

CARACTERIZAÇÃO DAS FRAÇÕES DE FÓSFORO NO SEDIMENTO SUPERFICIAL DOS RIOS ARACAÍ, CARAMBEÍ E GUAÇU NA CIDADE DE SÃO ROQUE/SP.

Sâmia Rafaela Maracaípe Lima¹; Mainara G Faustino²; Eddy Bruno dos Santos³; Tatiane B. S. C. da Silva⁴; Maria Aparecida F. Pires⁵; Marycel E. B. Cotrim⁶.

Resumo - Neste trabalho foi realizado o fracionamento do fósforo nos sedimentos dos rios Aracaí, Carambeí e Guaçu da cidade de São Roque/SP. O método analítico utilizado foi o Protocolo desenvolvido pelo Standards, Measurements and Testing (SMT), que fracionou o fósforo nos sedimentos em total (PT), inorgânico (PI), orgânico (PO), não apatítico (PINA) e apatítico (PIA). Teve por objetivo avaliar a distribuição e fracionamento do fósforo nos sedimentos dos principais rios da região, a fim de verificar a contribuição do fósforo no processo de eutrofização, além dos demais impactos antrópicos que possam implicar na qualidade das águas dos rios do Município. Para tanto, foram avaliados 5 pontos amostrais, determinadas concentração de PT, PO, PI, PIA e PINA, juntamente com os parâmetros físico-químicos (granulometria, pH, e matéria orgânica). As maiores concentrações ocorreram nos sedimentos do ponto G4 com 456,9 mg.kg⁻¹ para PT. Os teores de PI foram maiores que os de PO na maioria dos pontos. Os teores de sedimentos finos e de matéria orgânica foram os principais parâmetros ambientais correlacionados com as frações de fósforo. De acordo com a resolução CONAMA 344/04, as concentrações de fósforo encontradas estão abaixo do nível estabelecido.

Abstract – In this work the phosphorus fractionation was carried out in the sediments of the Aracaí, Carambeí and Guaçu Rivers in the city of São Roque / SP. The analytical method used was the protocol developed by Standards, Measurements and Testing (SMT), which fractionated phosphorus in the total (PT), inorganic (PI), organic (PO), non-apatite (PINA) and apatite (PIA). The objective of this study was to evaluate the distribution and fractionation of phosphorus in the sediments of the main rivers of the region, in order to verify the contribution of phosphorus in the eutrophication process, besides the other anthropic impacts that may imply the quality of the waters of the rivers of the Municipality. In order to do so, 5 sample points were evaluated, with a concentration of PT, PO, PI, PIA and PINA, together with physical-chemical parameters (grain size, pH, and organic matter). The highest concentrations occurred in the sediments of point G4 with 456.9 mg.kg⁻¹ for PT. The levels of PI were higher than those of PO at most points. The levels of fine sediments and organic matter were the main environmental parameters correlated with the phosphorus fractions. According to CONAMA Resolution nº 344/04, the phosphorus concentrations found are below the established level.

Palavras-Chave – Fósforo; Sedimento; Protocolo SMT.

¹ Eng. Sanit., Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN-CNEN/SP, (11) 3033-3195, samiamaracaípe@usp.br

² Química Industrial, Mestre em Ciências – Tecnologia Nuclear, IPEN-CNEN/SP, mainarag@usp.br

³ Licenciado em Ciências Biológicas, IPEN-CNEN/SP, SP, ebsantos@usp.br

⁴ Eng. Amb., IPEN-CNEN/SP, SP, tatianebscs@live.com

⁵ Pesquisadora e Orientadora, IPEN-CNEN/SP, SP, mecotrim@ipen.br

⁶ Pesquisadora e Orientadora, IPEN-CNEN/SP, SP, mapires@ipen.br

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural, que se renova através dos processos físicos do ciclo hidrológico. Como um bem de múltiplos usos, a água tem diversos fins como abastecimento público, dessedentação de animais, geração de energia elétrica, suprimento industrial, dentre outros. Além de servir para o transporte e diluição de esgotos domésticos, efluentes industriais e resíduos das atividades rurais e urbanas. No entanto, devido ao acelerado crescimento urbano-industrial e o aumento populacional, o processo de degradação da qualidade da água tem se intensificado, agravado ao crescimento desordenado e a falta de saneamento, que prejudicam o uso dos recursos hídricos, diminuindo consideravelmente sua disponibilidade e produzido inúmeros problemas como a eutrofização.

Eutrofização é o fenômeno pelo qual um ecossistema se torna cada vez mais produtivo através do enriquecimento por nutrientes, principalmente fósforo e nitrogênio. Como consequência, os produtores primários são estimulados, gerando-se o crescimento excessivo de macrófitas e algas planctônicas (SMITH; JOYE; HOWARTH, 2006; WANG; WANG, 2009).

O fósforo é um nutriente essencial para todas as formas de vida na terra, porém atua como um fator limitante na produção primária dos ecossistemas aquáticos, podendo conduzir a eutrofização, que gera modificações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do meio, com perdas da sua produtividade e biodiversidade (PROTAZIO et al., 2004). Nos solos e sedimentos, geralmente o fósforo está na forma de fosfato (PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^-) ligado a um cátion em compostos inorgânicos insolúveis como, fosfato de cálcio simples $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, fosfato de alumínio AlPO_4 , fosfato férrico FePO_4 , e o fosfato misto, $\text{CaF}_2 \cdot 3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, denominado apatita, ou como componente de moléculas orgânicas (MENDES FILHO, 2009).

De acordo com Paula Filho (2004), o fósforo encontra-se na fração inorgânica ligado aos óxidos e hidróxidos de alumínio, ferro e manganês; associado ao cálcio e ao material orgânico. O somatório destas fases gera o fósforo total. Estas frações podem ser liberadas dos sedimentos para a coluna de água. Sendo assim a partição geoquímica do fósforo total em inorgânica e orgânica, bem como a percentagem destas frações, oferece um perfil mais completo da dinâmica do elemento no ecossistema (NUNES, 2013).

No Brasil a Resolução CONAMA 357/2005 estabelece que o nível crítico de P total na água é de 0,020 – 0,025; 0,030 – 0,050 e 0,050 – 0,075 mg L^{-1} nas Classes 1, 2 e 3 respectivamente. Para USEPA (1971) o nível crítico de P total não pode exceder 0,025 mg L^{-1} . Em outros países e na maioria do meio científico utiliza-se o valor crítico de 0,020 mg L^{-1} (CORRELL, 1998; HECKRATH et al. 1995; HAYGARTH & SHARPLEY, 2000).

Nesse contexto, a cidade de São Roque situada a aproximadamente 60 km da capital São Paulo, possui rios, nascentes e represas de grande importância para toda região. Entretanto, devido ao relevo, os solos são susceptíveis à erosão favorecendo os processos de assoreamento nos rios, além dos danos causados pelo processo de ocupação humana irregular. Além disso, os principais rios da região são também os principais receptores de águas pluviais e de efluentes que não apresentam nenhum tratamento prévio até serem lançados em seus cursos d'água (MORAIS et al., 2015).

Portanto, o objetivo desse trabalho é avaliar a distribuição e fracionamento do fósforo nos sedimentos dos rios Aracaí, Carambei e Guaçu, a fim de verificar a contribuição do fósforo no processo de eutrofização, além dos demais impactos antrópicos que possam implicar na qualidade das águas dos rios do Município de São Roque/ SP, situando a qualidade da bacia hidrográfica e a pré-instalação de um sistema de coleta e tratamento de esgoto.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A cidade de São Roque expandiu-se em uma região de serras, morros e morrotes. As porções central e norte da cidade de São Roque estão inseridas em bacias de cursos d'água tributárias do rio Tietê; a região sul está inclusa na bacia do rio Sorocamirim. Uma porção

relativamente pequena do município, junto aos limites com Vargem Grande Paulista, pertence à bacia do ribeirão São João. Tem sede na UGRHI-10 (Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos) – Sorocaba/Médio Tietê, estabelecida pela Lei nº 7.663/91. A UGRHI-10 – que abrange trinta e quatro municípios, dos quais dezesseis, como é o caso de São Roque, estão inseridos na Bacia do Médio Tietê Superior (SÃO ROQUE, 2005).

De acordo com Santos, (2014) a rede hidrográfica de São Roque, que contempla os rios Carambeí e Aracaí, além do ribeirão Mombaça ou Guaçu, destacam-se por correrem na região central do município e por serem pontos de despejos da maioria dos efluentes produzidos pelo município. Segundo o autor, o rio Carambeí é formado por nascentes que se originam na região dos bairros Vinhedo, Canguera e Carmo, sendo utilizado nessa região para abastecimento agropecuário e como destino final de esgoto doméstico. Já as nascentes do rio Aracaí são formadas na região dos bairros Ponte Lavrada, Mailasque e Alto da Serra. Seu uso nessa região também é para fins de abastecimento agropecuário e como destino final de esgoto doméstico da mesma forma que o Carambeí pela população dos bairros onde corta. O rio Guaçu, recebe este nome a partir da confluência dos rios Carambeí e Aracaí no cruzamento das avenidas Antonino Dias Bastos e John Kennedy, na região central de São Roque (SANTOS, 2014). Sendo assim, os rios Aracaí, Carambeí e Guaçu (Figura 1), compõem os principais corpos d'água do município de São Roque e são também os principais receptores de águas pluviais e de efluentes que não apresentam nenhum tratamento prévio até serem lançados aos rios (MORAIS et al., 2015).

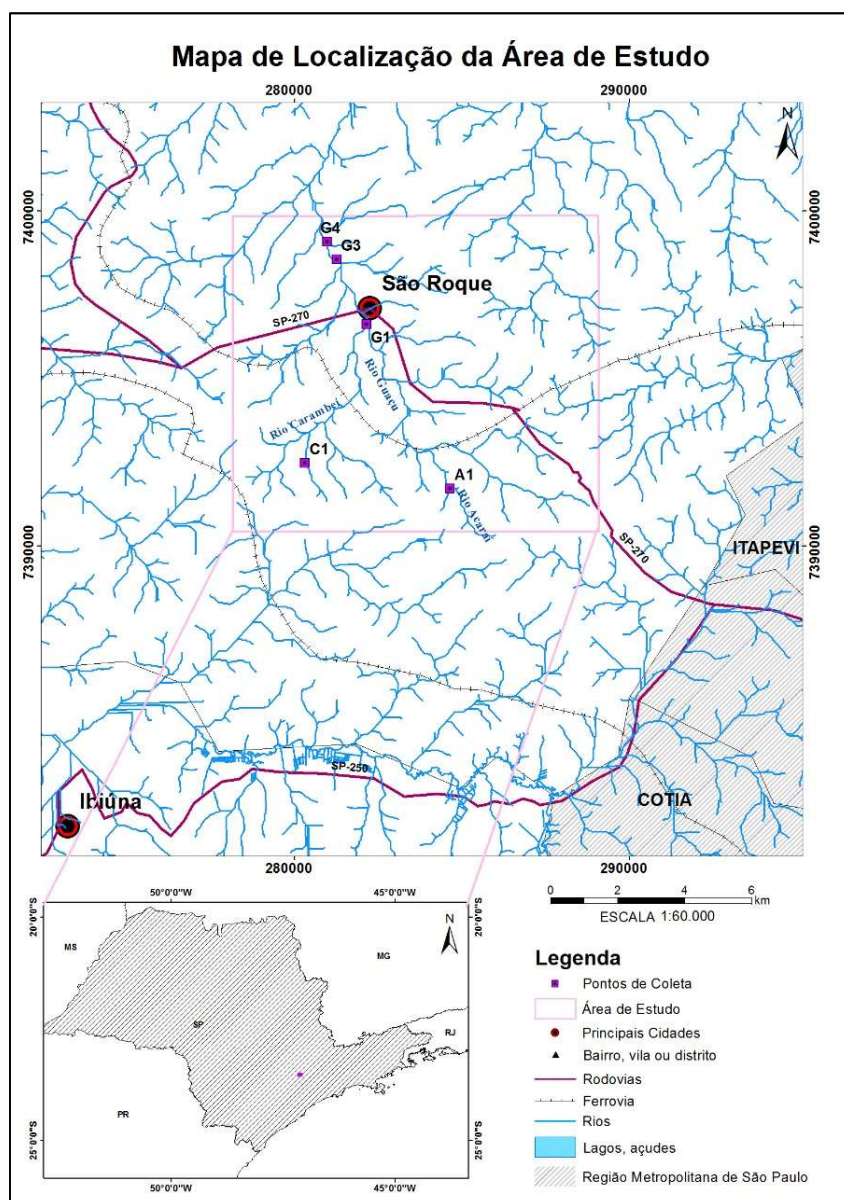


Figura 1. Mapa de Localização da área de estudo (Autora, 2018).

2.1 COLETA E PREPARO DAS AMOSTRAS

2.1.1 Coletas

As coletas foram realizadas em cinco pontos no Município de São Roque - SP que são dois pontos a montante dos rios Aracaí e Carambeí e três pontos do rio Guaçu sendo, um na região central do município e dois outros pontos antes e depois da área de construção da ETE São Roque respectivamente. Foram coletadas amostras de sedimentos superficiais para análise realizadas em março de 2017 (período de chuva). Os procedimentos de coleta e amostragem seguiram os procedimentos descritos no Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (CETESB; ANA, 2011). Foi utilizada a estrutura dos laboratórios do Centro de Química e Meio Ambiente do IPEN/CNEN-SP para conservação, armazenamento e análise das amostras. Na Tabela, apresenta-se a localização dos pontos amostrais bem como a breve descrição dos pontos de coleta.

Tabela 1 - Descrição dos pontos de coleta das amostras de água superficial e respectivas coordenadas geográficas.

Pontos Amostrais	Local de Coleta	Coordenadas geográficas	Características Locais
A ₁	Aracaí	23°34'14.52"S 47° 6'36.42"O	Ponto a montante do rio Aracaí
C ₁	Carambeí	23°33'47.28"S 47° 9'8.70"O	Ponto a montante do rio Carambeí
G ₁	Guaçu 1	23°31'33.71"S 47° 8'1.86"O	Congruência entre os rios Aracaí e Carambeí.
G ₃	Guaçu 3	23°30'30.13"S 47° 8'32.28"O	Ponto anterior a ETE
G ₄	Guaçu 4	23°30'13.20"S 47° 8'41.88"O	Ponto jusante da ETE em construção

2.1.2 Análises físico-químicas

O teor de umidade e o teor de matéria orgânica e foram determinados de acordo com Cotta (2003), a matéria orgânica pelo método de calcinação em mufla em 550 °C, por 4 horas e o teor de umidade a 60-65 °C e a 100-110°C em estufa; a granulometria foi determinada pela técnica de peneiramento, utilizou-se o conjunto NBR nos tamanhos 10,18, 35, 60, 120 e 230, conforme norma L6.160 (CETESB, 1995). Os valores de pH foram obtidos de acordo com o método EMBRAPA (2011), a partir da medição do sobrenadante das misturas sedimento/KCl (1N) e sedimento/H₂O na proporção 10 mL:25 mL (sedimento:solução) com o auxílio do peagômetro.

2.1.3 Determinação das Concentrações de Fósforo nos Sedimentos

As frações do fósforo P, apresentadas na Figura 2, foram determinadas pelo protocolo harmonizador de fracionamento de fósforo em sedimentos de água doce chamado *Standards, Measurements and Testing* (SMT) estabelecido pela Comissão Européia em 1996. O método é um procedimento não sequencial que produz cinco frações de P: fósforo total (PT), orgânico (PO), inorgânico (PI), apatítico (PIA) e não-apatítico (PINA). Além disso, verifica-se a eficiência do método através do material de referência certificado BCR® 684 (EC/JRC-IRMM) do Instituto de Referência Materiais e Medições (IRMM). A extração foi realizada em triplicatas nas amostras de sedimento dos rios Aracaí, Carambeí e Guaçu. Que foram agitadas em tubo de polietileno com capacidade 50 mL, sendo que eles também foram utilizados para centrifugação a 4000 rpm por 15 min, minimizando assim as possíveis perdas. A determinação das concentrações de P foi por espectrometria de emissão com fonte de plasma induzido (ICP-OES) para fração disponível. O equipamento utilizado foi Spectro Flame M120 E – Spectro, com tocha axial, que dispõe de recursos em seu programa que possibilitam uma escolha criteriosa das linhas de emissão a ser utilizada para o elemento em questão. Utilizou-se o método da curva analítica na determinação do elemento, por meio do uso de solução-padrão.

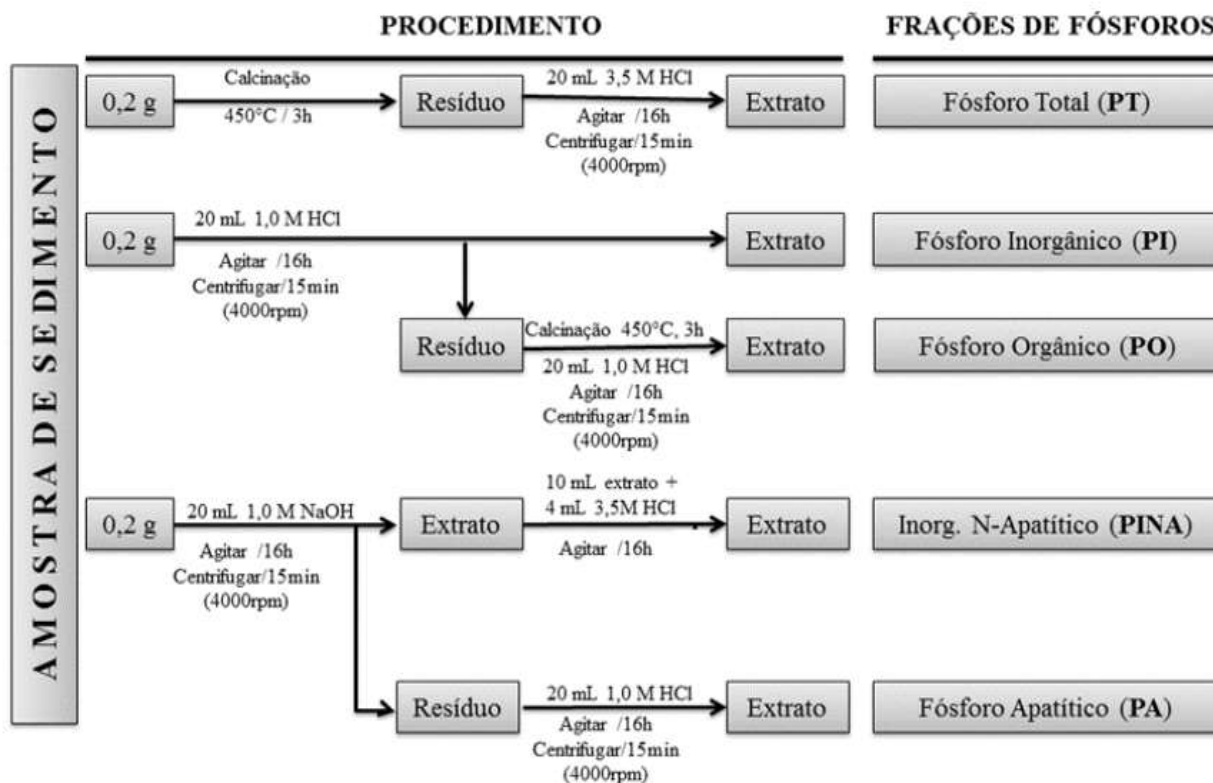


Figura 2. Fluxograma referente à determinação das frações de Fósforo em sedimento segundo Jesus (2013).

3 RESULTADOS

3.1 TEOR DE UMIDADE

Os resultados para o teor de umidade presente nas amostras de sedimento são apresentados na Figura 3 e indicam a presença de substâncias higroscópicas, sendo que valores elevados estão geralmente associados a sedimentos finos (silte e argila). Observou-se uma variação média de 20% a 26% sendo o ponto com maior porcentagem G3 (26%), em relação aos demais pontos de coleta, revelando o predomínio das frações mais finas na classificação granulométrica desse local (CESTESB, 2014).

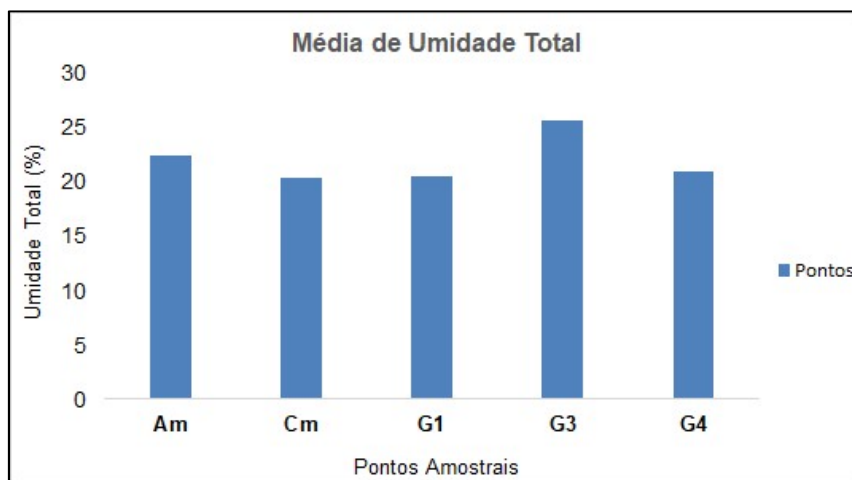


Figura 3. Umidade Total dos pontos coletados em março de 2017.

3.2 GRANULOMETRIA

A distribuição granulométrica dos principais rios da região é apresentada na Figura 4. Pode-se observar no ponto G3 o predomínio das frações mais finas em relação aos demais. De acordo com a CETESB, (2009) a presenças de frações mais finas podem resultar maior possibilidade de retenção de contaminantes recentes na bacia de drenagem e que potencialmente tenham atingido essa matriz limnológica. Logo, esse resultado corrobora com os apresentados para os ensaios de teor de umidade na Figura 3.

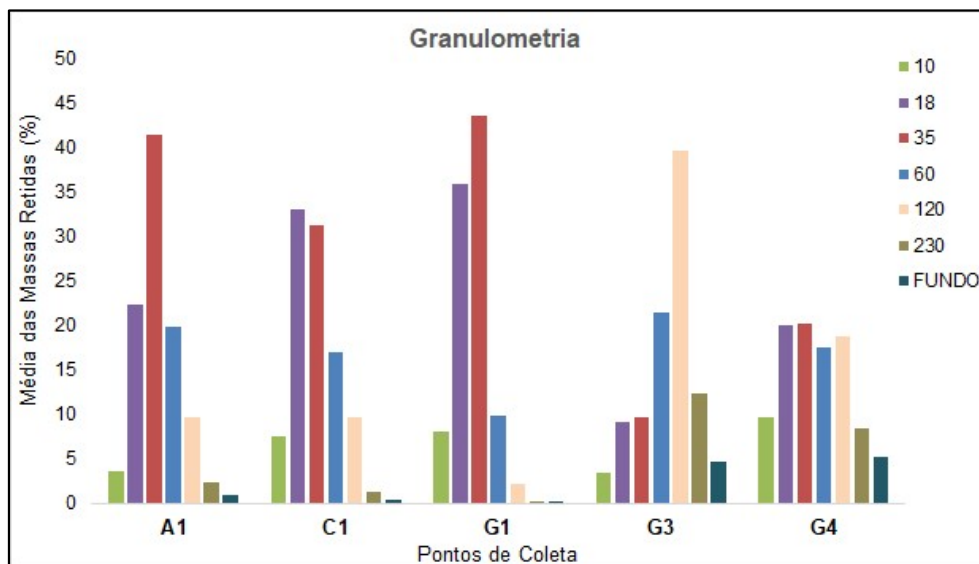


Figura 4. Análise granulométrica dos rios Aracaí, Carambeí e rio Guaçu.

3.3 MATÉRIA ORGÂNICA

Na figura 5 são apresentadas as porcentagens encontradas para as amostras de sedimento dos rios em questão. As frações foram todas consideradas inorgânicas, pois obtiveram porcentagem de matéria orgânica abaixo de 10%. No entanto, observa-se que os pontos G3 e G4 apresentaram a maior porcentagem. Segundo Esteves, (1988) quando os sedimentos apresentam valores de matéria orgânica acima de 10% são considerados orgânicos, e abaixo de 10% são considerados sedimentos inorgânicos ou minerais, locais com predominância de sílica, argila e compostos como cálcio, ferro, manganês e outros. Os pontos que apresentaram valores mais elevados encontrado de matéria orgânica, são os que recebem maior aporte de esgoto. Logo, esse resultado já era esperado.

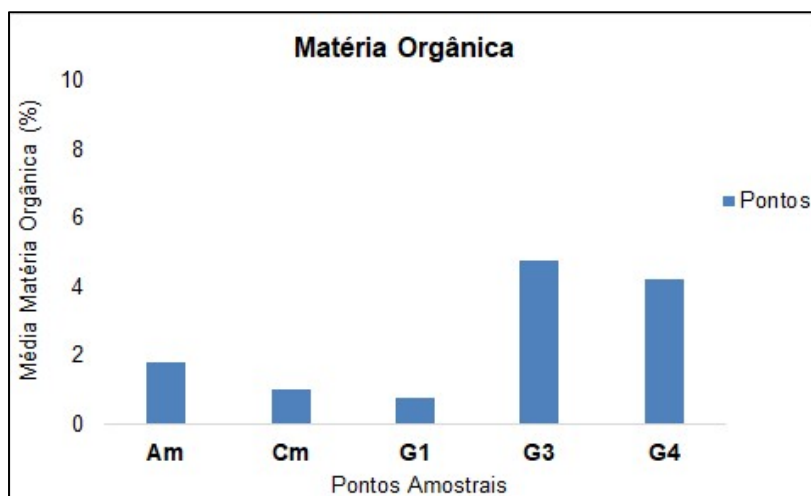


Figura 5. Teor de matéria Orgânica presente nos rios Aracaí, Carambeí e rio Guaçu

3.4 ANÁLISE DO pH

Na Figura 6 são apresentados os valores de pH e temperatura para os sedimentos dos rios Aracaí, Carambeí e Guaçu. Os rios estudados apresentaram variações de pH entre 6,8 e 7,7 com temperaturas de 19,4 a 20,9. Segundo Cotta, (2003) o pH dos solos brasileiros variam entre 4 e 7,5. Devido a coleta ter sido realizada em período chuvoso, Cunha, (2003) explica que após as reações úmidas, os níveis de pH naturais em rios são geralmente próximos da neutralidade.

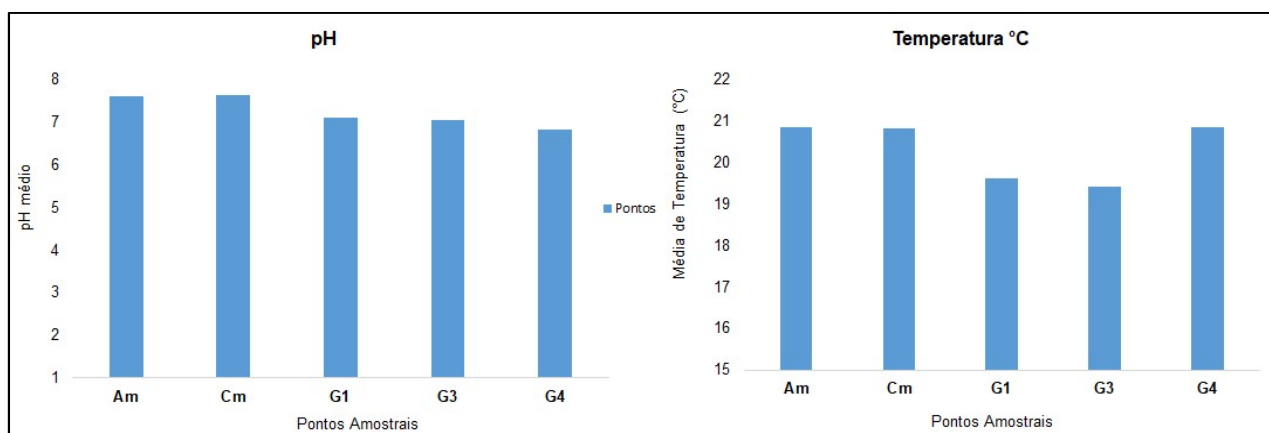


Figura 6. Valores de pH e temperatura para os rios Aracaí, Carambeí e rio Guaçu.

3.5 CONCENTRAÇÕES DE P NOS SEDIMENTOS DOS RIOS ARACAÍ, CARAMBEÍ E GUAÇU

Os resultados para as frações de P encontradas para os rios em questão, podem ser observados na Figura 7. As maiores concentrações encontradas para PT, foram nos pontos G4 e G3 respectivamente. As concentrações variaram de 456,9 a 349 mg.kg⁻¹. As menores concentrações foram encontradas nas amostras dos pontos A1, C1 e G1 com 110,4 mg.kg⁻¹, 127,4 mg.kg⁻¹ e 144,1 mg.kg⁻¹ respectivamente. No entanto, para uma análise de qualidade somente com teor de PT não é possível determinar a degradação de um sistema aquático, pois a ele contém P na forma apatítico, que é relativamente estável e inerte. Na avaliação de um sistema poluído, faz-se necessário a determinação nas formas orgânica e inorgânica.

A distribuição da fração orgânica de P (PO) também foi maior para os pontos G4 e G3, variando de 108 a 89,9 mg.kg⁻¹ respectivamente e menor nos pontos G1, C1 e A1 com 27,3 mg.kg⁻¹, 30,8 mg.kg⁻¹ e 34,8 mg.kg⁻¹ respectivamente. Apesar da fração de PO para o ponto G4 (24%) não ser tão significativa quando comparada com a fração total, atribui-se esse fato aos dejetos de animais, esgoto doméstico, pesticidas orgânicos fosfatados que são lançados nos rios e como esse ponto que fica a jusante de todos os outros, recebe as maiores contribuições.

A maior concentração de PI foi no ponto G4, apresentando valores de 288,2 seguido do G3 com 232,4 mg.kg⁻¹ e do G1 com 143,3 mg.kg⁻¹. A menor concentração foi no ponto C1 com 66,5 mg.kg⁻¹ e A1 com 76,5 mg.kg⁻¹. O P na forma inorgânica (Pi) corresponde às frações ligadas aos óxidos /hidróxidos de ferro, alumínio e manganês, associado ao cálcio e material orgânico (NUNES,2013). Porém, nem todas as formas estão disponíveis: a fração ligada ao cálcio é denominada de apatítico (PIA), e se encontra estável e inerte; a fração inorgânica não apatítica (PINA) corresponde aos óxidos/hidróxidos de ferro e alumínio e são disponíveis na ausência de oxigênio. Quando compara-se a fração inorgânica (63%) com a total, observa-se o predomínio de PI em todos pontos em questão.

Quanto a fração inorgânica apatítica (PIA), os valores foram considerados expressivos para os pontos G4 e G3, em maior concentração no G4 com 250,7 mg.kg⁻¹ e para o G3 com 127,4 mg.kg⁻¹. Os pontos C1, A1 e G1 apresentaram concentrações de 7,3 mg kg⁻¹, 43,1 e 46,6 mg kg⁻¹ respectivamente. A média de concentração de PIA de todos os pontos do rio Guaçu foi de 141,6 mg kg⁻¹, mostrando uma quantidade razoável de P estável nesses rios. A distribuição espacial da fração inorgânica não apatítica (PINA) foi maior para G3 com 129,6 mg kg⁻¹ e a menor para o A1 com 11,4 mg kg⁻¹, G4 com 38,8 mg.kg⁻¹, C1 46,7 mg.kg⁻¹ e G1 55,2 mg.kg⁻¹. Isso representa em grande parte, os íons de ortofosfatos de origem antropogênica adsorvidos sobre os hidróxidos de ferro e alumínio, com os quais formam complexos (GACHTER et al 1998).

De acordo com a resolução 344/2004 do CONAMA que estabelece diretrizes gerais para a avaliação do sedimento a ser dragado, recomenda-se como valor alerta para PT 2000 mg.kg⁻¹. Neste trabalho, o maior valor encontrado para PT foi no ponto G4, com 456,9 mg.kg⁻¹. Entretanto, muitos autores discordam desse valor proposto, por se tratar de um valor elevado, afirmam não condizer com a realidade brasileira. Cazati (2010) e Zhang et al., (2008), propõe os seguintes valores para avaliar o índice de poluição nos sedimentos: não poluído, concentrações menores que 500 mg.kg⁻¹; moderadamente poluído concentrações entre 500 e 1300 mg.kg⁻¹; e altamente poluído, concentração maior que 1300 mg.kg⁻¹, (total de P). Dessa forma, para atingir um ponto de alerta, os rios em questão encontram-se bem abaixo dos valores encontrados na legislação.

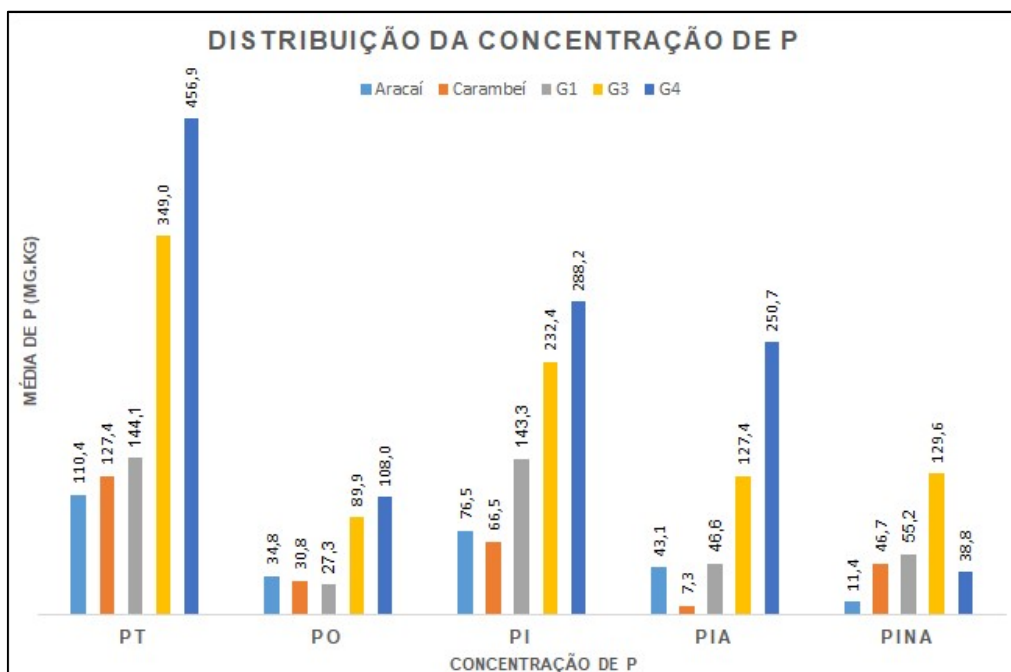


Figura 7. Concentração de P nos rios Aracaí, Carambeí e rio Guaçu.

A fim de validar o método de extração para as diversas formas de P contido em sedimentos, foi feita a análise do material certificado de referência BCR 684. Os resultados do ensaio com o material e valor certificado foram bem próximos, obtendo uma recuperação média de 94% e podem ser observados na Figura 8.

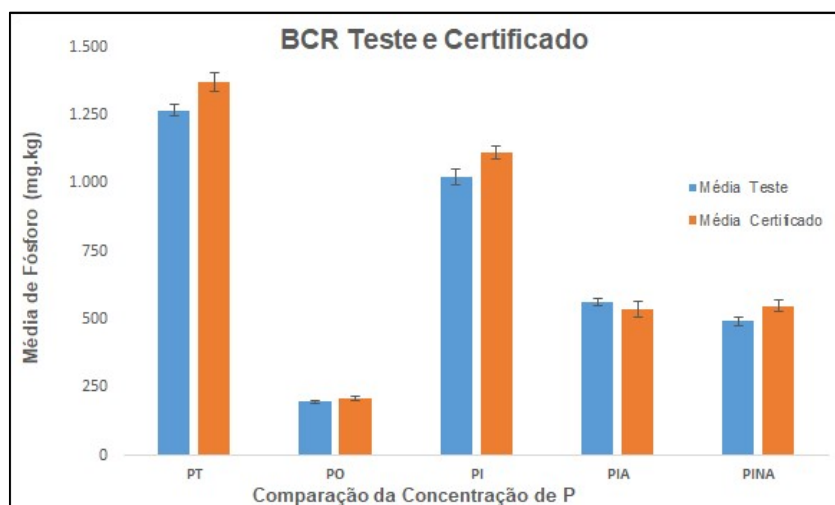


Figura 8. Teste realizado no material certificado BCR 684.

4 CONCLUSÕES

No presente estudo foram realizadas análises do estoque total de P e suas frações geoquímicas nos rios Aracaí, Carambeí e em três pontos do rio Guaçú e de acordo com os resultados obtidos pode-se concluir que os pontos que apresentaram maiores concentrações de P foram G4 e G3 respectivamente e os pontos que apresentaram menores concentrações para a maioria dos P foram A1 e C1. Este fato já era esperado pois, os pontos G3 e G4 são os que recebem maiores aportes de esgoto doméstico provocados pelo lançamento de cargas orgânicas. De acordo com alguns estudos, a ocorrência dos valores altos deste parâmetro acarreta em diminuição das concentrações de oxigênio dissolvido na água. Já para os pontos A1 e C1 as concentrações foram menores porque os pontos são localizados em áreas com pouca ocupação urbana, não recebendo a mesma quantidade de esgoto que os demais. Apesar da concentração de P para os pontos serem relevantes, segundo a resolução CONAMA 344/04 os rios só podem ser considerados poluídos quando atingem um ponto de alerta com concentrações de PT superiores a 2000 mg.kg⁻¹. Dessa forma, nenhum dos rios, de acordo com a resolução podem ser considerados poluídos, estando bem abaixo do ponto de alerta. A partir dos resultados encontrados para PO, pode afirmar que os principais rios do município de São Roque ainda não possuem condições favoráveis à eutrofização, todavia o lançamento de efluentes domésticos no seu ambiente possui potencial poluidor e os resultados deste trabalho sugerem que os sedimentos deste corpo hídrico apresentam contribuição antrópica por estoques de PI. Logo, o estudo das espécies de fósforo no município contribui com informações sobre a qualidade dos sedimentos dos principais corpos d'água da região e também evidencia o potencial de deposição de fósforo no sedimento de seus principais rios, elucidando as possíveis relações de causa e efeito do aporte de efluentes no ambiente aquático dentro do processo de eutrofização.

REFERÊNCIAS

- BCR Information. The certification of the extractable contents (mass fraction) of phosphorus in freshwater sediments following a five-step extraction procedure, European Commission, 2001.
- BRASIL. Resolução CONAMA 344 de 25 de março de 2004. Brasília, DF, 2004.
- BRASIL. Resolução CONAMA 357 de 17 de março de 2005. Brasília, DF, 2005.
- CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Sedimentos – Determinação da distribuição granulométrica. L6 160, São Paulo: CETESB 1995.
- CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em: 27 mar. 2018.
- CETESB & ANA. 2011. Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras Água, Sedimento, Comunidades Aquáticas. Brasília, 2ª Edição: s.n., 2011.
- CLAESSEN, M.E.C. Manual de Métodos de Análise de Solo. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos EMBRAPA, 1997. p.83.
- CORRELL, D.L. The role of phosphorus in the eutrophication of receiving waters: a review. Journal of Environmental Quality. v. 27. pg. 262-266. 1998.
- COTTA, J. A. de O. Diagnóstico ambiental do solo e sedimento do Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR). Dissertação (Mestrado) - Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Paulo, 130 p., 2003.
- JESUS, E. T. DISTRIBUTION AND FRACTIONING OF PHOSPHORUS IN SEDIMENTS OF MANGROVE OF THE TIBIRI RIVER ESTUARY IN THE ISLAND MARANHAO, AMAZON REGION. 2013. 59 f. Dissertação (Mestrado em QUIMICA) - Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2013.
- ESTEVEZ, F.A. Fundamentos de Limnologia. 2ª ed. Rio de Janeiro: Interciência, 602p., 1988.

MENDES FILHO, N. E. Caracterização química da matéria orgânica nos sedimentos do solo do manguezal e dinâmica de nutrientes nas águas superficiais e intersticiais no médio estuário do rio Paciência em Iguaiá – Paço do Lumiar (MA). João Pessoa – PB, UFPB. Tese de doutorado, 162p. 2009.

MORAIS, J. L. R.; VIANA, M. A. ; COELHO, R. S . Avaliação dos Índices de Qualidade das Águas dos Principais rios do Município de São Roque, Sp. Scientia Vitae, v. 2, p. 40-49, 2015.

NUNES, M. L. F. Distribuição e fracionamento do fósforo nos sedimentos dos rios Bacanga e Anil na Ilha do Maranhão. Dissertação (Mestrado em Química). Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal do Maranhão. São Luís, 2013.

PAULA FILHO, F. J. Distribuição e Partição Geoquímica de fósforo em sedimentos estuarinos do Rio Jaguaribe/Ce. Fortaleza-Ce, UFCE. Dissertação de Mestrado, 88p.,2004.

PREFEITURA DA ESTÂNCIA TURÍSTICA DE SÃO ROQUE. Revisão do Plano Diretor: caracterização ambiental e urbanística. São Roque, 2005. v. 1. Disponível em:<http://www.saoroque.sp.gov.br/useruploads/files/caracteristicas_gerais/caracterizacao.pdf>. Acesso em 10 março de 2018.

PROTAZIO, L. TANAKA S.M.C.N; CAVALCANTE, P.R.S. Avaliação de procedimentos de extração sequencial de fósforo em sedimento. São Luis-MA, Universidade Federal do Maranhão - UFMA. Revista Analytica, nº 08, 2004.

SANTOS, E. B. Análise da Qualidade da Água de rios do Município de São Roque/SP. [Trabalho de Conclusão do Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas]. Instituto Federal de São Paulo. São Roque, 2014.

SMITH, V.H.; JOYE, S.B.; HOWARTH, R.W. (2006) Eutrophication of freshwater and marine ecosystems. Limnology and Oceanography, v. 51, p. 351-355.

WANG, H. & WANG, H. (2009) Mitigation of lake eutrophication: Loosen nitrogen control and focus on phosphorus abatement. Progress in Natural Science, v. 19, p. 1445-1451.