

Contaminação do solo e da água por fósforo em função de atividade suinícola em bacia hidrográfica de Santa Catarina

A atividade suinícola vem apresentando-se como altamente poluidora devido ao volume de dejetos gerado, usualmente aplicados em áreas agricultáveis e que podem contaminar o solo e mananciais hídrico, especialmente com o fósforo (P). Nesse contexto, o objetivo do presente estudo é avaliar a contaminação da água e do solo por fósforo, influenciado pela atividade suinícola, na bacia hidrográfica Rio Coruja/Bonito, em Braço do Norte/SC. O presente estudo foi desenvolvido em quatro propriedades suinícolas e no Rio Coruja, no período de Julho/2015 a Junho/2016. Foram coletadas amostras de água (Jul/2015, Out/2015, Dez/2015, Mar/2016 e Jun/2016) e de solo (Dez/2015). Nas amostras de água foram determinados os teores de P dissolvido (Pd), P particulado (Pp), P total (Pt) e Índice de Estado Trófico (IET), aplicando-se os valores limítrofes conforme a Resolução CONAMA nº357/2005. Nas amostras de solo foram determinados os teores de P extraído por Mehlich-1 e de argila, a partir dos quais foi calculado o Limite Crítico Ambiental de Fósforo (LCA-P). Os teores de Pt na água apresentaram-se acima do limite estabelecido pela legislação vigente, com potencial para causar a eutrofização e reduzir a qualidade da água em todos os pontos avaliados. Associado a isso, a aplicação de dejetos suínos no solo em áreas agricultáveis contribui com aporte de material particulado, bem como o solo como fonte de P aos corpos hídricos. Dessa forma, em áreas que recebem aplicações de dejetos de suínos, recomenda-se o uso de medidas mitigatórias que reduzam as transferências de água e sedimentos para os mananciais hídricos, como a adoção de sistemas conservacionistas de manejo do solo, reduzindo, também, o transporte de P e outros elementos potencialmente contaminantes.

Palavras-chave: Eutrofização; Qualidade da água; Qualidade do solo; Índice de Estado Trófico.

Contamination of soil and water by phosphorus as a function of swine activity in the catchment area of Santa Catarina

The contamination of aquatic environments by phosphorus (P) has caused degradation of water quality, mainly due to anthropic activities. The swine activity has been presented as highly polluting due to the volume of waste generated, usually applied in agricultural areas and that can contaminate the soil and water sources. In this context, the objective of the present study is to evaluate the contamination of water and soil by phosphorus, influenced by swine activity, in the Rio Coruja/Bonito watershed, in Braço do Norte/SC. The present study was carried out in four pig farms and in the Rio Coruja, from July/2015 to June/2016. Water samples were collected (Jul/2015, Oct/2015, Dec/2015, Mar/2016 and Jun/2016) and soil samples (Dec/2015). In the water samples, the values of dissolved P (Pd), particulate P (Pp), total P (Pt) and Trophic State Index (IET) were determined, applying the boundary values according to CONAMA Resolution 357/2005. In the soil samples the P extracted by Mehlich-1 and clay contents were determined, from which the Critical Environmental Phosphorus Limit (LCA-P) was calculated. The Pt contents in the water were above the limit established by the current legislation, with the potential to cause eutrophication and reduce water quality at all evaluated points. Associated with this, the application of swine manure in the soil in arable areas contributes to the contribution of particulate material, as well as the soil as a source of P to water bodies. Thus, in areas that receive applications of swine manure, it is recommended the use of mitigation measures that reduce the transfer of water and sediments to water sources, such as the adoption of conservation systems of soil management, also reducing the transport of P and other potentially contaminating elements.

Keywords: Eutrophication; Water quality; Soil quality; Index of Trophic Status.

Topic: **Desenvolvimento, Sustentabilidade e Meio Ambiente**

Received: **07/05/2022**

Approved: **29/05/2022**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Eliana Aparecida Cadoná 
Universidade Federal de Pelotas, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/8511698054229545>
<http://orcid.org/0000-0003-4556-4259>
elianacadona@yahoo.com.br

Paula Beatriz Sete 
Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/2289171212360387>
<http://orcid.org/0000-0002-8541-5058>
paulasete@gmail.com

Jucinei José Comin 
Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/2102470407726802>
<http://orcid.org/0000-0002-6176-6208>
j.comin@ufsc.br

Arcângelo Loss 
Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/0141309529524292>
<http://orcid.org/0000-0002-3005-6158>
arcangelo.loss@ufsc.br

Cláudio Roberto Fossêca Sousa Soares 
Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6087439064994061>
<http://orcid.org/0000-0002-5443-6614>
crfsoares@gmail.com

Eduardo Lorensi de Souza 
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/2959552862063583>
<http://orcid.org/0000-0003-4834-0066>
elorensi@yahoo.com.br

Cledimar Rogério Lourenzi 
Universidade Federal de Santa Catarina
<http://lattes.cnpq.br/4740156130095122>
<http://orcid.org/0000-0002-0347-0003>
lourenzicr@gmail.com

Rafael Ricardo Cantu 
Universidade Federal de Santa Maria, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6726173361383891>
<http://orcid.org/0000-0003-2884-9340>
rrcantu@epagri.sc.gov.br



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2022.005.0021

Referencing this:

CADONÁ, E. A.; SETE, P. B.; COMIN, J. J.; LOSS, A.; SOARES, C. R. F. S.; SOUZA, E. L.; LOURENZI, C. R.; CANTU, R. R.. Contaminação do solo e da água por fósforo em função de atividade suinícola em bacia hidrográfica de Santa Catarina. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.13, n.5, p.276-288, 2022. DOI:
<http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2022.005.0021>

INTRODUÇÃO

O fósforo (P) vem sendo amplamente estudado nos últimos anos em decorrência do seu potencial contaminante de corpos hídricos, gerando quadros de eutrofização que ocorre a partir do enriquecimento primário dos sistemas aquáticos (AGUIAR et al., 2012). Além disso, quando aliado a condições de luminosidade adequada, ocorre maior desenvolvimento de algas nos corpos hídricos, diminuindo o oxigênio dissolvido no meio e ocasionando a morte dos organismos e liberação de material orgânico (FIA et al., 2009). Dentre os fatores naturais que podem ocasionar a eutrofização, a dissolução de rochas afeta a disponibilidade de P no ambiente aquático (GEBLER et al., 2012).

O aumento nos teores de P nos ambientes aquáticos ocasiona a degradação da qualidade da água, especialmente em lagos e reservatórios, sendo que para estes ambientes a ação antrópica tem sido o principal agente (BUCCI et al., 2015). Juntamente com o P em solução (solúvel), a presença de sedimentos com P adsorvido também ocasiona quadros de eutrofização, pois o P que se encontra na forma particulada pode tornar-se solúvel no meio aquático quando a disponibilidade do mesmo diminui. Nesse sentido, regiões estuarinas que recebem grande aporte de sedimentos de rios também sofrem processos de eutrofização, mesmo levando-se em consideração a constante movimentação e o fluxo de água, que carrega consigo sedimentos ricos em P (FIA et al., 2015).

Dentre as atividades antrópicas, a suinocultura contribui significativamente para o quadro de eutrofização, pois os dejetos líquidos de suínos (DLS) apresentam quantidades consideráveis de P e a sua aplicação no solo proporciona aumento da disponibilidade de nutrientes, entre eles o P (LOURENZI et al., 2013; LOURENZI et al., 2016). Nesse sentido, a aplicação constante de DLS em áreas agricultáveis promove acúmulo de P nas camadas superficiais do solo, devido ao predomínio de P em formas inorgânicas nos DLS e o mesmo ser absorvido em menores quantidades pelas plantas (GATIBONI et al., 2008; CAPOANE et al., 2015), tornando-se suscetível aos processos de transferências no solo, especialmente por escoamento superficial (CERETTA et al., 2010; LOURENZI et al., 2015; LOURENZI et al., 2021).

Dessa forma, pequenos rios em bacias hidrográficas de pequenas extensões, onde a atividade suinícola normalmente está inserida e o uso dos dejetos em áreas agricultáveis ocorre com maior intensidade, acabam sofrendo maiores danos quando comparados a rios de grandes volumes em bacias hidrográficas com grande extensão territorial (GEBLER et al., 2012). Nesse sentido, o objetivo do presente estudo foi avaliar a contaminação do solo e da água por fósforo, influenciado pela atividade suinícola, na microbacia hidrográfica Rio Coruja/Bonito, em Braço do Norte/SC.

MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo foi desenvolvido na bacia hidrográfica Rio Coruja/Bonito, que possui, aproximadamente, 52 km² e está inserida na bacia do Rio Tubarão, região Sudeste do estado de Santa Catarina. Geograficamente, a bacia localiza-se na região sudeste-leste do município de Braço do Norte/SC. O clima da região é classificado como subtropical úmido, tipo Cfa, segundo classificação de Köppen-Geiger.

Durante o período de estudo foram obtidos os valores de precipitação e temperatura média mensal a partir dos dados meteorológicos online da Estação Meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizado no município de Urussanga (Figura 1).

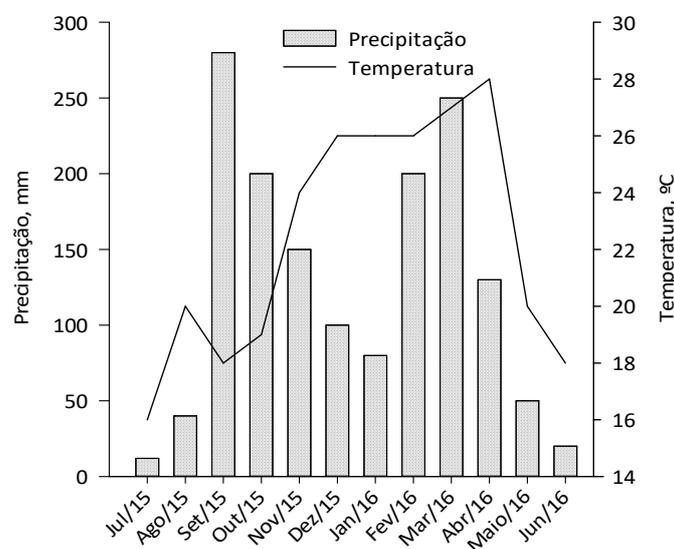


Figura 1: Precipitação e temperaturas médias mensais observadas no período de estudo.

O estudo foi desenvolvido no período de julho de 2015 a junho de 2016, sendo realizadas cinco coletas de água e uma coleta de solo no período. As coletas de água foram realizadas nas datas de 20/07/15, 20/10/2015, 05/12/2015, 21/03/2016 e 24/06/2016, sendo que para isso foram selecionadas quatro propriedades agrícolas e o Rio Coruja/Bonito. Das propriedades selecionadas, três apresentavam criação de suínos e uso intensivo de dejetos nas áreas de lavouras e uma não possuía criação de suínos, mas utilizava dejetos nas áreas de lavouras provenientes de propriedades vizinhas. Os pontos de coleta foram identificados conforme o tipo (poços de abastecimento - PA, nascentes - N, açudes - A, rio - R) e o número da propriedade ou ponto do rio (1, 2, 3 e 4), com exceção da propriedade 1 que possui dois açudes (A1.1 e A1.2) e dois poços de abastecimento (PA1.1 e PA1.2), conforme descrição apresentada na tabela 1.

Tabela 1: Caracterização e localização de cada ponto de coleta de água na microbacia do Rio Coruja/Bonito.

Ponto de coleta	Tipo	Altitude	Coordenada geográfica
PA1.1	Poço de abastecimento	381 m	28°13'977" S, 49°06'254" O
PA1.2	Poço de abastecimento	383 m	28°13'992" S, 49°06'201" O
A1.1	Açude	383 m	28°13'942" S, 49°06'245" O
A1.2	Açude	382 m	28°14'011" S, 49°06'246" O
PA2	Poço de abastecimento	405 m	28°11'786" S, 49°04'770" O
N2	Nascente	410 m	28°11'888" S, 49°04'612" O
A2	Açude	403 m	28°11'807" S, 49°04'639" O
PA3	Poço de abastecimento	399 m	28°11'818" S, 49°05'492" O
N3	Nascente	396 m	28°11'806" S, 49°05'472" O
A3	Açude	399 m	28°11'818" S, 49°05'498" O
PA4	Poço de abastecimento	388 m	28°12'483" S, 49°05'204" O
R1	Rio Coruja	389 m	28°12'461" S, 49°05'170" O
A4	Açude	393 m	28°12'587" S, 49°05'287" O
R2	Rio Coruja	375 m	28°13'528" S, 49°05'946" O
R3	Rio Coruja	277 m	28°15'372" S, 49°05'562" O

As coletas das amostras de água foram feitas em poços de abastecimento humano, mananciais

lênticos e lóticos, onde foram coletados, aproximadamente, 300 mL de água em cada ponto pré-estabelecido. Após a coleta, as amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Análise de Solo, Água e Tecidos Vegetais do Departamento de Engenharia Rural da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Em laboratório foram determinados os teores dissolvidos de P (P_d), a partir da filtragem de, aproximadamente, 50 mL de cada amostra em filtros de celulose 0,45 μm . Para a determinação dos teores totais de P (P_t) foi realizada digestão ácida nitroperclórica das amostras não filtradas, segundo metodologia adaptada e descrita por Silva (1999). Com os resultados obtidos foram determinados os teores particulados de P (P_p) a partir da subtração dos teores dissolvidos dos teores totais ($P_p = P_t - P_d$).

Utilizando os teores de P_t , efetuou-se o cálculo do Índice de Estado Trófico (IET) a partir de uma adaptação do método proposto por Lamparelli (2004), onde o cálculo do estado trófico de rios (equação 1) e reservatórios (equação 2) é realizado conforme equações abaixo e a interpretação dos valores obtidos realizada conforme tabela 2.

$$IET = 10 * \left(6 - \left(\frac{0,42 - 0,36 * (\ln Pt)}{\ln 2} \right) \right) - 20 \quad \text{Equação 1}$$

$$IET = 10 * \left(6 - \left(\frac{1,77 - 0,42 * (\ln Pt)}{\ln 2} \right) \right) \quad \text{Equação 2}$$

Onde IET: índice de estado trófico; Pt: fósforo total expresso em $\mu\text{g L}^{-1}$; \ln : logaritmo neperiano.

Para avaliar o potencial contaminante do solo que compõe a paisagem onde os pontos de coleta de água estavam inseridos, em dezembro de 2015 foram realizadas coletas de solo nas quatro propriedades selecionadas, sendo que os pontos coletados foram: PA1.1, PA1.2, PA2, PA4, N1, A1.1, A1.2, A2, A3 e A4. As amostras foram coletadas, em triplicata, nas profundidades: 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, secas a 45°C, moídas, passadas em peneira com malha de 2 mm, obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA). Na TFSA realizou-se extração do P com solução Mehlich-1, conforme descrito por Tedesco et al. (1995), e no extrato obtido foram determinados os teores de P disponível por colorimetria, conforme Murphy et al. (1962). Também se realizou análise granulométrica das amostras de solo, conforme metodologia descrito pela EMBRAPA (2011), sendo os dados apresentados na tabela 3.

Tabela 2: Classificação do IET adaptado de Lamparelli (2004).

Classificação do Estado Trófico - Pt (mg dm^{-3})			
Categoria (Estado Trófico)	Rios	Reservatórios	IET
Ultraoligotrófico	$P \leq 0,013$	$P \leq 0,008$	≤ 47
Oligotrófico	$0,013 < P \leq 0,035$	$0,008 < P \leq 0,019$	$47 < IET \leq 52$
Mesotrófico	$0,035 < P \leq 0,137$	$0,019 < P \leq 0,052$	$52 < IET \leq 59$
Eutrófico	$0,137 < P \leq 0,296$	$0,052 < P \leq 0,120$	$59 < IET \leq 63$
Supereutrófico	$0,296 < P \leq 0,640$	$0,120 < P \leq 0,233$	$63 < IET \leq 67$
Hipereutrófico	$0,640 < P$	$0,233 < P$	> 67

Tabela 3: Teores de argila dos pontos de coleta do solo na bacia hidrográfica do Rio Coruja/Bonito.

Prof. (cm)	Ponto									
	PA1.1	PA1.2	PA2	PA4	N1	A1.1	A1.2	A2	A3	A4
	Argila (%)									
0-5	13,6	23,6	25,8	24,0	16,1	18,2	19,7	20,1	21,7	28,2
5-10	20,6	38,9	36,1	23,0	23,8	8,9	10,7	30,5	31,4	47,5
10-20	22,2	42,8	42,5	28,7	17,5	21,1	23,0	44,3	28,8	40,4
20-40	26,3	32,0	51,6	33,0	27,8	24,2	36,9	36,9	24,0	42,3

Para avaliar o potencial contaminante do solo nos pontos de coleta, foi calculado o Limite Crítico Ambiental de P (LCA-P), conforme descrito por Gatiboni et al. (2014), utilizando a equação 3.

$$LCA - P (mg dm^{-3}) = 40 + \%Argila \quad \text{Equação 3}$$

Para os teores de P_d , P_p e P_t na água, foram apresentadas as médias com desvio padrão e avaliado o estado de contaminação a partir da comparação com os teores limítrofes estabelecidos pela Resolução CONAMA nº357/2005, que são de até 0,10 mg L⁻¹ de P_t para ambientes lóticos, até 0,03 mg L⁻¹ de P_t para ambientes lênticos e até 0,05 mg L⁻¹ de P_t para ambientes intermediários. Os teores de P disponível no solo foram submetidos a análise de variância e, quando observada diferença significativa, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey com 5% de probabilidade de erro, utilizando-se o programa Sisvar versão 5.3 (FERREIRA, 2011). Para avaliar a relação dos teores de P disponível no solo com os teores de P na água, efetuou-se Correlação de Pearson a 5% de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Teores de P na água

Para os teores de P_t na água dos poços de abastecimento humano os valores obtidos variaram de 0,07 mg L⁻¹ a 1,45 mg L⁻¹ (Figura 2), estando acima do valor de referência estabelecido em 0,03 mg L⁻¹, conforme Resolução CONAMA nº357 (CONAMA, 2005). Os teores de P_t observados apresentaram-se, em média, 11 vezes acima do limite estabelecido em legislação, e esta presença de P em poços de abastecimento pode estar associado a compostos deste com outros elementos como, por exemplo, com o Ca que forma o $CaPO_4^-$, ou fazendo parte de compostos orgânicos solúveis presentes no corpo hídrico. Esse quadro de presença de P contamina a água de abastecimento, que ocasiona a degradação da qualidade, podendo originar problemas locais ou regionais, visto que a degradação das fontes hídricas de abastecimento vem se acentuando nas últimas décadas (MIGUEL et al., 2014).

Para os corpos lóticos, ocorreu variação de 0,09 mg L⁻¹ a 1,70 mg L⁻¹ (Figura 3), para as nascentes, e de 0,01 mg L⁻¹ a 1,63 mg L⁻¹ (Figura 4), para os açudes, e de 0,15 mg L⁻¹ a 1,48 mg L⁻¹, para os pontos do rio (Figura 5), com predomínio de P_p na maioria dos pontos das nascentes (N) e açudes (A), e P_d nos pontos do rio (R). Para os corpos lóticos, o limite estabelecido pela Resolução nº 357/2005 (CONAMA, 2005) é de 0,10 mg L⁻¹ de P_t , indicando que a maioria dos pontos avaliados apresenta contaminação por P.

Ao avaliarem a variação sazonal e espacial de variáveis físicas, químicas e biológicas de uma microbacia urbana no município de Lavras/MG, associado a aplicação do Índice de Qualidade Ambiental e o Índice de Estado Trófico, Fia et al. (2015) observaram que o P apresentou-se, preferencialmente, na forma particulada, associado às partículas transferidas, especialmente, por escoamento superficial em eventos pluviométricos, contribuindo para a quantidade de material particulado nos corpos hídricos, sendo a principal forma de contaminação dos mananciais. Avaliando a transferência de diferentes formas de P por escoamento superficial em Argissolo com aplicação de diferentes doses de DLS, Lourenzi et al. (2015) observaram maiores transferências de P na forma solúvel, em relação a particulada. Além disso, esses

autores observaram correlação significativa entre as quantidades de P aplicadas via DLS com as formas de P transferidas por escoamento superficial. Dessa forma, áreas que recebem aplicações sucessivas de DLS apresentam maior potencial de transferência de P para mananciais hídricos por escoamento superficial, sendo necessárias medidas mitigatórias para reduzir o escoamento superficial nessas áreas, como a adoção de sistemas conservacionistas de manejo do solo.

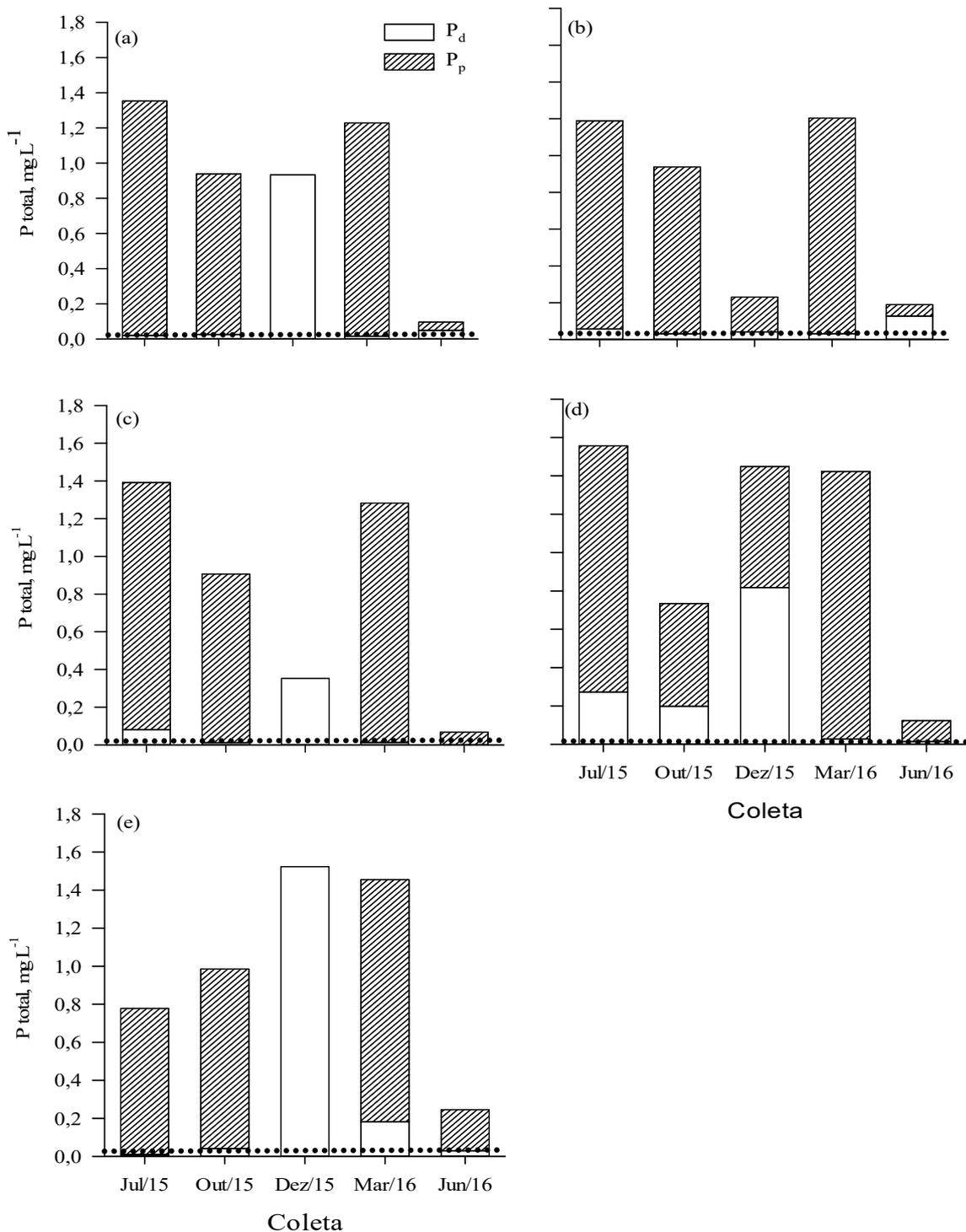


Figura 2: Teores de P total na água dos pontos PA1.1 (a), PA1.2 (b), PA2 (c), PA3 (d) e PA4 (e) na bacia hidrográfica Rio Coruja/Bonito. Linha pontilhada representa os limites estabelecidos pela Resolução nº 357/2005 (CONAMA, 2005). P_d: P dissolvido; P_p: P particulado.

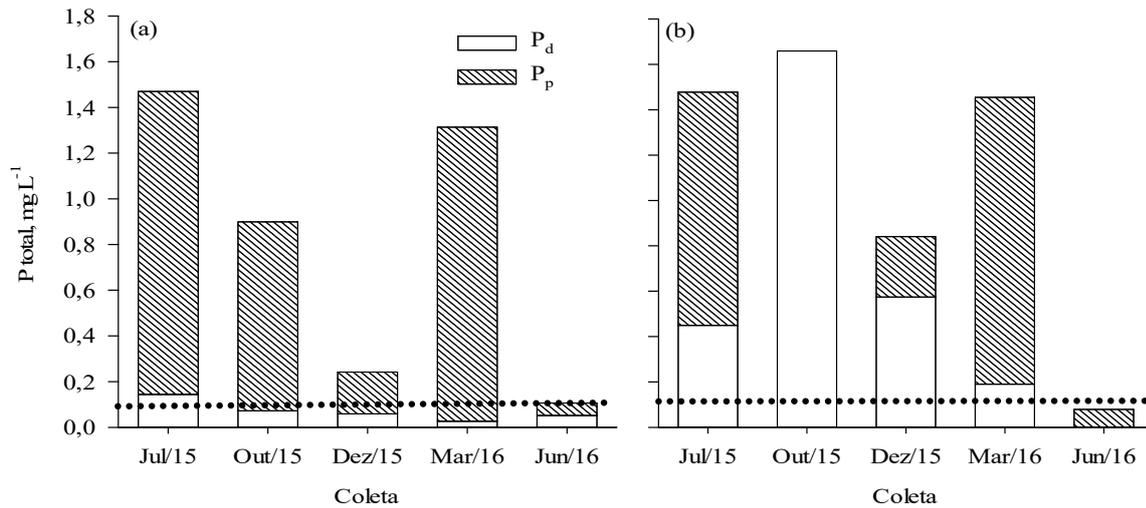


Figura 3: Teores de P total na água dos pontos N1 (a) e N2 (b) na bacia hidrográfica Rio Coruja/Bonito. Linha pontilhada representa os limites estabelecidos pela Resolução nº 357/2005 (CONAMA, 2005). P_d: P dissolvido; P_p: P particulado.

Para os pontos do Rio Coruja (Figura 5), os teores de P obtidos apresentaram variações entre as formas particulada e dissolvida, podendo indicar pouco carreamento de partículas em suspensão no leito do rio no período entre eventos pluviométricos. Em especial, observa-se que o ponto R1 apresentou os maiores valores de P_t, sendo que o mesmo se encontra mais a montante no Rio Coruja, podendo estar associado a pequena vazão que o mesmo apresenta neste ponto e que no decorrer de seu curso e a associação com afluentes dissolve a carga de P recebida. Outro fator observado é que o ponto R3, o qual se encontra mais a jusante, a vegetação ciliar é composta por espécies arbóreas, enquanto que no ponto R1 as gramíneas e arbustivas compõe a vegetação ciliar, corroborando com Cunha et al. (2010) que salientam que a presença de vegetação ciliar nas margens dos corpos hídricos é de fundamental importância para a preservação da qualidade da água. Em adição, a presença desta vegetação, além de constituir-se como uma barreira física a chegada de material particulado, diminui os teores de P na solução escoada devido a absorção de P pelo sistema radicular das plantas constituintes da vegetação ciliar.

Para os corpos lóticos estudados, houve variação nas formas de P encontradas, o que pode ser devido ao momento da coleta, ao manejo do solo nas áreas circunvizinhas, entre outros fatores. Mas é importante destacar que, para a maioria das coletas, há predomínio de P_p. Nesse sentido, regiões estuarinas sofrem processos de eutrofização, mesmo levando-se em consideração a constante movimentação e o fluxo de água, que carrega consigo sedimentos ricos em P (FIA et al., 2015). Para a coleta de Jun/16 ocorreu redução dos teores de P total, que estão relacionados a redução das precipitações (Figura 1), que diminui o volume de água escoada ao corpo hídrico e, conseqüentemente, a transferência de sedimentos com P adsorvido.

Observou-se para os pontos de estudo que os teores de P dissolvido na água possuem correlação significativa com os teores de P extraído por Mehlich-1 do solo (Tabela 4), corroborando com Miguel et al. (2014) que, estudando bacias hidrográficas rurais, verificaram que o aporte de P encontrado nos mananciais hídricos vem de processos antrópicos do solo, principalmente, em decorrência do manejo. Em adição, em estudo avaliando a transferência de diferentes formas de P por escoamento superficial em Argissolo

submetido a aplicações de diferentes fontes de nutrientes, Lourenzi et al. (2021) verificaram estreita relação entre os teores de P no solo extraídos por Mehlich-1 com os teores de P transferidos nas diferentes formas avaliadas (P solúvel, P particulado e P total).

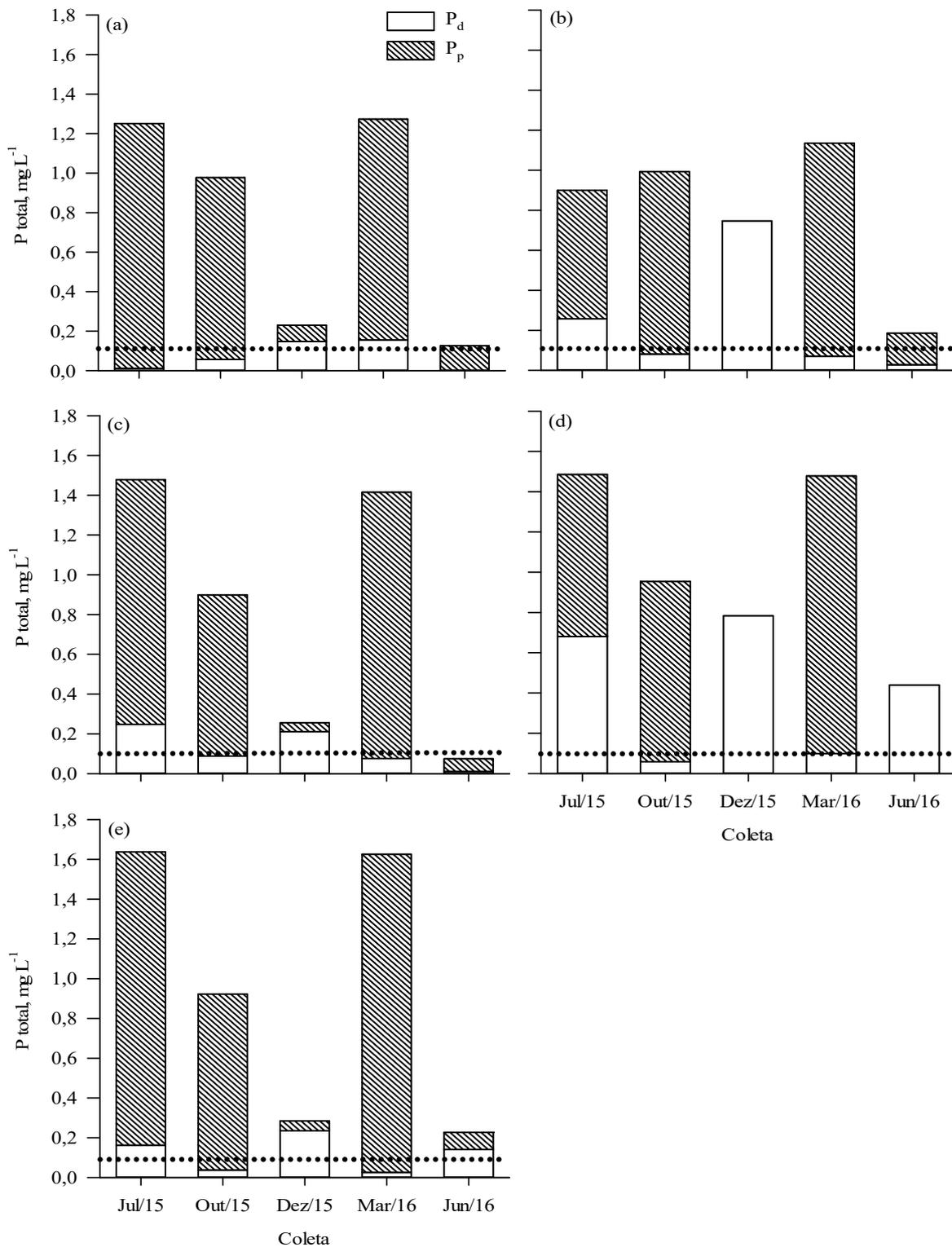


Figura 4: Teores de P total na água dos pontos A1.1 (a), A1.2 (b), A2 (c), A3 (d) e A4 (e) na bacia hidrográfica Rio Coruja/Bonito. Linha pontilhada representa os limites estabelecidos pela Resolução nº 357/2005 (CONAMA, 2005). P_d: P dissolvido; P_p: P particulado.

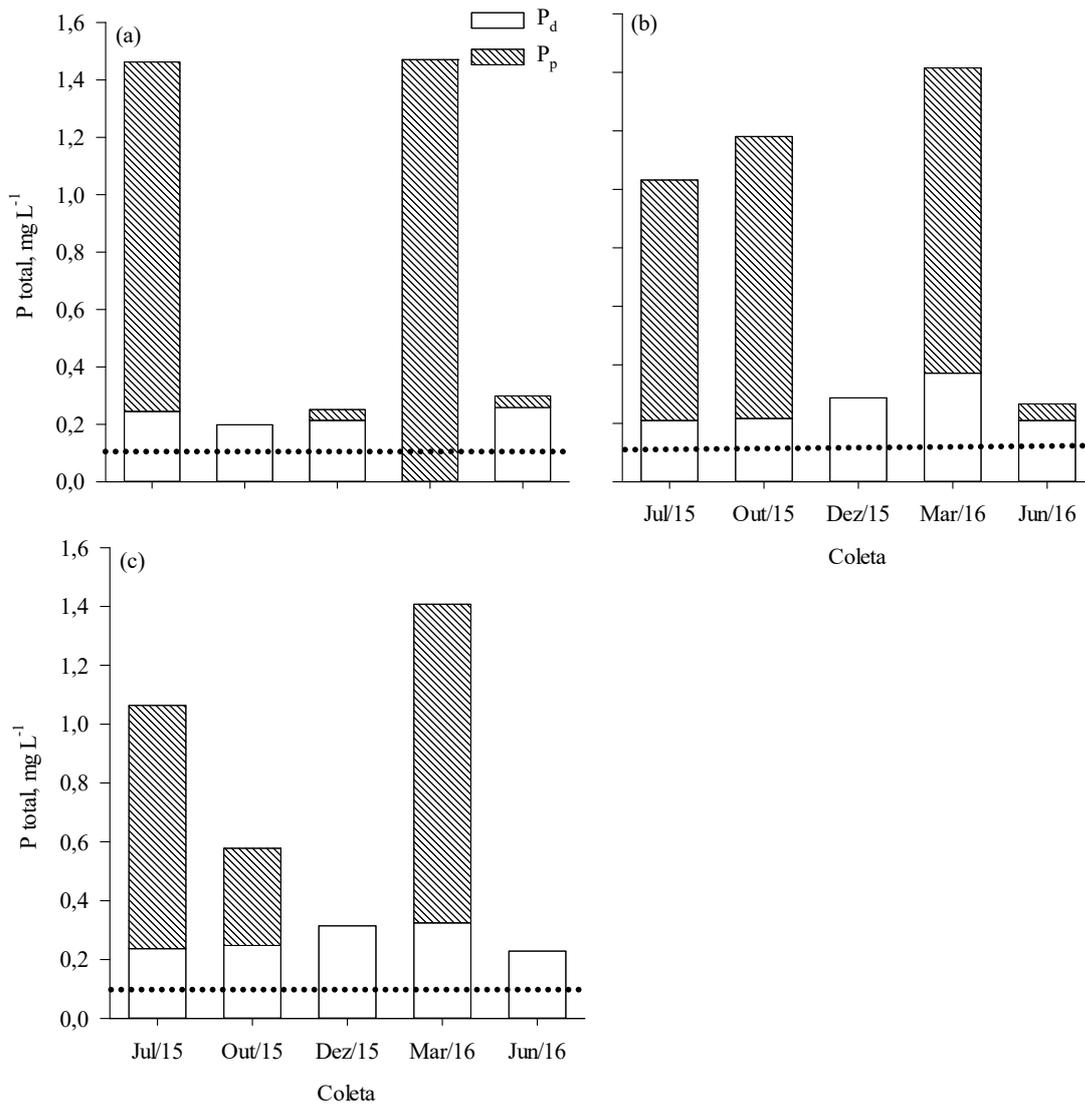


Figura 5: Teores de P total na água os pontos R1 (a), R2 (b) e R3 (c) na bacia hidrográfica Rio Coruja/Bonito. Linha pontilhada representa os limites estabelecidos pela Resolução nº 357/2005 (CONAMA, 2005). P_d: P dissolvido; P_p: P particulado.

Tabela 4: Correlação de Pearson entre os teores de P dissolvido na água e P extraído por Mehlich-1 do solo.

Parâmetro	P dissolvido na água	
	Valor p	R ²
P extraído por Mehlich-1 do solo	< 0,0001	0,98

Além dos teores de P_t, o Índice de Estado Trófico (IET) é indicador de processos de eutrofização e do estágio eutrófico que o corpo hídrico se encontra. Nesse sentido, os pontos estudados da microbacia Rio Coruja/Bonito apresentaram predomínio de estado trófico Hipereutrófico, seguido de Supereutrófico e Eutrófico (Tabela 5), o que indica que o aporte de P na água tem acelerado a degradação da qualidade da mesma, diminuindo assim a capacidade de autodepuração desses mananciais hídricos.

A classificação do IET apresentou sazonalidade ao longo do período de avaliação, corroborando com Cúcio et al. (2015) que, avaliando o Reservatório Tanque Grande no município de Guarulhos/SP, observaram que durante o período de 2000 a 2012, o IET apresentou-se como mesotrófico na maior parte do estudo, e a partir do ano de 2009, estabilizou como oligotrófico. Esses resultados demonstram que o P_t é o principal

contaminante dos corpos hídricos, em decorrência da alta carga de P que os efluentes domésticos apresentam, associado a forma de coleta e tratamento dos mesmos em áreas urbanas e rurais.

Em adição, Andrietti et al. (2016), ao avaliarem o efeito do uso e ocupação do solo nos teores de P_t e no IQA e IET da água do Rio Caiabi, no estado do Mato Grosso, observaram que a maior ocupação das margens do rio, em especial, com áreas urbanas, elevou de maneira significativa os teores de P_t quando comparados aos pontos que não apresentavam essa ação antrópica. Os autores afirmam que essa elevação após área urbana decorre, principalmente, do despejo de efluentes domésticos.

Tabela 5: IET para os ambientes lóticos da bacia hidrográfica do Rio Coruja/Bonito.

Coleta	Ponto									
	N1	N2	A1.1	A1.2	A2	A3	A4	R1	R2	R3
	IET									
Jul/15	HE	HE	HE	HE	HE	HE	SE	HE	EU	EU
Out/15	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	EU	EU
Dez/15	HE	HE	HE	SE	SE	HE	HE	HE	EU	SE
Mar/16	HE	HE	HE	HE	HE	HE	HE	HE	EU	EU
Jun/16	EU	EU	SE	SE	SE	EU	SE	SE	EU	EU

N = nascente; A = açude; R = rio. HE = Hipereutrófico, SE = Supereutrófico, EU = Eutrófico.

Teores de P disponível no solo e Limite Crítico Ambiental de P.

Para os pontos de estudo da bacia hidrográfica do Rio Coruja/Bonito avaliados, observa-se que ocorre maior incremento de P no solo na camada de 0-5 cm (Tabela 6). Resultados semelhantes foram observados por Lourenzi et al. (2013), em estudo desenvolvido em um Argissolo com aplicações sucessivas das doses de 20, 40 e 80 $m^3 ha^{-1}$ de DLS durante oito anos. Esses autores observaram incremento nos teores de P disponível até 30 cm de profundidade, no entanto, os maiores incrementos ocorreram na camada de 0-2 cm, com incremento de 762, 1466 e 3883 %, respectivamente, para as doses de 20, 40 e 80 $m^3 ha^{-1}$ de DLS, quando comparado ao tratamento sem aplicação de DLS.

O acúmulo excessivo de P nas camadas superficiais do solo pode ocasionar a contaminação de mananciais hídricos de duas maneiras: (i) através dos processos de percolação de P nas camadas abaixo da superfície, devido a saturação dos sítios de adsorção de P nas camadas superficiais do solo; (ii) através dos processos erosivos mais acentuados, devido as maiores perdas de solo ocorrerem nestas camadas que apresentam maiores quantidades de P e o mesmo ser transferido na forma particulada para mananciais hídricos via escoamento superficial (GATIBONI et al., 2015).

Em trabalho desenvolvido por Lourenzi et al. (2015), os quais avaliaram o acúmulo de P no solo e as transferências do mesmo por escoamento superficial em Argissolo com sucessivas aplicações de DLS em sistema de plantio direto e rotação de culturas, os autores observaram que os maiores acúmulos de P ocorreram nas camadas superficiais do solo e que a quantidade de material que recobre o solo torna-se um fator importante para as perdas de P associado às perdas de solo, sendo que as maiores transferências de P foram observadas na forma solúvel, em comparação a particulada. Dessa maneira é necessário, além do manejo dos dejetos conforme as necessidades das culturas e capacidade do solo, a manutenção de cobertura vegetal para diminuir as perdas de solo, favorecer a absorção de P pelas raízes das plantas e,

consequentemente, reduzir o risco de contaminação do ambiente.

Tabela 6: Teores de P extraído por Mehlich-1 e Limite Crítico Ambiental de Fósforo (LCA-P) para os solos dos pontos de estudo da bacia hidrográfica do Rio Coruja/Bonito.

Prof. (cm)	Ponto								
	PA1	PA2	PA4	N1	A1.1	A1.2	A2	A3	A4
P extraído por Mehlich-1 (mg L ⁻¹)									
0-5	8,10 a ¹	33,89 a	48,02 ab	2,51 b	33,03 a	4,50 b	33,01 a	5,26 a	30,77 a
5-10	3,80 b	9,44 b	24,67 b	4,04 a	22,43 ab	5,39 b	28,01 a	3,83 a	37,53 a
10-20	4,48 b	4,23 b	71,18 a	2,59 b	16,62 b	8,24 a	7,66 b	6,58 a	17,07 a
20-40	2,64 b	5,03 b	43,04 ab	3,59 ab	28,82 a	4,26 b	2,73 b	2,83 a	5,05 a
CV (%)	28,79	28,55	23,82	15,52	17,89	19,24	16,19	38,49	85,58
LCA-P (mg dm ⁻³)									
0-5	63,6	65,8	64,0	56,1	58,2	59,7	60,1	61,7	68,2
5-10	78,9	76,1	63,0	63,8	48,9	50,9	73,5	71,4	87,5
10-20	82,8	82,5	68,7	57,5	61,1	63,0	84,3	68,8	80,4
20-40	72,0	91,6	73,0	67,8	64,2	76,9	76,9	64,0	82,3

¹Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Ao avaliarem as quantidades de P solúvel e nitrato nas águas de canais de drenagem de uma bacia hidrográfica rural com predomínio da atividade suinícola e pecuária intensiva no Sul do Brasil, Capoane et al. (2015) observaram que áreas que apresentaram maior proteção de vegetação ciliar apresentaram menores teores de P solúvel e nitrato na água. Isso indica a necessidade da cobertura vegetal do solo para evitar as perdas de solo e também atuar como barreira física para o aporte de água escoada e solo. Além disso, esses autores salientam que os teores observados na bacia em estudo indicam alterações nos ciclos biogeoquímicos locais, acelerando a degradação da água e do solo, necessitando de formas de gestão nas unidades produtoras que vise reduzir o impacto das mesmas no ambiente.

Em relação ao LCA-P para os pontos de estudo, calculado conforme proposto por Gatiboni et al. (2014), os resultados indicam que o solo pode comportar maiores aportes de P via DLS, pois o teor de P disponível na camada de 0-10 cm apresentar-se menor que o LCA-P (Tabela 6). No entanto, é preciso ter cautela quanto a essa interpretação, pois a concentração de P_t na maioria dos pontos avaliados apresenta-se acima daquelas consideradas adequadas pela legislação, sendo, portanto, necessários maiores estudos em relação a dinâmica do P no solo e suas relações com as transferências aos mananciais hídricos.

CONCLUSÕES

Os teores de P total na água apresentaram-se acima do limite estabelecido pela legislação vigente, com potencial para causar a eutrofização e reduzir a qualidade da água em todos os pontos avaliados. Associado a isso, a aplicação de dejetos suínos no solo em áreas agricultáveis contribui com aporte de material particulado, bem como o solo como fonte de P aos corpos hídricos. Dessa forma, em áreas que recebem aplicações de dejetos de suínos, recomenda-se o uso de medidas mitigatórias que reduzam as transferências de água e sedimentos para os mananciais hídricos, como a adoção de sistemas conservacionistas de manejo do solo, reduzindo, também, o transporte de P e outros elementos potencialmente contaminantes.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, C. P. O.; PELEJA, J. R. P.; SOUSA, K. N. S.; GOCH, Y. G. F.; GUIMARÃES, A. S.. Nível de trofia em microbacias hidrográficas sob diferentes usos de solos, na região amazônica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.20, n.4, p.1093-1102, 2015.
- ANDRIETTI, G.; FREIRE, R.; AMARAL, A. G.; ALMEIDA, F. T.; BONGIOVANI, M. C.; SCHNEIDER, R. M.. Índices de qualidade a água e de estado trófico do rio Caiabi, MT. **Ambiente e Água**, v.11, n.1, p.162-175, 2016. DOI: <http://doi.org/10.4136/ambi-agua.1769>
- BUCCI, M. M. H. S.; DELGADO, F. E. F.; SANTOS, C. S.; OLIVEIRA, L. F.. Análise de metais, agrotóxicos, parâmetros físico-químicos e microbiológicos nas águas da Represa Dr. João Penido, Juiz de Fora, MG. **Revista Ambiente e Água**, v.10, n.4, p.804-824, 2015. DOI: <http://doi.org/10.4136/ambi-agua.1534>
- CAPOANE, V.; TIECHER, T.; SCHAEFER, G. L.; CIOTTI, L. H.; SANTOS, D. R.. Transferência de nitrogênio e fósforo para águas superficiais em uma bacia hidrográfica com agricultura e pecuária intensiva no Sul do Brasil. **Ciência Rural**, v.45, n.04, p.647-650, 2015. DOI: <http://doi.org/10.1590/0103-8478cr20140738>
- CERETTA, C. A.; LORENSINI, F.; BRUNETTO, G.; GIROTTO, E.; GATIBONI, L. C.; LOURENZI, C. R.; TIECHER, T. L.; CONTI, L.; TRENTIN, G.; MIOTTO, A.. Frações de fósforo após sucessivas aplicações de dejetos suínos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n.6, p.593-602, 2010. DOI: <http://doi.org/10.1590/S0100-204X2010000600009>
- CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução n. 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. Brasília: CONAMA, 2005.
- CUCIO, M. S.; PORTO, M. F. A.. Carga máxima admissível de fósforo e estado trófico do Reservatório Tanque Grande, Guarulhos - SP. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.20, n.3, p.677-688, 2015.
- CUNHA, D. G. F.; CALIJURI, M. C.. Análise probabilística de ocorrência de incompatibilidade de qualidade da água com o enquadramento legal de sistemas aquáticos - estudo de caso do rio Pariquera-Açu (SP). **Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.15, n.4, p.337-346, 2010. DOI: <http://doi.org/10.1590/S1413-41522010000400006>
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo, nº 132**. 2 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2011.
- FERREIRA, D. F.. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011. DOI: <http://doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>
- FIA, R.; MATOS, A. T.; CORADI, P. C.; RAMIREZ, O. P.. Estado trófico na água na bacia hidrográfica da Lagoa Mirim, RS, Brasil. **Ambiente e Água**, v.4, n.1, p.132-141, 2009.
- FIA, R.; TADEU, H. C.; MENEZES, J. P. C.; FIA, F. R. L.; OLIVEIRA, L. F. C.. Qualidade da água de um ecossistema lótico urbano. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.20, n.1, p.267-275, 2015.
- GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G.; KAMINSKI, J.; RHEUNHEIMER, D. S.; CERETTA, C. A.; BASSO, C. J.. Formas de Fósforo no solo após sucessivas adições de dejetos líquidos de suínos em pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.4, p.1753-1761, 2008. DOI: <http://doi.org/10.1590/S0100-06832008000400040>
- GATIBONI, L. C.; SMYTH, T. J.; SCHMITT, D. E.; CASSOL, P. C.; OLIVEIRA, C. M. B.. **Proposta de limites críticos ambientais de fósforo para solos de Santa Catarina**. Boletim Técnico CAV-UDESC, 2014.
- GATIBONI, L. C.; SMYTH, T. J.; SCHMITT, D. E.; CASSOL, P. C.; OLIVEIRA, C. M. B.. Soil Phosphorus thresholds in evaluating risk of environmental transfer to surface waters in Santa Catarina, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, n.4, p.1225-1234, 2015. DOI: <http://doi.org/10.1590/01000683rbcs20140461>
- GEBLER, L.; BERTOL, I.; RAMOS, R. R.; LOUZADA, J. A. S.; MIQUELLUTI, D. J.. Fósforo reativo: arraste superficial sob chuvas simuladas para diferentes coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.1, p.99-107, 2012. DOI: <http://doi.org/10.1590/S1415-43662012000100013>
- LAMPARELLI, M. C.. **Graus de trofia em corpos d'água do Estado de São Paulo**: avaliação de métodos de monitoramento. Tese (Doutorado em Ciências: Ecossistemas Terrestres e Aquáticos) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
- LOURENZI, C. R.; CERETTA, C. A.; CIANCIO, N. H. R.; TIECHER, T. L.; SILVA, L. O. S.; CONTI, L.; GIROTTO, E.; FERREIRA, P. A. A.; VIDAL, R. F.; SCOPEL, G.; MARCHEZAN, C.; BRUNETTO, G.. Forms of nitrogen and phosphorus transfer by runoff in soil under no-tillage with successive organic waste and mineral fertilizers applications. **Agricultural Water Management**, v.248, p.106779, 2021. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106779>
- LOURENZI, C. R.; CERETTA, C. A.; SILVA, L. S.; GIROTTO, E.; LORENSINI, F.; TIECHER, T. L.; CONTI, L.; TRENTIN, G.; BRUNETTO, G.. Nutrients in layers of soil under no-tillage treated with successive applications of pig slurry. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, n.1, p.157-167, 2013. DOI: <http://doi.org/10.1590/S0100-06832013000100016>
- LOURENZI, C. R.; CERETTA, C. A.; TIECHER, T. L.; LORENSINI, F.; CANCIAN, A.; STEFANELLO, L.; GIROTTO, E.; VIEIRA, R. C. B.; FERREIRA, P. A. A.; BRUNETTO, G.. Forms of phosphorus transfer in runoff under no-tillage in a soil treated successive swine effluents applications. **Environmental Monitoring and Assessment**, v.187, p.209, 2015. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.agee.2010.10.016>
- LOURENZI, C. R.; SCHERER, E. E.; CERETTA, C. A.; TIECHER, T. L.; CANCIAN, A.; FERREIRA, P. A. A.; BRUNETTO, G.. Atributos químicos de Latossolo após sucessivas aplicações de composto orgânico de dejetos líquidos de suíno. **Pesquisa**

Agropecuária Brasileira, v.51, p.233-242, 2016. DOI:

<http://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000300005>

MIGUEL, P.; DALMOLIN, R. S. D.; PEDRON, F. A.; BUENO, J. M. M.; TIECHER, T.. Identificação de fontes de produção de sedimentos em uma bacia hidrográfica de encosta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, n.2, p.585-598, 2014.

DOI: <http://doi.org/10.1590/S0100-06832014000200023>

MURPHY, J.; RILEY, J. P.. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters.

Analytica Chimica Acta, v.27, p.31-36,1962.

SILVA, F. C.. **Digestão nitroperclórica**: manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília: EMBRAPA, 1999.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J.. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Boletim Técnico nº 5. 2 ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995.

Os autores detêm os direitos autorais de sua obra publicada. A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detêm os direitos materiais dos trabalhos publicados (obras, artigos etc.). Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas ou digitais sob coordenação da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.

Todas as obras (artigos) publicadas serão tokenizadas, ou seja, terão um NFT equivalente armazenado e comercializado livremente na rede OpenSea (https://opensea.io/HUB_CBPC), onde a CBPC irá operacionalizar a transferência dos direitos materiais das publicações para os próprios autores ou quaisquer interessados em adquiri-los e fazer o uso que lhe for de interesse.



Os direitos comerciais deste artigo podem ser adquiridos pelos autores ou quaisquer interessados através da aquisição, para posterior comercialização ou guarda, do NFT (Non-Fungible Token) equivalente através do seguinte link na OpenSea (Ethereum).

The commercial rights of this article can be acquired by the authors or any interested parties through the acquisition, for later commercialization or storage, of the equivalent NFT (Non-Fungible Token) through the following link on OpenSea (Ethereum).



<https://opensea.io/assets/ethereum/0x495f947276749ce646f68ac8c248420045cb7b5e/44951876800440915849902480545070078646674086961356520679561157873672545894401/>