirmar que a RMSP e a UGRHI Alto Tietê possuem a mesma dinâmica, porque ambas são compostas pelos municípios mais representativos em termos de atividades econômicas. (PERH, 2005)

Na Figura 2, a seguir, pode-se visualizar a localização das UGRHs que compõem a bacia hidrográfica do rio Tietê e os municípios que compõem a UGRHI Alto Tietê.

Avaliando-se o período entre 1986 a 2007, verifica-se que o crescimento médio da população total na UGRHI Alto Tietê foi de 1,57% ao ano e da população urbana, de 1,47% ao ano. A UGRHI apresentou um crescimento percentual mais reduzido, comparativamente às demais UGRHs do rio Tietê e, apesar disso, o seu impacto é bastante elevado em termos numéricos, uma vez que a ampliação média no número de habitantes da bacia foi de 256 mil habitantes, enquanto o total da bacia do Tietê foi de 418 mil. Ou seja, o crescimento médio da população do Alto Tietê, ainda que mais reduzido em termos percentuais, comparativamente às demais UGRHs, corresponde ainda a 61,2% do aumento populacional verificado no total da bacia do Tietê. (QUEVEDO, 2009)

Com relação à atividade industrial, pode-se verificar um aumento de mais de 61 mil indústrias na bacia do Tietê no período entre 1995 e 2008, o que corresponde a um crescimento de 214%. No Alto Tietê, o número de industriais foi alterado de 22.602 em 1995 para 57.307 em 2008, um crescimento de quase 35 mil indústrias, o que corresponde a 57% do crescimento da bacia. A UGRHI Alto Tietê abriga, para o período estudado, 63% do número total de indústrias situadas na bacia do Tietê. No que se refere à atividade agrícola, verifica-se que a UGRHI Alto Tietê apresentou uma redução de 7% nas áreas cultivadas no período entre 1998 e 2008, passando de 76 mil ha para 70 mil ha. (QUEVEDO, 2009)

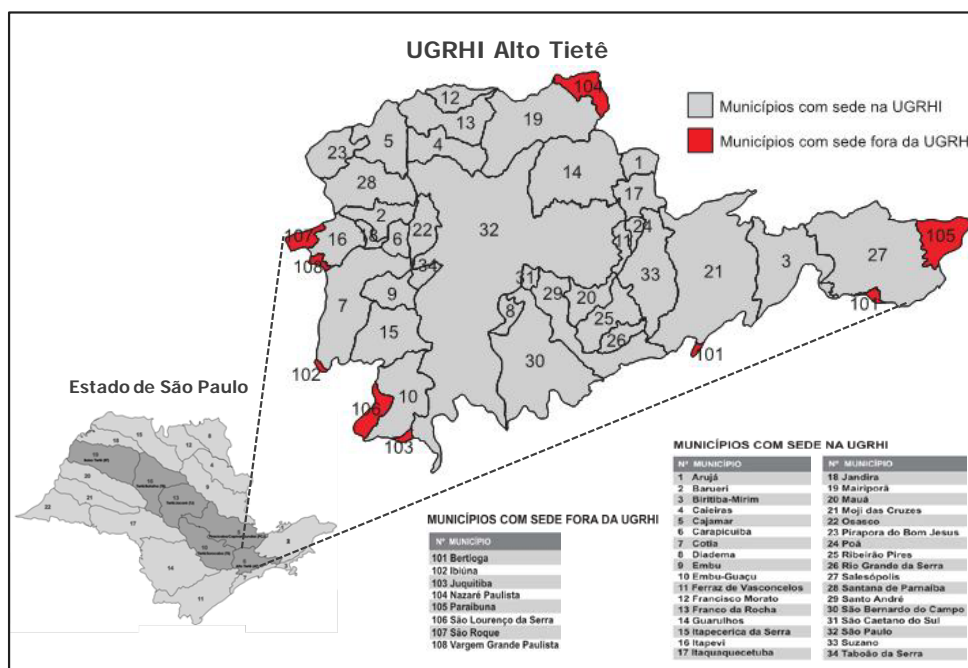


Figura 2. Localização das UGRHIs pertencentes à bacia do rio Tietê no estado de São Paulo e municípios que compõem a UGRHI Alto Tietê.

Fonte: QUEVEDO, 2009.

A análise do comportamento do fósforo nas águas do Tietê entre os anos de 1986 e 2007 permite verificar que as maiores concentrações do nutriente tendem a ocorrer nas áreas mais urbanizadas. Nos locais onde a atividade agrícola é mais intensa, a concentração é mais reduzida. A fim de permitir uma visualização gráfica dessas informações, a Figura 03 apresenta a comparação dos dados sobre concentração de fósforo nas águas, população total, população urbana e extensão das áreas cultivadas na bacia, com base no ano de 2007.

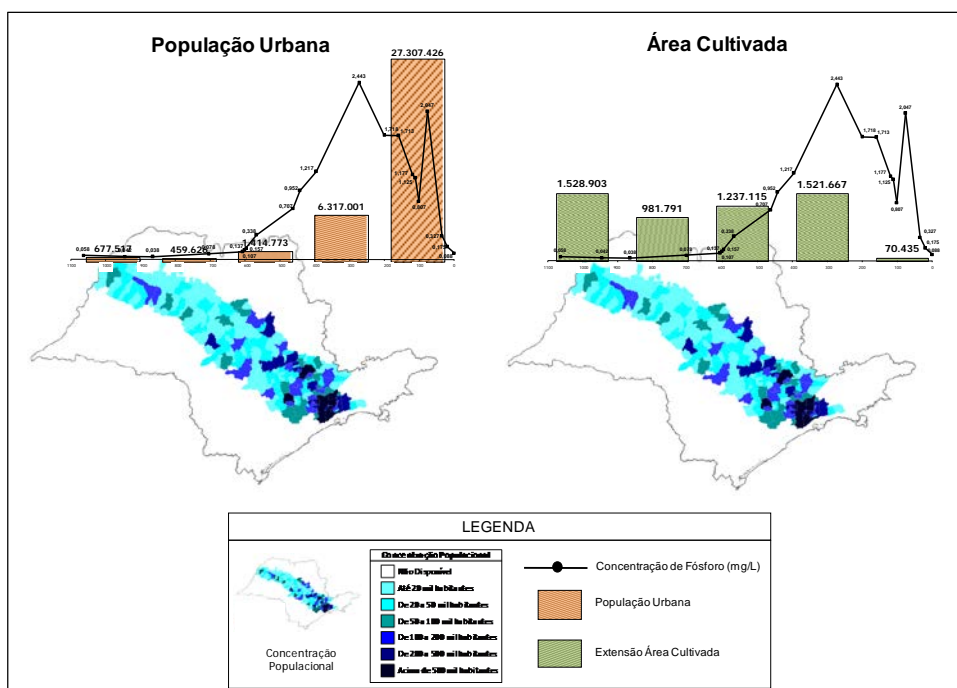


Figura 03: Comparação dos dados concentração de fósforo nas águas, população total, população urbana e extensão das áreas cultivadas na bacia do rio Tietê – Ano 2007.

Fonte: QUEVEDO, 2009.

Vale ressaltar que para o Brasil, o Relatório Final do Grupo de Monitoramento do Fósforo, criado a partir do estabelecido no Art. 7º da Resolução nº 359/05 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), constata que, de uma forma geral, a concentração de fósforo nos corpos de água possui forte relação com a demografia de determinada região hidrográfica. (CONAMA, 2010)

A concentração média de fósforo nas águas nos pontos de monitoramento situados na RMSP demonstra uma tendência de crescimento ao longo dos anos, passando de 0,546 mg/L no período entre 1986 e 1990, para 1,009 mg/L entre 1991 e 1995, 1040 mg/L entre 1996 e 2000 e 1,206 mg/L entre 2001 e 2007. Para o período de 1986 a 2007, o crescimento percentual foi de 219%. Em termos numéricos, a concentração média mais elevada durante o período estudado é verificada no ponto de monitoramento localizado a 120 km da nascente do Tietê, que está situado na Ponte dos Remédios, junção da Av. Marginal e Rodovia Presidente Castelo Branco; nesse ponto a concentração média de fósforo nas águas foi alterada de 1,294 mg/L para 2,082 mg/L. Na Figura 04, apresenta-se um gráfico contendo as concentrações médias de fósforo nas águas do Tietê, ao longo da RMSP.

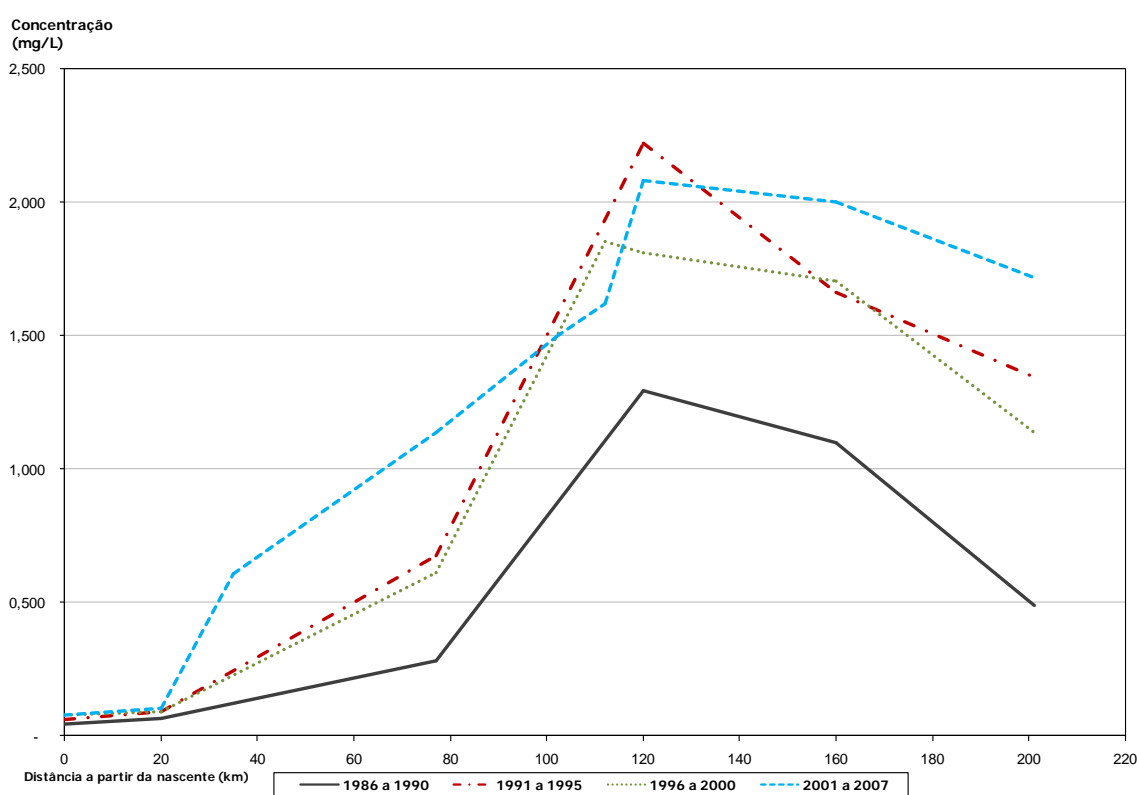


Figura 04: Concentrações médias de fósforo na RMSP, em mg/L, conforme Relatório de Qualidade das Águas Interiores – 1986 a 2007.

Fonte: QUEVEDO, 2009.

Efetuada-se uma estimativa de carga potencial de fósforo na bacia decorrente da atividade urbana, considerando-se as informações sobre população urbana, verifica-se que enquanto a contribuição de fósforo a partir dos esgotos domésticos pode ser estimada em 68,3 t/dia, o que corresponde a cerca de 25 mil ton/ano. Mais de 67% desse potencial total, o que corresponde a cerca de 46 ton/dia, ou 16,8 mil ton/ano, são oriundos da UGRHI Alto Tietê. Para elaboração dessa relação, estima-se que cada pessoa seja responsável pelo lançamento de 2,5 g/dia de fósforo, a partir dos esgotos domésticos (VON SPERLING, 2005)

Considerando-se que nos locais onde o fosfato é utilizado em detergentes em pó, na forma de tripolifosfato de sódio (STPP), a concentração de fósforo nos esgotos é calculada na faixa de 50% a 80%, pode-se estimar que essa fonte seja responsável pelo aporte de 34,1 a 54,6 t/dia de fósforo nas águas do rio Tietê. Desse total, de

23,0 a 36,9 t/dia tem origem na RMSP. Com a regulamentação da presença de fósforo nos detergentes em pó e a conseqüente redução da presença do nutriente nos esgotos a partir dessa fonte, proposta pela Resolução CONAMA nº 359/05, a quantidade de nutriente lançada nas águas do Tietê poderia ser calculada em 23,9 a 38,2 t/dia, dos quais, 16,1 a 25,8 tem origem na RMSP.

Na Tabela 01, a seguir, pode-se visualizar um comparativo entre as cargas potenciais de fósforo na bacia do Tietê para o ano de 2007, destacando-se a contribuição da UGRHI Alto Tietê, e as contribuições estimadas de STPP antes e após a aplicação da Resolução CONAMA nº 359/05.

Tabela 01. População urbana, carga potencial de fósforo nos esgotos e contribuição dos detergentes - bacia do rio Tietê – Ano 2007.

UGRHI	População Urbana (nº hab)	Carga Potencial de Fósforo (t/dia)	Contribuição dos Detergentes Antes CONAMA 359/05		Contribuição dos Detergentes Após CONAMA 359/05	
			Faixa (t/dia)		Faixa (t/dia)	
Alto Tietê	18.438.509	46,1	23,0	36,9	16,1	25,8
Piracicaba/Capivari/Jundiaí	4.691.885	11,7	5,9	9,4	4,1	6,6
Tietê/Sorocaba	1.625.116	4,1	2,0	3,3	1,4	2,3
Tietê/Jacaré	1.414.773	3,5	1,8	2,8	1,2	2,0
Tietê/Batalha	459.626	1,1	0,6	0,9	0,4	0,6
Baixo Tietê	677.517	1,7	0,8	1,4	0,6	0,9
Total da Bacia do Tietê	27.307.426	68,3	34,1	54,6	23,9	38,2

Fonte: QUEVEDO, 2009.

A despeito do percentual de tratamento dos esgotos existente atualmente na bacia e da capacidade de remoção de fósforo pelos sistemas implantados, é fato que enquanto parte dessa carga de fósforo é lançada nas águas, contribuindo para a ocorrência de eutrofização, a parcela de fósforo encaminhada para tratamento e precipitada no lodo das estações, acaba por ser encaminhada para aterros sanitários, situação que não permite o retorno do fósforo ao seu ciclo natural.

CONCLUSÕES

Considerando-se as informações levantadas, pode-se verificar que o impacto da atividade urbana para o aumento da concentração de fósforo nas águas é bastante elevado, comparativamente à atividade agrícola. Pode-se verificar também, a magnitude e a inquestionável contribuição dos detergentes para configuração desse cenário.

A evolução nas ferramentas de controle das fontes urbanas de fósforo demonstra ser de grande importância para melhoria da qualidade das águas. 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.

A viabilização de alternativas técnicas corretivas, através do estabelecimento de limites para lançamento de esgotos e efluentes, é também de grande importância, no entanto, tais iniciativas devem levar em conta as diferentes características sociais, econômicas, ambientais e demográficas, uma vez que pode demandar a implantação de sistemas avançados para tratamento dos esgotos, que possuem altos custos de implantação, operação e manutenção

A reciclagem de fósforo a partir resíduos sólidos, especialmente por meio da sua utilização na atividade agrícola e na produção vegetal, pode contribuir para o aumento das taxas desse nutriente retorno ao ciclo natural, auxiliando na preservação de suas reservas conhecidas e exploráveis no meio ambiente. Pode contribuir

também, para a redução dos riscos de serem adotadas formas incorretas de tratamento e disposição final de resíduos, evitando, assim, que o aporte desse nutriente possa ocorrer de maneira equivocada, causando desequilíbrios ambientais e prejuízos à saúde pública.

Nesse contexto, merece destaque o potencial de reaproveitamento do lodo de esgoto, ou biossólido. Enquanto algumas alternativas para disposição final do biossólido, como por exemplo a incineração e a disposição final em aterros sanitários, impossibilitam a reciclagem dos recursos naturais, o uso agrícola permite que esse nutriente seja reutilizado pelas plantas, auxiliando, assim, no seu retorno ao ciclo natural.

Além da questão ambiental, a reciclagem do fósforo a partir do lodo de esgoto pode se apresentar como uma oportunidade de redução dos custos envolvidos com a aquisição de fertilizantes fosfatados minerais, uma vez que a demanda poderá ser suprida, em partes, por essa fonte residual.

De forma direcionada pelos devidos critérios técnicos, sociais e econômicos envolvidos, e sustentada por estudos específicos que introduzam segurança ao procedimento, a reciclagem do fósforo a partir das fontes residuais, em especial do lodo de esgoto, se mostra possível e viável, alinhando os objetivos econômicos e tecnológicos à necessidade preservação e conservação do meio ambiente, de forma integrada e sistêmica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BERLINCK C.N. Comitê de Bacia Hidrográfica: educação ambiental e investigação-ação. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília. Brasília, 2003.
2. BRAGA B., HESPANHOL I., CONEJO J.G.L., BARROS M.T.L., SPENCER M., PORTO M., NUCCI N., JULIANO N., EIGER S. Introdução à engenharia ambiental. Prentice Hall. São Paulo, 2002.
3. BRAILE P.M., CAVALCANTI J.E.W.A. Manual de tratamento de águas residuárias. Cetesb. São Paulo, 1993.
4. BRANCO S.M., ROCHA A.A. Elementos de ciência do ambiente. 2nd ed. São Paulo, 1987.
5. CARVALHO P.C.T. Compostagem. In Biossólidos na agricultura. Ed. M.T. TSUTIYA, J.B. COMPARINI, P. ALÉM SOBRINHO, I. HESPANHOL, P.C.T. CARVALHO, A.J. MELPHI, W.J. MELO, M.O. MARQUES. Abes. São Paulo, 2002.
6. CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Relatório de Qualidade de Águas Interiores do Estado de São Paulo. Relatório técnico. Cetesb, São Paulo, 1986 a 2007.
7. CHAVE P.A. Legal and regulatory instruments. In Water pollution control: a guide to the use of water quality management principles. Ed. R HELMER and I HESPANHOL. WHO/UNEP, 1997. http://www.who.int/water_sanitation_health/resources/resquality/en/index.html.
8. CORDELL D. The story of phosphorous: missing global governance of a critical resource. Global Phosphorus Research Initiative. Sweden, 2008. http://phosphorusfutures.net/files/DCordell_SENSEpaper.pdf. (acesso em 15 dezembro 2008).
9. DERISIO J.C. Introdução ao controle da poluição ambiental. 2nd ed. Signus Editora. São Paulo, 2000.
10. ESTEVES F.A. Fundamentos de Limnologia. Finep. Rio de Janeiro, 1998.
11. 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. Usepa. Washington, 2009. http://water.epa.gov/scitech/swguidance/waterquality/standards/criteria/aqlife/pollutants/nutrient/upload/2009_08_27_criteria_nutrient_nitreport.pdf. (acedido a 12 janeiro de 2011).
12. GLENNIE E.B., LITTLEJOHN C., GENDEBIEN A., HAYES A., PALFREY R., SIVIL D., WRIGHT K. Phosphates and alternative detergent builders: final report. EU Environment Directorate. Wiltshire, 2002.
13. HESPANHOL I. Biossólidos, meio ambiente e saúde pública: critérios para o estabelecimento de diretrizes. In Biossólidos na agricultura. Ed. M.T. TSUTIYA, J.B. COMPARINI, P. ALÉM SOBRINHO, I. HESPANHOL, P.C.T. CARVALHO, A.J. MELPHI, W.J. MELO, M.O. MARQUES. Abes. São Paulo, 2002.
14. LITKE D.W. Review of Phosphorus control Measures in the United States and their Effects on water quality. United States Geological Survey. Water-Resources Investigations Report 99-4007. National Water Quality Assessment Program. Denver. Colorado, 1999.
15. LLOYD J. The nutrient cycle. In The nutrient cycle: closing the loop. Ed. H Hislop Green Alliance. United Kingdom, 2007. <http://www.green-alliance.org.uk>. (acesso em 01 dezembro de 2010).
16. 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 Fósforo na agricultura brasileira. Ed. T. YAMADA AND S.R.S. ABDALLA. Potafos. Piracicaba, 2004.

17. MACRAE R., ROBINSON R.K., SADLER M.J. Encyclopaedia of food science, food technology and nutrition. v. 6. Academic Press Limited. London, 1993.
18. MALAVOLTA E. O fósforo na planta e interações com outros elementos. In Fósforo na agricultura brasileira. Ed. T. Yamada e S.R.S. Abdalla. Potafos. Piracicaba, 2004.
19. METCALF L., EDDY H.P. Wastewater engineering: treatment and reuse. 4 ed. McGraw-Hill Inc, Singapore, 2003.
20. MIHELIC J.R., FRY L.M., SHAW R. Global potential of phosphorus recovery from urine and feces. Journal Chemosphere 84(6), 1879-1298, 2011.
21. PAGANINI W.S. A identidade de um rio de contrastes: o Tietê e seus múltiplos usos. AESabesp. São Paulo, 2007.
22. PIVELI R.P., CORAUCCI FILHO B., MONTES C.R., NASCIMENTO C.W.A., MOTA F.S.B., MARQUES JUNIOR J., OLIVEIRA O., STEFANUTTI R., SOTELHO S. Utilização de esgoto tratado na agricultura: aporte de água e nutrientes. In Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção. Ed. F.S.B. Mota and M. Von Sperling. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro, 2009.
23. QUEVEDO C.M.G. As atividades do homem e a evolução da dinâmica do fósforo no meio ambiente. Dissertação de Mestrado em Saúde Pública. Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.
24. RUSSEL J.B. Química geral. Pearson Education do Brasil. São Paulo, 1994.
25. SMITH S. Recycling biosolids to land. In The nutrient cycle: closing the loop. Ed. H Hislop. Green Alliance. United Kingdom, 2007. <http://www.green-alliance.org.uk>. (acesso em 01 dezembro de 2010).
26. SCHRÖDER J.J., CORDELL D., SMIT A.L., ROSEMARIN A. Sustainable use of phosphorus. Report 357. EU Tender ENV.B.1/ETU/2009/0025. Plant Research International. Stockholm Environment Institute – SEI. Sweden, 2010. http://ec.europa.eu/environment/natres/pdf/sustainable_use_phosphorus.pdf. (acesso em 01 setembro 2011)
27. SOLT G.S. Phosphorus in industrial waters. In Phosphorus in fresh water and the marine environment. Ed. S.H. Jenkins, K.J. Ives. v. 2. 2 ed. Pergamon Press Officers. London, 1995.
28. TSUTIYA M.T. Alternativas de disposição final de bio sólidos. In Bio sólidos na agricultura. Ed. M.T. TSUTIYA, J.B. COMPARINI, P. ALÉM SOBRINHO, I. HESPANHOL, P.C.T. CARVALHO, A.J. MELPHI, W.J. MELO, M.O. MARQUES. Abes. São Paulo, 2002.
29. TUNDISI J.G. Água no século XXI: enfrentando a escassez. RiMa, IIE. São Carlos, 2003.