


A DINÂMICA DO APORTE DE FÓSFORO NA QUALIDADE DOS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS

THE DYNAMICS OF PHOSPHORUS INPUT IN THE QUALITY OF SURFACE WATER RESOURCES

LA DINÁMICA DEL APORTE DE FÓSFORO EN LA CALIDAD DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES

 <https://doi.org/10.56238/arev7n7-081>

Data de submissão: 05/06/2025

Data de publicação: 05/07/2025

João Paulo Muzika Hansen

Graduado em Química e mestrando do Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Rural Sustentável (PPGDRS)
Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste)
joaopaulohansen946@gmail.com
ORCID iD: 0009-0005-0290-5350
<http://lattes.cnpq.br/9909047215713863>

Armin Feiden

Doutor em Agronomia e Professor do Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Rural Sustentável (PPGDRS)
Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste)
armin.feiden@gmail.com
ORCID iD: 0000-0001-8068-5422
<http://lattes.cnpq.br/4810085662102214>

RESUMO

A presença de fósforo (P) nos ambientes aquáticos tem causado sérios danos à qualidade das águas e à biodiversidade. Este artigo tem como objetivo sintetizar o conhecimento científico disponível sobre a origem, os processos de transporte, transformação e retenção do fósforo em ecossistemas aquáticos, além de compreender a legislação que rege esse nutriente. A metodologia adotada nesta revisão, baseou-se em um quadro de artigos científicos, livros e pesquisas acadêmicas publicadas em dissertações e teses. Nesta temática foram abordadas as principais fontes de fósforo, incluindo contribuições naturais e, sobretudo, antrópicas, como o escoamento agrícola, resíduos da produção agropecuária, efluentes domésticos e industriais. Estudos de monitoramento de corpos hídricos têm comprovado o impacto do fósforo, produzindo ambientes aquáticos eutrofizados e comprometendo os usos múltiplos da água. A compreensão aprofundada da dinâmica do fósforo é essencial para o desenvolvimento de estratégias de monitoramento, gestão e mitigação da poluição difusa e pontual em bacias hidrográficas com significativa densidade demográfica e de atividades produtivas.

Palavras-chave: Antrópica. Eutrofização. Degradação. Nutrientes.

ABSTRACT

The presence of phosphorus (P) in aquatic environments has caused serious damage to water quality and biodiversity. This article aims to synthesize the available scientific knowledge on the origin, transport, transformation and retention processes of phosphorus in aquatic ecosystems, as well as

understanding the legislation governing this nutrient. The methodology adopted in this review was based on a framework of scientific articles, books and academic research published in dissertations and theses. The main sources of phosphorus were addressed, including natural and, above all, anthropogenic contributions, such as agricultural runoff, agricultural production waste, domestic and industrial effluents. Monitoring studies of water bodies have proven the impact of phosphorus, producing eutrophied aquatic environments and compromising the multiple uses of water. An in-depth understanding of phosphorus dynamics is essential for developing strategies for monitoring, managing and mitigating diffuse and point source pollution in river basins with significant population density and production activities.

Keywords: Anthropogenic. Eutrophication. Degradation. Nutrients.

RESUMEN

La presencia de fósforo (P) en ambientes acuáticos ha causado graves daños a la calidad del agua y la biodiversidad. Este artículo busca resumir el conocimiento científico disponible sobre el origen, transporte, transformación y retención del fósforo en los ecosistemas acuáticos, además de comprender la legislación que regula este nutriente. La metodología adoptada en esta revisión se basó en un marco de artículos científicos, libros e investigaciones académicas publicadas en disertaciones y tesis. Este tema abordó las principales fuentes de fósforo, incluyendo las contribuciones naturales y, sobre todo, las antropogénicas, como la escorrentía agrícola, los residuos de la producción agrícola y los efluentes domésticos e industriales. Estudios de monitoreo de cuerpos de agua han demostrado el impacto del fósforo, que produce ambientes acuáticos eutróficos y compromete los múltiples usos del agua. Un conocimiento profundo de la dinámica del fósforo es esencial para el desarrollo de estrategias de monitoreo, gestión y mitigación de la contaminación difusa y puntual en cuencas hidrográficas con densidad de población y actividades productivas significativas.

Palabras clave: Antropogénico. Eutrofización. Degradación. Nutrientes.

1 INTRODUÇÃO

A degradação dos ambientes aquáticos configura-se como um dos principais desafios ambientais que a sociedade contemporânea deverá enfrentar a curto e médio prazo. De acordo com Sperling (2014), a qualidade da água resulta da interação entre fatores naturais e intervenções antrópicas. Em uma bacia hidrográfica, o uso e a ocupação do solo constituem elementos determinantes na dinâmica da qualidade dos recursos hídricos, influenciando diretamente seus parâmetros físicos, químicos e biológicos.

Nesse contexto, torna-se pertinente distinguir as diferentes fontes de impactos antrópicos sobre os ambientes aquáticos, considerando-se as origens urbanas e rurais. As atividades urbanas contribuem significativamente por meio do lançamento de esgotos domésticos e efluentes industriais, enquanto o meio rural se destaca pela introdução de nutrientes como o fósforo e compostos nitrogenados nos corpos hídricos, decorrente de práticas agropecuárias, como o uso intensivo de fertilizantes na agricultura e das excretas provenientes da criação de animais, como a suinocultura, bovinocultura, piscicultura, dentre outras.

Um dos principais contaminantes que contribuem para a degradação dos ambientes aquáticos é o fósforo. Esteves (2011) salienta que o fósforo integra o rol de elementos químicos que detêm significativa importância aos seres vivos, sendo essencial para os sistemas biológicos, na participação de processos metabólicos e de estruturação da membrana celular e/ou como elemento precursor da produtividade primária nos ambientes aquáticos.

Esteves (2011) comenta que o fósforo tem sido apontado como principal nutriente responsável pela eutrofização dos corpos hídricos, que consiste na proliferação excessiva de algas e cianobactérias, comprometendo a fotossíntese de organismos submersos, reduzindo a disponibilidade de oxigênio, aumentando o crescimento da vegetação aquática e por conseguinte o afetando os usos múltiplos da água (Tundisi e Matsumura-Tundisi, 2020).

De acordo com Barbosa e Cirilo (2015) o excesso de nutrientes como nitrogênio e fósforo impulsionam a proliferação de algas e cianobactérias, sendo que algumas são capazes de produzir e liberar toxinas no meio hídrico, causando problema de saúde pública devido a utilização das águas dos mananciais para o abastecimento humano (Brasil, 2005).

De acordo com Barbosa e Cirilo (2015) o excesso de nutrientes como nitrogênio e fósforo impulsionam a proliferação de algas e cianobactérias, sendo um problema de saúde pública, quando a água do manancial é destinada ao abastecimento público, visto que algumas são capazes de produzir e liberar toxinas no meio hídrico (Brasil, 2005).

O monitoramento da origem do fósforo é de extrema relevância, tanto por ser um nutriente de esgoto doméstico, como também por outras fontes antrópicas, visto que a identificação e monitoramento destas fontes permite uma análise de tendências da bacia hidrográfica, além da implementação de ações mitigadoras, que almejam a redução do uso e barramento da entrada de nutrientes nos corpos hídricos receptores, evitando o processo de degradação das águas.

Portanto, esta pesquisa tem como objetivo analisar a dinâmica relacionada à produção, utilização e consequente degradação ambiental associada ao uso do fósforo, considerando suas diversas fontes, mecanismo de transporte, impactos ambientais e os instrumentos legais de controle. Assim, este estudo justifica-se pela necessidade de promover o uso racional e ambientalmente responsável desse elemento, melhorando a conservação e a qualidade do solo, e consequentemente, os recursos hídricos. Adicionalmente, pretende-se contribuir para a conscientização de legisladores e órgãos públicos de fiscalização quanto aos riscos do uso inadequado ou excessivo do fósforo nas atividades produtivas, ressaltando a importância da adoção de políticas e práticas que minimizem seus impactos ambientais.

2 METODOLOGIA

A metodologia da pesquisa é de base exploratória, bibliográfica, documental e de estudo de casos (Gil, 2002). Buscou-se analisar e discutir o conhecimento disponível sobre o aporte de fósforo em corpos hídricos, abordando suas fontes, mecanismos de transporte, impactos ambientais e os instrumentos legais de controle. Deste modo, a temática é fundamentada por meio de referências bibliográficas relacionadas ao estudo.

3 REVISÃO TEÓRICA

3.1 LEGISLAÇÕES AMBIENTAIS SOBRE O FÓSFORO

A Resolução CONAMA n.º 357/2005 é a principal legislação que dispõe sobre a classificação das águas, diretrizes ambientais de enquadramento e estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos receptores, inclusive estabelece o valor máximo permitido para presença de fósforo total nos ambientes hídricos.

De acordo com a Resolução CONAMA n.º 357/2005, o fósforo total tem valores distintos, em função do ambiente, sendo diferenciado entre lântico ou lótico. A própria resolução define ambiente lântico, como sendo “ambiente que se refere à água parada, com movimento lento ou estagnado” e ambiente lótico, como “ambiente relativo a águas continentais moventes”. Além disso, estabelece as classes de enquadramento para águas doce, salobras e salinas (Brasil, 2005)

De acordo com a legislação brasileira vigente (Brasil, 2005), os limites máximos permitidos de concentração de fósforo total nos corpos hídricos variam conforme a classe de enquadramento da água doce e o tipo de ambiente. Para águas doces das classes I e II, os valores máximos estabelecidos são de 0,020 mg/L em ambientes lênticos; 0,025 mg/L em ambientes intermediários, caracterizados por tempo de residência entre 2 e 40 dias e tributários diretos de ambientes lênticos; e 0,10 mg/L em ambientes lóticos e tributários de ambientes intermediários. Para águas classificadas como classe III, os limites são de 0,050 mg/L para ambientes lênticos; 0,075 mg/L para ambientes intermediários com tempo de residência entre 2 e 40 dias e seus tributários diretos; e 0,150 mg/L para ambientes lóticos e tributários de ambientes intermediários (Brasil, 2005).

No ano de 2005, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) tratou sobre a regulamentação do teor de fósforo em detergentes em pó no âmbito do território nacional, por meio da Resolução CONAMA n.º 359/2005. Essa regulamentação foi elaborada devido ao estado crítico de eutrofização de vários rios, lagos, lagoas e reservatórios, particularmente daqueles situados na área de influência de grandes aglomerações urbanas.

A legislação estabelecida em relação ao fósforo ocorreu em função do aporte de fósforo no meio ambiente proveniente de várias fontes, como esgotos domésticos, efluentes industriais, fertilizantes, erosão do solo, fontes difusas, entre outras. O excesso de fósforo em corpos hídricos intensifica o efeito de eutrofização, afetando negativamente os ecossistemas naturais, o abastecimento de água e demais usos (Brasil, 2005).

A Resolução CONAMA n.º 359/2005 aponta diversas fontes de contaminação pelo fósforo e estabelece o parâmetro máximo para o fósforo em detergentes. De acordo com Klein e Agne (2012), a legislação brasileira ainda não reconheceu de fato o potencial degradador do fósforo, levando em consideração outras fontes poluidoras, como a agricultura, suinocultura, aquicultura dentre outras.

Em relação à aquicultura, o Estado de São Paulo editou o Decreto 62.243/2016, que dispõe sobre as regras e procedimentos para o licenciamento ambiental da aquicultura. De acordo com o art. 23, I e § 1º, o controle de lançamento de fósforo deverá atender a requisitos legais e técnicos.

A implantação ou continuidade da aquicultura em tanques redes, barramentos ou cavas de mineração somente será admitida em corpos d'água da classe 2 que atendam aos padrões de qualidade estabelecidos por resolução do CONAMA para o parâmetro de fósforo total. § 1º - A constatação do não atendimento ao disposto no inciso II deste artigo, no tocante à aquicultura em tanques redes e barramento, facultará ao interessado promover, às suas expensas, o competente estudo técnico com vistas a demonstrar, nos termos da resolução CONAMA, que a quantidade de fósforo potencialmente lançada pela respectiva atividade do empreendedor identificado deverá ser compensada pela diminuição do lançamento de fósforo decorrente de fontes de poluição difusa indevidamente lançada no respectivo corpo d'água. (Decreto n.º 62.243/2016)

No âmbito federal, a Lei n.º 11.959/2009, que trata da Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável da Aquicultura e da Pesca, foi omissa aos potenciais problemas relacionados ao lançamento de fósforo oriundos da atividade aquícola em corpos hídricos receptores. Essa lacuna normativa evidencia a necessidade de geração e sistematização de dados científicos relacionados à emissão de fósforo na aquicultura, em tese para subsidiar eventuais revisões e aprimoramentos da legislação vigente.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DO FÓSFORO NA ÁGUA

De acordo com Sperling (2014), o fósforo se apresenta no ambiente aquático sob as formas de ortofosfato, polifosfato e fósforo orgânico. Segundo Esteves (2011), do ponto de vista limnológico, todas as formas de fósforo são importantes, porém o fósforo total e o fósforo-orto assumem maior relevância, uma vez que o primeiro permite quantificar o grau de fertilidade ou estado trófico do meio hídrico e o segundo por ser a principal forma de fosfatos assimilada por bactérias, microalgas e vegetais aquáticos.

Para Sperling (2014, p. 32) “o fósforo é um nutriente essencial para o crescimento dos microrganismos responsáveis pela estabilização da matéria orgânica. No entanto, não apresenta problemas de ordem sanitária nas águas destinadas ao abastecimento público”. Esse contexto se altera quando ocorre, posteriormente, a proliferação excessiva de cianobactérias, as quais liberam toxinas no ambiente aquático, representando um potencial risco à saúde humana, especialmente quando a água é destinada para consumo humano.

Segundo Esteves (2011), a presença de fosfato em ambientes aquáticos continentais advém de fontes naturais e artificiais. As de origem natural decorrem da dissolução de compostos do solo da bacia de drenagem, decomposição da matéria orgânica e da composição celular de microrganismos. De acordo com Franzen (2009), a contribuição por meio de fontes naturais para a degradação da qualidade da água é, em geral, limitada. Já as fontes antrópicas remetem aos despejos domésticos, industriais, detergentes, excrementos de animais e fertilizantes (Sperling, 2014).

Dentre os principais problemas ocasionados pela inserção de nitrogênio e fósforo no meio hídrico, remete-se à proliferação excessiva de algas, cianobactérias e de plantas aquáticas, visto que o fósforo se caracteriza como o principal fator limitante de produtividade (Libânio, 2010).

Além disso, a presença de algas e cianobactérias no meio hídrico representa importante parcela de produção de oxigênio dissolvido no meio hídrico gerada por meio do processo de fotossíntese. Por outro lado, a introdução de matéria orgânica nos mananciais pode, inicialmente, promover a redução das concentrações de oxigênio dissolvido, em razão da atividade de decomposição biológica. Esse

processo é mediado por microrganismos heterotróficos, os quais consomem oxigênio durante a degradação da matéria orgânica. (Libâno, 2010)

3.3 CONTAMINAÇÃO POR FÓSFORO DE ORIGEM ANTRÓPICA URBANA

De acordo com Franzen (2009), as principais fontes associadas ao potencial de degradação são de origem antrópica, notadamente aquelas resultantes do lançamento de matéria orgânica proveniente de efluentes domésticos, tratados ou não. Tais descargas constituem-se como os principais agentes poluidores em áreas urbanizadas. Segundo a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB (2018), a concentração de fósforo total em esgotos sanitários está na faixa de 6 a 10 mg/L. Este valor é considerável se comparado ao valor máximo permitido fixado pela Resolução CONAMA n.º 357/2005.

Por outro lado, os deflúvios superficiais urbanos produzem efeitos deletérios à qualidades dos ambientes aquáticos, por conta da migração de diversos contaminantes, compostos por “sedimentos, nutrientes, matéria orgânica, bactérias, e outros patogênicos, hidrocarbonetos, metais pesados e agentes tóxicos” (Rigghetto *et al.*, 2017, p. 1110). Esta forma de contaminação é caracterizada por ser de origem difusa.

Corroborando, Tundisi e Matsumura-Tundisi (2020), alertam para contaminação química das águas, devido ao lançamento de resíduos de processamento e limpeza industrial, destacando-se as indústrias de produção química, alimentos, bebidas, farmacêuticas, têxtil, metalúrgica, fertilizantes, dentre outras.

Tal contexto foi exposto no estudo realizado por Santos (2023), que buscou determinar o impacto causado pela ação antropogênica no aporte de fósforo total e seu fracionamento em sedimentos superficiais da bacia hidrográfica do rio Sergipe. A análise dos sedimentos permitiu identificar que as maiores concentrações de fósforo estavam associadas a regiões com elevada densidade industrial e intensa intervenção antrópica.

De modo similar, o relatório anual da Itaipu Binacional de 2023 destaca sobre a importância de ações de monitoramento dos afluentes, em especial em regiões, nas quais ocorre maior densidade populacional. O monitoramento da qualidade da água realizado pela Itaipu, identificou que alguns afluentes da Bacia do Paraná 3, detêm grande quantidade de nutrientes, o que determina o processo de eutrofização, sendo o braço do Rio Ocoí o que apresenta maior índice de eutrofização. O monitoramento destaca a necessidade da gestão da entrada de nutrientes como nitrogênio e fósforo, especialmente os de origem antrópica de áreas urbanas (Itaipu, 2023).

3.4 CONTAMINAÇÃO POR FÓSFORO DE ORIGEM ANTRÓPICA DO MEIO RURAL

O meio rural é um importante espaço da bacia de drenagem capaz de modificar as condições naturais dos recursos hídricos. Esse impacto está particularmente relacionado à presença de atividades produtivas, tais como a agricultura e atividades agropecuárias, localizadas em áreas adjacentes aos mananciais (Sperling, 2014).

Na agricultura o fósforo é amplamente empregado como fertilizante para o desenvolvimento nutricional das plantas. Isto por conta da aplicação de adubação mineral à base de nitrogênio, fósforo e potássio (NPK) (Klein e Agne, 2012).

Outra alternativa comumente utilizada na agricultura para o fornecimento de fósforo é a aplicação de dejetos suínos, os quais atuam como fertilizantes de base orgânica. Esse tipo de resíduo tem sido frequentemente utilizado como substituto parcial ou total dos fertilizantes minerais, devido à sua elevada concentração de fósforo, nitrogênio e outros nutrientes essenciais para o desenvolvimento das plantas (Barros *et al.*, 2019).

Barros *et al.* (2019) recomendam que a aplicação de dejetos de suínos no solo deve ser amparada por critérios técnicos, ou seja, a adição deve ser de modo racional, a fim de suprir somente o necessário para a assimilação das plantas.

Para Klein e Agne (2012), o fósforo é um nutriente que se movimenta pouco na maioria dos solos, permanecendo geralmente no mesmo local no qual foi inserido. Estima-se que o consumo de fósforo pelas plantas seja em torno de 15 a 25%. Portanto, em solos mais compactados, esse nutriente permanece mais na superfície e mais suscetível ao escoamento superficial.

O excesso de fósforo em áreas agricultáveis constitui um fator crítico de contaminação para ambientes aquáticos superficiais, em razão do seu elevado potencial eutrofizante. Esse impacto é intensificado pela disposição topográfica das paisagens rurais, nas quais os corpos hídricos geralmente se localizam em áreas de menor altitude, facilitando o escoamento superficial devido aos altos índices de precipitação (Sperling, 2014; Libâno, 2010; Moraes *et al.*, 2016).

De acordo com Gonçalves e Rocha (2016), as elevadas precipitações, principalmente nos meses de verão, causam efeitos danosos aos mananciais, especialmente pelo “processo erosivo de áreas agricultáveis, estradas rurais e o carreamento de sedimentos, resíduos de fertilizantes químicos, orgânicos e agrotóxicos”.

Além disso, Tundisi e Matsumura-Tundisi (2020) destacam que os processos erosivos causam problemas de ordem física em lagos, rios e represas, como alteração da paisagem e alterações na vazão e volume de água devido à entrada de sedimentos. Libâno (2010) salienta que uma das alternativas

para atenuar a magnitude do aporte de partículas, sólidos, nutrientes e de outros contaminantes aos mesmos associados é a manutenção da vegetação natural às margens dos afluentes.

Tal cenário foi estudado por Flach *et al.* (2023), que avaliou o uso e ocupação da terra e a qualidade da água na sub-bacia do Lajeado Pardo no noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. A pesquisa revelou que as áreas periféricas aos afluentes, anteriormente cobertas por vegetação florestal, foram predominantemente convertidas para atividades agrícolas, o que resultou em impactos negativos nas variáveis de qualidade da água da microbacia.

Além das fontes das áreas agricultáveis e da criação de animais, a aquicultura é um ramo de produção de proteína animal em expansão no cenário nacional. De acordo com o Ministério da Pesca e Aquicultura (MPA), a produção aquícola aumentou 6,2% em 2023 e cresceu 16% em relação a 2022. A tilápia é a precursora desse crescimento, sendo a líder em volume de proteína processada.

Diante desse contexto, houve o crescimento de áreas destinadas à produção de peixes, em especial aquelas destinadas à produção intensiva e que geram águas residuárias com elevadas concentrações de fósforo e nitrogênio, fruto do elevado adensamento de peixes em tanques e viveiros escavados, e que são estruturalmente dependentes de fontes externas de alimentação (Macedo e Tavares, 2010).

A produtividade da piscicultura depende fundamentalmente da qualidade da água, ou seja, ela é o fator limitante da produção piscícola (Minucci, Pinese e Espíndola, 2005). O aporte externo de ração e as excretas dos peixes elevam o estado trófico das águas, por conta do aumento da concentração de matéria orgânica, fósforo e nitrogênio. Deste modo, o aporte de nutrientes e matéria orgânica pode proporcionar o excesso de fitoplâncton, alteração na quantidade de oxigênio dissolvido, elevação da concentração de amônia e aumento de sólidos em suspensão. Tais fatores em excesso podem prejudicar o desenvolvimento piscícola (Silva, Losekann e Hisano, 2013).

Segundo Minicci, Pinese e Espíndola (2005), a ração é a principal fonte nutricional dos peixes e sua formulação química determina a quantidade de compostos fosfatados e nitrogenados presentes no ambiente aquático. Coldebella *et al.* (2020) expõem que “a entrada de nitrogênio e fósforo no sistema ocorre por meio do abastecimento de água, peixes jovens e ração, sendo esta última responsável por cerca de 92,87% TN e 96,05% TP”. Todavia, os autores ainda salientam que a formulação das rações em relação à concentração do fósforo deve ser observada, pois verificou-se excesso em relação à real necessidade de desenvolvimento da tilápia-do-nilo.

O controle dos parâmetros físicos-químicos das águas residuárias da piscicultura é relevante para evitar a contaminação dos afluentes adjacentes, especialmente pelo excesso de nitrogênio, fósforo e matéria orgânica. Segundo Coldebella (2018), destaca-se que a implementação de práticas voltadas

à gestão dos sedimentos mostra-se essencial para mitigar o acúmulo de nutrientes e matéria orgânica no leito sedimentar, bem como para reduzir a concentração de sólidos em suspensão na coluna d'água.

A adoção de práticas sustentáveis da atividade piscícola se faz necessária, sendo uma das alternativas a implementação de tanque de decantação, que age como uma espécie de sumidouro de fósforo e redução dos sólidos. Tal mecanismo pode ser incorporado por peixes filtradores e macrófitas que reduzem a porção de contaminantes despejados no manancial (Barcellos, 2020). O procedimento reduziria a concentração do teor de fósforo das águas residuárias despejadas nos corpos hídricos receptores, tornando o manejo piscícola mais ambientalmente sustentável.

3.5 ESTUDOS DE MONITORAMENTO DE FÓSFORO

Nos estudos realizados por Pietrobon *et al.* (2024) em relação à presença de fósforo em balneários do Lago de Itaipu, pertencente ao Rio Paraná, nos Municípios de Marechal Cândido Rondon (balneário 1), Entre Rios do Oeste (balneário 2) e Santa Helena (balneário 3). Os autores monitoraram a presença de fósforo e demais parâmetros pelo período de doze meses, especificamente de março de 2022 a fevereiro de 2023. Os dados demonstram elevada concentração de fósforo nos meses de março e maio. O menor valor encontrado para ambos os meses ocorreu no (balneário 2) 0,430 mg/L em março e o maior valor em maio no (balneário 3) 0,835 mg/L. Nos demais meses da pesquisa, os valores ficaram dentro do que a legislação permite. Os autores explicam que os valores acima de 0,15 mg/L para ambientes lóticos remetem ao uso e ocupação do solo a montante dos pontos da pesquisa, em especial a ações antrópicas no meio rural e urbano, como aplicação de fertilizantes na agricultura, despejo de esgoto doméstico ou de resíduos industriais.

O fósforo é classificado como o principal agente precursor da produtividade de macrófitas aquáticas flutuantes (Esteves, 2011). A figura 1 mostra a eutrofização do balneário 2 na praia artificial de Entre Rios do Oeste no mês de junho de 2022, sendo coberta por vegetação aquática, condição que altera o aspecto paisagístico e interfere na dinâmica da biodiversidade do local.

Figura 1 - Eutrofização do balneário de Entre Rios do Oeste



Fonte: Pietrobon *et al.* (2024)

Condição similar foi exposta no relatório de monitoramento da Itaipu Binacional de 2020, na Bacia Hidrográfica do Paraná 3, que avaliou a qualidade da água da bacia do Rio Ocoí, o qual apontou elevado teor de nutrientes. O relatório sugere a necessidade de implantação de políticas conservacionistas de manejo da água e solo, bem como a adoção de políticas de saneamento ambiental que sejam priorizadas na bacia de contribuição do Rio Ocoí. As consequências da eutrofização já detectada em anos anteriores no braço do Rio Ocoí, produziram a explosão populacional de espécies de flutuantes (plantas aquáticas), fator crucial que restringe os usos múltiplos desse manancial (Itaipu, 2020).

Outro estudo similar conduzido por Glória (2020) analisou a qualidade da água da Bacia Hidrográfica do Ribeirão São João, localizado no município de Porto Nacional, no Estado do Tocantins, em relação à presença de fósforo e demais variáveis. Foram investigados três pontos (P1, P2 e P3), pelo período de seis meses, tanto no período seco quanto no chuvoso. P1 variou de 0,41 a 1,14 mg/L; P2 variou de 0,26 a 0,65 mg/L e P3 variou de 0,26 a 0,81 mg/L. Os resultados ficaram acima do valor máximo permitido, que é de 0,10 mg/L de fósforo para ambientes lóticos e tributários de ambientes intermediários, ou seja, os valores estão em desacordo com o que a Resolução CONAMA n.º 357/2005 estabelece como referência. A autora ressalta que os valores elevados decorrem prioritariamente da presença de atividades antropogênicas ao longo do curso do rio.

Santos (2013) investigou a concentração de fósforo em cinco pontos de amostragem no Rio Pinheiros, localizado no Estado de São Paulo, sendo a pesquisa realizada por meio de duas campanhas, uma em agosto de 2011 e a outra em fevereiro de 2012, e contemplou momentos de seca e chuva. Os

maiores valores encontrados da concentração de fósforo ocorreram em agosto: P1 0,97 mg/L; P3 0,91 mg/L; P5 0,81 mg/L; P2 0,48 mg/L e P4 0,47 mg/L. E os menores teores da concentração de fósforo foram em fevereiro de 2012, variando de 0,02 a 0,32 mg/L. Deste modo, conclui-se que o Rio Pinheiros está com valores de concentração de fósforo acima do estabelecido pela Resolução Conjunta SEE-SMA-SRHSO (2001) ($< 0,025$ mg/L). Para explicar os valores menores em fevereiro de 2012 e maiores em agosto de 2011, a Santos (2013) justifica-se deve pela ocorrência de precipitação maior em fevereiro, o que pode ter contribuído para a diluição da concentração de fósforo.

Junior *et al.* (2024) estimaram o aporte de nitrogênio e fósforo na microbacia hidrográfica do rio Açu, localizada nas divisas dos municípios de Terra Roxa e Palotina. A metodologia empregada foi o uso de geotecnologias para caracterizar a morfometria da microbacia e o mapeamento e classificação dos viveiros escavados destinados à produção piscícola. A microbacia do Rio Açu integra o rol de porções hídricas declaradas como áreas críticas quanto ao uso de recursos hídricos, restrição imposta por meio do Instituto Água e Terra (IAT) em 2021. Os dados referentes ao aporte de nitrogênio e fósforo durante o período de 9 meses, considerando o ciclo de cultivo e despesca, aportaram o despejo de 395 toneladas de nitrogênio e 48 toneladas de fósforo total.

Todavia, no caso da porção hídrica da microbacia do Rio Açu, o estudo somente dimensionou o aporte de fósforo decorrente do manejo piscícola, sem considerar a inserção por outras fontes, como a agricultura, criação de animais, além de fontes de áreas urbanas, condição que elevaria o quantitativo de fósforo despejado no afluente.

4 CONCLUSÃO

Os resultados da pesquisa indicam a necessidade de aprimoramento da legislação ambiental no que se refere ao controle do aporte de fósforo proveniente de atividades produtivas localizadas nas áreas adjacentes aos mananciais. Tal medida se justifica em função do elevado potencial de degradação associado à presença de fósforo nos ecossistemas aquáticos, fator preponderante para o crescimento de algas, cianobactérias e de plantas aquáticas, decorrente do processo de eutrofização.

A pesquisa alerta para a necessidade da adoção do uso racional do fósforo na agricultura, em especial no controle na aplicação de fertilizantes e dejetos de suínos, usados para melhorar a qualidade do solo para o plantio agrícola. O excesso de nutrientes no solo é um problema em momentos de elevadas precipitações, quando os nutrientes migram por escoamento superficial ao leito do afluente.

Outro aspecto relevante a ser considerado é o crescimento da aquicultura, atividade em que a água representa a principal matéria-prima. Neste contexto, destaca-se a piscicultura, que apresenta um dos maiores potenciais de impacto ambiental, especialmente em sistemas de cultivo semi-intensivos e

intensivos, caracterizados por altas densidades de estocagem de peixes. Nessas condições, ocorre uma produção significativa de fósforo, resultante principalmente dos resíduos de ração não consumida e das excretas dos animais, os quais são lançados diretamente no ambiente aquático, contribuindo para a degradação da qualidade da água.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, Ioná Beltrão Rameh; CIRILO, José Almir. Contribuição média de fósforo em reservatório de abastecimento de água – Parte 1. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 20, n. 1, p. 39–46, jan./mar. 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/zqrdkkc8zNfqZfjFBR3hVfc/>. Acesso em: 3 jun. 2025.

BARCELLOS, Leonardo José Gil. Manual de boas práticas na criação de peixes de cultivo. Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2022.

BARROS, Evandro Carlos; NICOLOSO, Rodrigo da Silveira; OLIVEIRA, Paulo Armando V. de; CÔRREA, Juliano Corulli. Potencial agrônômico dos dejetos de suínos. Concórdia, SC: Embrapa Suínos e Aves, 2019. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1117243/1/final9052.pdf>. Acesso em: 19 maio 2025.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, 18 mar. 2005.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 359, de 29 de abril de 2005. Dispõe sobre a regulamentação do teor de fósforo em detergentes em pó para uso em todo o território nacional e dá outras providências. *Diário Oficial da União*: Brasília, DF, 03 maio de 2005.

BRASIL. Ministério da Pesca e Aquicultura. Produção aquícola aumenta 6,2% no Brasil e gera R\$ 10,2 bilhões em 2023. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mpa/pt-br/assuntos/noticias/producao-aquicola-aumenta-16-no-brasil-e-gera-r-10-2-bilhoes-em-2023>. Acesso em: 03 jun. 2025.

BRASIL. Lei nº 11.959, de 29 de junho de 2009. Dispõe sobre a Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável da Aquicultura e da Pesca, regula as atividades pesqueiras, revoga a Lei nº 7.679, de 23 de novembro de 1988, e dispositivos do Decreto-Lei nº 221, de 28 de fevereiro de 1967, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, 30 jun. 2009.

COLDEBELLA, Anderson; GODOY, Antonio Cezar; GENTELINI, André Luis; PIANA, Pitágoras Augusto; COLDEBELLA, Priscila Ferri; BOSCOLO, Wilson Rogério; FEIDEN, Aldi. Nitrogen and phosphorus dynamics in Nile tilapia farming in excavated rearing ponds. *Research, Society and Development*, [S. l.], v. 9, n. 11, p. e1319119699, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i11.9699. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/9699>. Acesso em: 3 jun. 2025.

COLDEBELLA, Anderson. Efluentes da piscicultura intensiva em viveiros escavados: caracterização e dinâmica dos nutrientes. 2018. Tese (Doutorado em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca) – Centro de Engenharias e Ciências Exatas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2018.

ESTEVES, Francisco de Assis. Fundamentos de Limnologia. 3ª edição. Editora Interciência Ltda. 2011.

FLACH, Kauane Andressa; BISOGNIN, Ramiro Pereira; DA ROSA, Genesio Mario; BONES, Ubiratan Alegransi; SIPERT, William Wichrowski. Avaliação do uso e cobertura da terra e da qualidade da água da sub-bacia do Lajeado Pardo no noroeste do Rio Grande do Sul. *Revista de Geografia (Recife)*, v. 40, n. 3, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.51359/2238-6211.2023.258614>. Acesso em: 19 maio 2025.

FRANZEN, Melissa. Dinâmica do fósforo na interface água-sedimento em reservatórios. 2009. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Porto Alegre, 2009.

GLÓRIA, Lucivania Pereira. Qualidade da água da bacia hidrográfica do Ribeirão São João do Município de Porto Nacional (TO). 1ª Edição. Iguatu, CE: Quipá Editora, 2020.

GONÇALVES, Daniel Ruiz Potma; ROCHA, Carlos Hugo. Indicadores de qualidade da água e padrões de uso da terra em bacias hidrográficas no Estado do Paraná. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1172–1183, set. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900017>.

HURTADO, Fernanda Bay; FIGUEIREDO, Fabiano Moreira; COSTA, Rafaela Lemes da; BOMFIM, Satia Costa; QUEIROZ, Cláudio Brandão de; PONTES, Wesley Paulo. Parâmetros limnológicos em viveiros de piscicultura semi-intensiva de tambaqui com abastecimento em disposição sequencial. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, Maringá (PR), v. 11, n. 1, p. 9–30, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.17765/2176-9168.2018v11n1p9-30>.

JUNIOR, Olavo José Luiz; MACEDO, Humberto Rodrigues; WERNECK, Pedro Rondon; FRANCISCO, Humberto Rodrigues; FEIDEN, Aldi. Estimativa de aporte de nitrogênio e fósforo na microbacia hidrográfica do rio Açu utilizando ferramentas de geoprocessamento. *Revista Caderno Pedagógico*, Curitiba: Studies Publicações e Editora Ltda., v. 21, n. 3, p. 01–19, 2024. DOI: 10.54033/cadpedv21n3-061.

INSTITUTO DE ÁGUA E TERRA. Áreas Críticas quanto ao uso de Recursos Hídricos. Disponível em: <<https://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Areas-Criticas-quanto-ao-uso-de-Recursos-Hidricos>>. Acesso em: 17 abr. 2025.

ITAIPU BINACIONAL. Relatório Anual 2020: Integração que gera energia e desenvolvimento. Foz do Iguaçu: Itaipu Binacional, 2020. Disponível em: https://www.itaipu.gov.br/sites/default/files/af_df/RELATORIO_ITAIPU_2020.pdf; Acesso em: 3 de jun. 2025.

ITAIPU BINACIONAL. Relatório Anual 2023: um tratado, dois povos unidos. Foz do Iguaçu: Itaipu Binacional, 2024. Disponível em: https://www.itaipu.gov.br/sites/default/files/af_df/Relatorio_Anual_Itaipu2023_Portugues.pdf. Acesso em: 3 de junho de 2025.

KLEIN, Claudia; AGNE, Sandra Aparecida Antonini. Fósforo: de nutriente à poluente! *Rev. Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v. 8, n. 8, p. 1713–1721, 2012. Santa Maria.

LIBÂNIO, Marcelo. Fundamentos de qualidade e tratamento de água. 3. ed. Campinas, SP: Editora Átomo, 2010.

MACEDO, Carla Fernandes; SIPAÚBA-TAVARES, Lúcia Helena. Eutrofização e qualidade da água na piscicultura: consequências e recomendações. Boletim do Instituto de Pesca, São Paulo, v. 36, n. 2, p. 149–163, 2010. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/items/75801507-11c6-4b52-a1d9-bbd2593d3281>. Acesso em: 27 maio 2025.

MERCANTE, Cacilda Thais Janson; DO CARMO, Clóvis Ferreira; OSTI, João Alexandre Saviolo. Efluente de piscicultura: adequação à legislação ambiental por meio da tecnologia de ilhas flutuantes artificiais (IFAs). Revista Geociências, Guarulhos, v. 19, n. 2, p. 59–68, fev. 2021. DOI: 10.33947/1981-741X-v19n2-4437.

MINUCCI, Luciene Vilela; PINESE, José Fernando; GAETA ESPÍNDOLA, Evaldo Luiz. Análise limnológica de sistema semi-intensivo de criação de *Leporinus macrocephalus* (Pisces, Anostomidae). Bioscience Journal, Uberlândia, MG, v. 21, n. 1, 2006. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/6571>. Acesso em: 27 maio 2025.

MORAIS, Marla Regina Domingues; OLIVEIRA, Manildo Marcião; OLIVEIRA, Vicente de Paulo Santos. Impacto da ação antrópica na qualidade da água da represa de Juturnaíba – Silva Jardim/RJ. Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego, [S. l.], v. 10, n. 1, p. 201–223, 2016. Disponível em: <https://editoraessentia.iff.edu.br/index.php/boletim/article/view/7533>. Acesso em: 1 jun. 2025.

PARANÁ, Agência Estadual de Notícias. 34 cidades do Paraná têm Valor Bruto de Produção Agropecuária acima de R\$ 1 bilhão. Disponível em: <<https://www.aen.pr.gov.br/Noticia/34-cidades-do-Parana-tem-Valor-Bruto-de-Producao-Agropecuaria-acima-de-R-1-bilhao>>. Acesso em: 25/6/2024.

PIETROBOM, Maristela; PALÁCIO, Soraya Moreno; CAMPOS, Plínio Ribeiro Fajardo; PIANA, Pitágoras Augusto; VEIT, Márcia Teresinha. Monitoramento ambiental de balneários do Rio Paraná: avaliação física, química, microbiológica e ecotoxicológica. Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, v. 11, n. 29, p. 1367–1383, dez. 2024. DOI: [https://doi.org/10.21438/rbgas\(2024\)112921](https://doi.org/10.21438/rbgas(2024)112921). Disponível em: <https://revista.ecogestaobrasil.net/atual.html>. Acesso em: 01 jun. 2025.

QUEVEDO, Claudia Maria Gomes de e PAGANINI, Wanderley da Silva. Impactos das atividades humanas sobre a dinâmica do fósforo no meio ambiente e seus reflexos na saúde pública. Revista Ciência & Saúde Coletiva, v. 16, n. 8, p. 3539-3539, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-81232011000900021>. Acesso em: 03 jun. 2025.

RIGHETTO, Antonio Marozzi; GOMES, Kaline Muriel; FREITAS, Francisco Rafael Sousa. Poluição difusa nas águas pluviais de uma bacia de drenagem urbana. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 22, n. 6, p. 1109-1120, nov./dez. 2017.

SANTOS, Cleciana do Rosário. Impacto antropogênico ao aporte de fósforo em sedimentos superficiais da bacia hidrográfica do Rio Sergipe, 2023. Dissertação (Mestrado em Química), Programa de Pós-Graduação em Química, da Universidade Federal de Sergipe.

SANTOS, Juliana Cassia Santos. Avaliação ambiental sobre a presença de fósforo nos ambientes aquáticos do Rio Pinheiros e da Represa Billings, SP. 2013. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Sustentabilidade) – Instituto de Ciências Ambientais, Químicas e Farmacêuticas, Universidade Federal de São Paulo, Campus Diadema, Diadema, 2013

SÃO PAULO (Estado). Decreto nº 62.243, de 1º de novembro de 2016. Dispõe sobre as regras e procedimentos para o licenciamento ambiental da aquicultura, no Estado de São Paulo, e dá providências correlatas. Diário Oficial do Estado de São Paulo, Poder Executivo, São Paulo, SP, 2 nov. 2016.

SILVA, Mariana Silveira Guerra Moura e; LOSEKANN, Marcos Eliseu; HISANO, Hamilton. Aquicultura: manejo e aproveitamento de efluentes. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente, 2013. 39 p. (Documentos / Embrapa Meio Ambiente, 95).

SILVÉRIO, Jéssica Mitizy de Oliveira. O papel da macrófita aquática emersa Montrichardia linifera (Araceae) na ciclagem de fósforo e na bioacumulação de metais pesado em um sistema fluvial sob efeitos da urbanização. 2017. 112f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

SPERLING, Marcos von. Estudos e modelagem da qualidade da água de rios. 2. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014.

TUNDISI, José Galizia; MATSUMURA-TUNDISI, Takako. A água. São Carlos, SP: Editora Scienza, 2020.