

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

Sâmia Rafaela Maracaípe Lima

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
- IPEN-CNEN/SP, Centro de Química e Meio Ambiente, São Paulo – SP.

Mainara Generoso Faustino

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
- IPEN-CNEN/SP, Centro de Química e Meio Ambiente, São Paulo – SP.

Eddy Bruno dos Santos

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
- IPEN-CNEN/SP, Centro de Química e Meio Ambiente, São Paulo – SP.

Tatiane Bernardino Seixas Carvalho da Silva

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
- IPEN-CNEN/SP, Centro de Química e Meio Ambiente, São Paulo – SP.

Maria Aparecida Faustino Pires

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
- IPEN-CNEN/SP, Centro de Química e Meio Ambiente, São Paulo – SP.

Marycel Elena Barboza Cotrim

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
- IPEN-CNEN/SP, Centro de Química e Meio Ambiente, São Paulo – SP.

RESUMO: O fósforo é um elemento essencial para todas as formas de vida na Terra, podendo ser introduzido no ambiente aquático através de fontes naturais ou antropogênicas. A avaliação deste elemento em ecossistemas aquáticos é

de suma importância, uma vez que ele atua na regulação da produtividade primária. Logo, este trabalho teve por objetivo avaliar a distribuição e fracionamento do fósforo nos sedimentos dos principais rios do Município de São Roque 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 da região. Para tanto, foram avaliados 5 pontos amostrais e determinadas as concentrações de fósforo, juntamente com os parâmetros físico-químicos (granulometria, pH, e matéria orgânica). Os teores de sedimentos finos e de matéria orgânica foram os principais parâmetros ambientais correlacionados com as frações de fósforo. 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). Foi verificado que as maiores concentrações ocorreram nos sedimentos do ponto G4 com 456,9 mg kg⁻¹ para PT e que os teores de PI foram maiores que os de PO na maioria dos pontos.

PALAVRAS-CHAVE: Fósforo; Sedimento; Fracionamento; Protocolo SMT.

ABSTRACT: Phosphorus is an essential element for all forms of life on Earth and can be introduced into the aquatic environment through

natural or anthropogenic sources. The evaluation of this element in aquatic ecosystems is of paramount importance, since it acts on the regulation of primary productivity. The objective of this work was to evaluate the distribution and fractionation of phosphorus in the sediments of the main rivers of the Municipality of São Roque in order to verify the contribution of phosphorus in the eutrophication process, besides the other anthropic impacts that may imply in the water quality of the of the region. For that, 5 sample points were evaluated and the phosphorus concentration was determined, together with the physical-chemical parameters (grain size, pH, and organic matter). The levels of fine sediments and organic matter were the main environmental parameters correlated with the phosphorus fractions. 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) . It was verified that the highest concentrations occurred in the sediments at point G4 with 456.9 mg kg⁻¹ for PT and that the contents of PI were higher than those of PO at most points.

KEYWORDS: Phosphor; Sediment; Fractionation; SMT Protocol.

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, além de servir para o transporte e diluição de esgotos domésticos, efluentes industriais e resíduos das atividades rurais e urbanas (BARTH e BARBOSA, 1999). No entanto, devido ao acelerado crescimento urbano-industrial e ao aumento populacional, o processo de degradação da qualidade da água tem se intensificado, agravado pelo crescimento desordenado e a falta de saneamento, que prejudicam o uso dos recursos hídricos, diminuindo consideravelmente sua disponibilidade e produzindo inúmeros problemas, a exemplo da eutrofização (PAZ et al., 2000).

Eutrofização é o fenômeno pelo qual um ecossistema se torna cada vez mais produtivo através do enriquecimento por nutrientes, principalmente fósforo e nitrogênio. 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, gerando modificações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do meio, com perdas da sua produtividade e biodiversidade (PROTAZIO et al., 2004). 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 na natureza se encontra quase unicamente na forma de fosfato, que pode ser classificado como ortofosfato (forma iônica, representada por PO₄³⁻, sendo

mais comum em águas naturais os íons H_2PO_4^- e HPO_4^{2-}), fosfatos condensados (polifosfatos) e fosfatos organicamente ligados (APHA, 1995). Em ecossistemas aquáticos continentais tem origem em fontes naturais e artificiais. Dentre as fontes naturais, as rochas fosfatadas da bacia de drenagem constituem a fonte básica de fosfato. As fontes artificiais de fosfato mais importantes são os esgotos domésticos e industriais e o material particulado de origem industrial contido na atmosfera (SILVA, 1997).

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

Marins e colaboradores, sugerem que os materiais fosfatados ao serem carregados pelos rios, podem permanecer em meio aquoso ou serem depositados nos sedimentos sob diferentes formas, descrevendo de forma integrada os processos antrópicos que influenciam as bacias hidrográficas e, possivelmente, processos naturais que caracterizam a hidrogeoquímica local, visto que interfere nos processos biogeoquímicos predominantes e na sedimentação de materiais (MARINS et al., 2007).

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).

Desta forma, o objetivo desse trabalho foi avaliar a distribuição e fracionamento do fósforo nos sedimentos dos rios Aracaí, Carambeí 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 | 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).

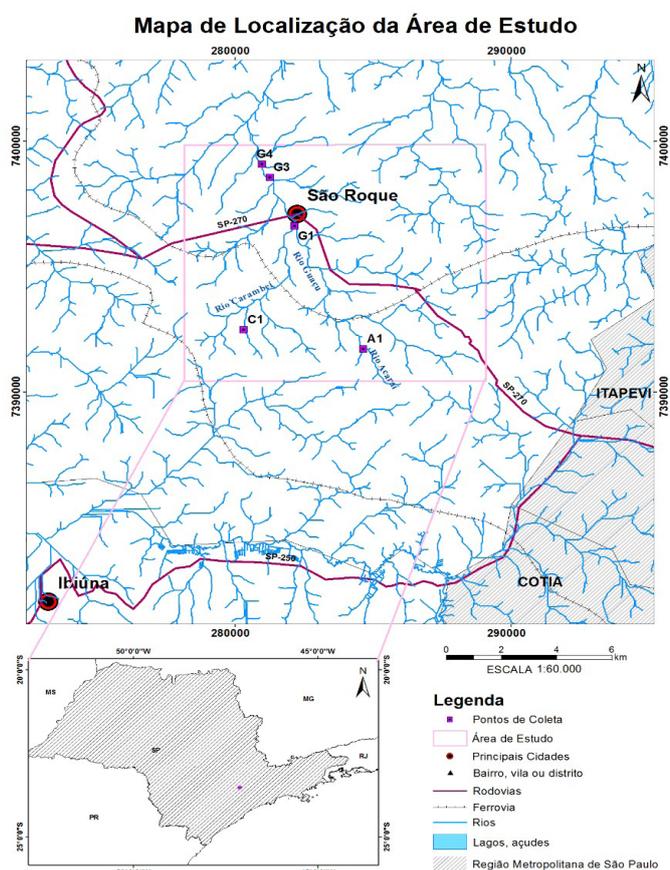


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo.

3 I MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Coleta e preparo das amostras

As coletas foram realizadas em cinco pontos amostrais no Município de São Roque – SP, que são dois pontos a montante dos rios Aracaí e Carambeí e três pontos ao longo rio Guaçu sendo, um na região central do município e dois outros pontos antes e depois da área de construção da ETE São Roque.

Foram coletadas amostras de sedimentos superficiais para análise em março de 2017 (período de chuva). Os procedimentos de coleta e amostragem seguiram os descritos no Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras de Água, Sedimento e Comunidades Aquáticas e Efluentes Líquidos (CETESB; ANA, 2011), que discorre sobre a qualificação técnica e a harmonização dos procedimentos de coleta e preservação dos atores que operam no monitoramento da qualidade dos recursos hídricos brasileiros.

Utilizou-se a estrutura dos laboratórios do Centro de Química e Meio Ambiente do IPEN/CNEN-SP para conservação, armazenamento e análise das amostras.

A Tabela 1 apresenta as coordenadas geográficas dos pontos amostrais bem como a localização dos pontos de coleta.

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

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

Fonte: Autora, (2018).

3.2 Análises físico-químicas

Determinou-se o teor de umidade e o teor de matéria orgânica de acordo com Cotta, (2003) sendo o teor de umidade em duas faixas de temperatura a 60-65 °C e a 100-110°C em estufa e o teor de matéria orgânica pelo método de calcinação em mufla a 550°C por 4h. Já a granulometria foi determinada pela técnica de peneiramento, utilizando-se do 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/água na proporção 10:25 mL (sedimento:solução) com o auxílio do peagâmetro.

3.3 Determinação das concentrações de fósforo nos sedimentos

As frações do fósforo, 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 fósforo: fósforo total (PT), orgânico (PO), inorgânico (PI), apatítico (PIA) e não-apatítico (PINA). Verificou-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, utilizando as amostras de sedimento coletadas dos rios Aracaí, Carambeí e Guaçu, que foram agitadas em tubo de polietileno com capacidade 50 mL. A solução extraída foi centrifugada a 4000 rpm por 15 min, a fim de minimizar possíveis perdas. Subsequentemente, as concentrações de fósforo foram determinadas por espectrometria de emissão com fonte de plasma induzido (ICP-OES) para fração disponível.

O equipamento utilizado nas análises foi o 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 serem utilizadas para o elemento em questão. Utilizou-se ainda o método da curva analítica na determinação do elemento, por meio do uso de solução-padrão.

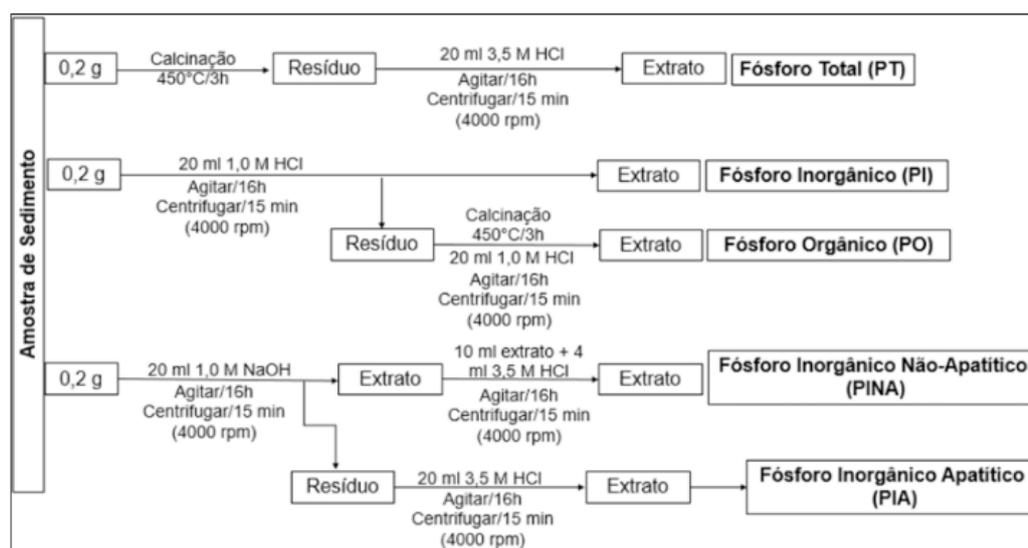


Figura 2. Fluxograma de determinação das frações de fósforo. (Adaptado de Jesus, 2013).

4 | RESULTADOS

4.1 Teor de umidade

Os resultados para o teor de umidade presente nas amostras de sedimento são apresentados na Figura 3. Observou-se, uma variação média de 20% a 26% sendo G3 o ponto com maior porcentagem (26%), em relação aos demais pontos de coleta.

De acordo com a CETESB, (2018) o teor de umidade do sedimento indica a presença de substâncias higroscópicas, indicando que os valores elevados estão geralmente associados a sedimentos finos (silte e argila), que irá resultar em uma maior possibilidade de retenção de contaminantes recentes na bacia de drenagem e que potencialmente possam ter atingido essa matriz limnológica. Logo, a maior umidade no ponto G3 significa que este ponto apresentou sedimentos mais finos possibilitando maior retenção de matéria orgânica que os demais.

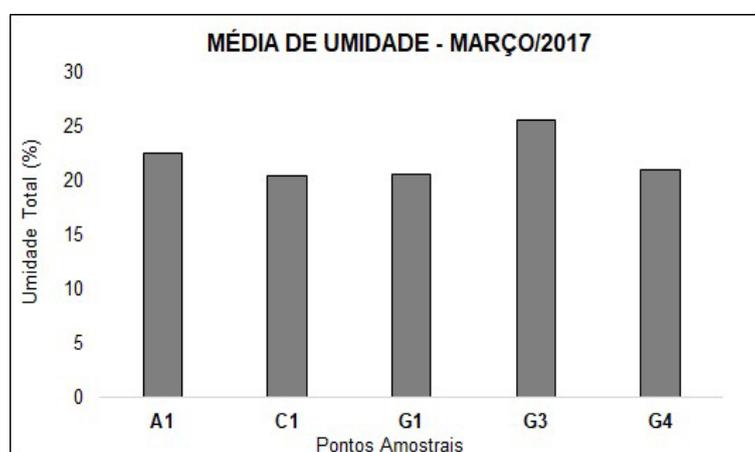


Figura 3. Teor de umidade dos pontos coletados em março de 2017.

Fonte: Autora, (2018).

4.2 Granulometria

O perfil granulométrico dos principais rios do município de São Roque é apresentado na Figura 4. O ponto G3 foi o que apresentou as frações mais finas com 17%, em relação aos demais.

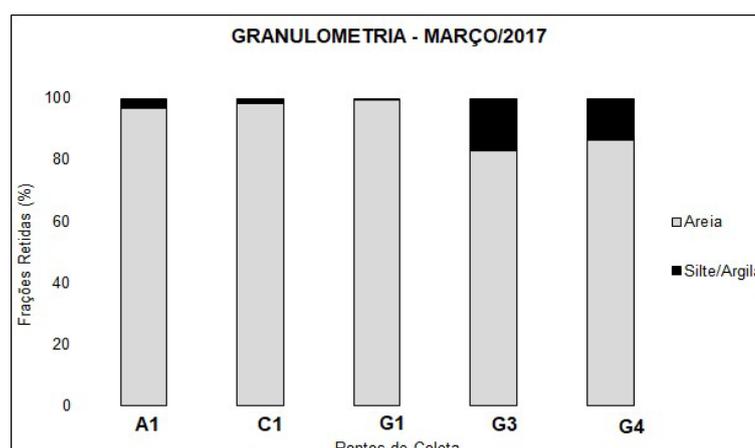


Figura 4. Análise granulométrica dos sedimentos coletados em março de 2017.

Fonte: Autora, (2018).

Elevadas quantidades de silte e argila e menores teores de areia, configuram uma significativa possibilidade de se encontrar contaminantes que possibilitam verificar a qualidade do sedimento presente no corpo hídrico (CETESB, 2018). Este resultado corrobora com os obtidos para o ensaio anterior de teor de umidade (Figura 3) que também apresentou maiores teores para o mesmo ponto.

4.3 Matéria orgânica

Na figura 5 são apresentadas as porcentagens encontradas para as amostras de sedimento dos rios em questão. Observa-se que o ponto G3 e o ponto G4 foram os que apresentaram os maiores teores de matéria orgânica. No entanto, as frações foram todas consideradas inorgânicas.

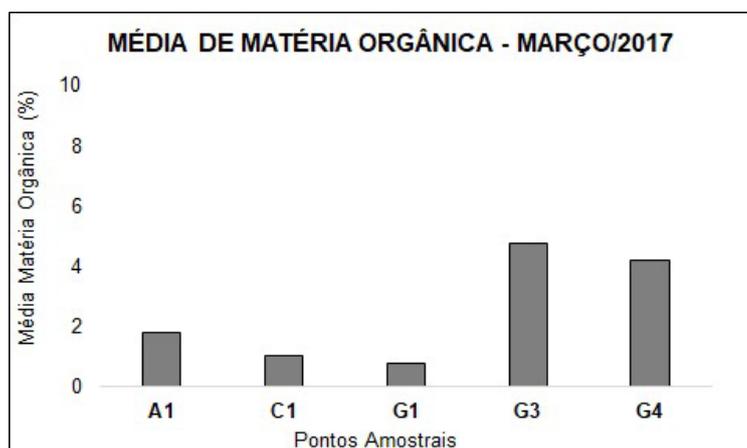


Figura 5. Teor de matéria orgânica presente nos sedimentos coletados em março de 2017.

Fonte: Autora, (2018).

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, com predominância de sílica, argila e compostos como cálcio, ferro, manganês e outros.

Embora os pontos em questão tenham ficado abaixo da porcentagem considerada como orgânica, os mesmos encontram-se a jusante dos demais e recebem maior aporte do descarte de efluente doméstico sem tratamento. Portanto, de acordo com os resultados obtidos nos ensaios de teor de umidade e granulometria, são pontos que apresentam sedimentos com características mais finas, podendo absorver mais contaminantes.

4.4 Análise do pH

Na Figura 6 são apresentados os valores de *pH* encontrados nos sedimentos dos rios Aracaí, Carambeí e Guaçu. Os rios estudados apresentaram variações de *pH* entre 6,8 e 7,7.

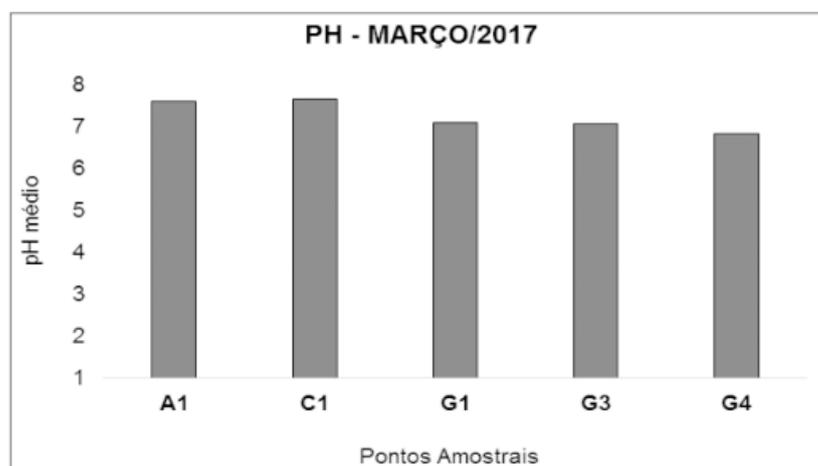


Figura 6. Valores do *pH* nos sedimentos coletados em março de 2017.

Fonte: Autora, (2018).

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.

4.5 Concentração de fósforo no sedimento dos rios aracaí, carambeí e guaçu

Os resultados do fracionamento do fósforo realizado nos sedimentos dos principais rios de São Roque podem ser observados na Figura 7. As maiores concentrações da fração total (PT) foram encontradas nos pontos G4 e G3 respectivamente, que variaram de 456,9 a 349 mg kg⁻¹. Já 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, não é possível determinar a degradação de um sistema aquático somente com o teor de PT, uma vez que o fósforo ligado à apatita é relativamente estável e inerte. Logo, para a avaliação de um sistema poluído, faz-se necessário também a determinação do fósforo nas formas orgânica e inorgânica.

A distribuição da fração orgânica de fósforo (PO) também foi maior para os pontos G4 e G3, com 108 e 89,9 mg kg⁻¹ respectivamente. As menores concentrações foram encontradas nos pontos G1, C1 e A1 com 27,3 mg kg⁻¹, 30,8 mg kg⁻¹ e 34,8 mg kg⁻¹. A fração PO no ponto G4 corresponde a 24% da fração total. Apesar dessa fração não ser tão significativa quando comparada com a total, essa porcentagem pode ser atribuída aos dejetos de animais, esgoto doméstico, pesticidas orgânicos fosfatados

que são lançados nos rios. Logo o ponto G4 que fica a jusante de todos os outros acaba recebendo as maiores contribuições.

A maior concentração do fósforo na forma inorgânica (PI) foi observada no ponto G4 com $288,2 \text{ mg kg}^{-1}$, seguida do ponto G3 com $232,4 \text{ mg.kg}^{-1}$. As menores concentrações foram nos pontos C1 com $66,5 \text{ mg kg}^{-1}$, A1 com $76,5 \text{ mg kg}^{-1}$ e G1 com $143,3 \text{ mg kg}^{-1}$.

Quando comparada as porcentagens obtidas de PI em relação ao estoque total de fósforo, essa fração corresponde a 63%, logo pode-se observar o predomínio de PI em todos os pontos em questão.

Conforme NUNES, (2013) a forma inorgânica PI corresponde às frações ligadas aos óxidos /hidróxidos de ferro, alumínio e manganês, associado ao cálcio e material orgânico. Porém, nem todas estão disponíveis: a fração ligada ao cálcio é denominada de apatítico (PIA) 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. Todavia, se faz necessário o estudo dessas formas a fim de estabelecer qual fração prenomina nos corpos d'água estudados, visto que a fração em maior proporção fora encontrada na forma inorgânica.

Quanto a fração inorgânica apatítica (PIA), as concentrações foram também consideradas mais expressivas para os pontos G4 e G3 com $250,7 \text{ mg kg}^{-1}$ e $127,4 \text{ mg kg}^{-1}$ respectivamente. Os pontos C1, A1 e G1 apresentaram concentrações de $7,3 \text{ mg kg}^{-1}$, $43,1 \text{ mg kg}^{-1}$ e $46,6 \text{ mg kg}^{-1}$ respectivamente. A média de concentração de PIA de todos os pontos do rio Guaçu foi de $141,6 \text{ mg kg}^{-1}$, mostrando uma quantidade razoável de P estável nesses rios.

A distribuição espacial da fração inorgânica não apatítica (PINA) foi maior para G3 com $129,6 \text{ mg kg}^{-1}$ e a menor para o A1 com $11,4 \text{ mg kg}^{-1}$, G4 com $38,8 \text{ mg kg}^{-1}$, C1 $46,7 \text{ mg kg}^{-1}$ e G1 $55,2 \text{ mg kg}^{-1}$. 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).

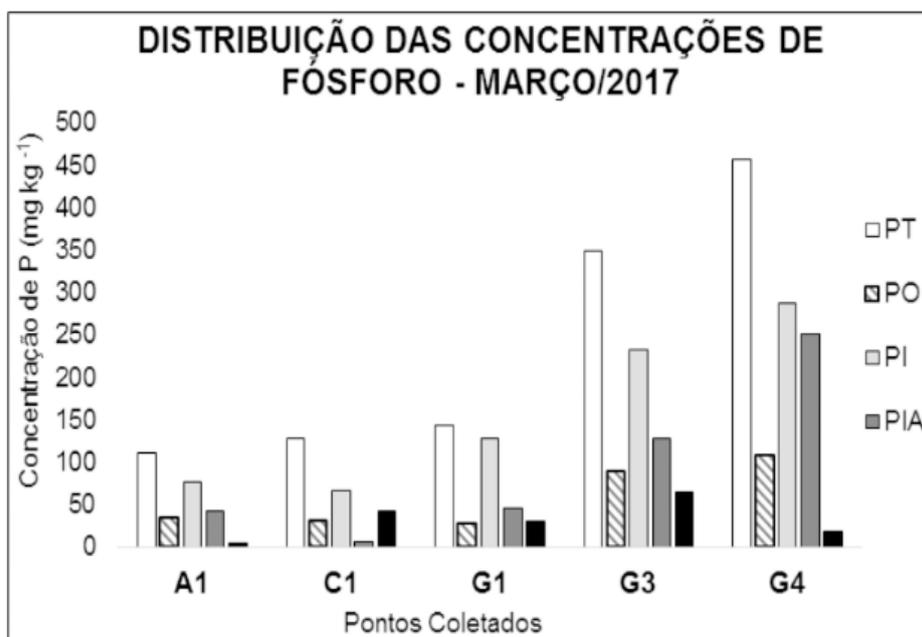


Figura 7. Concentração de P nos rios Aracaí, Carambeí e rio Guaçu em março de 2017.

Fonte: Autora, (2018).

A fim de validar o método de extração para as diversas formas de fósforo contidas nos sedimentos analisados, foi realizada a análise do material de referência certificado BCR 684 (Figura 8).

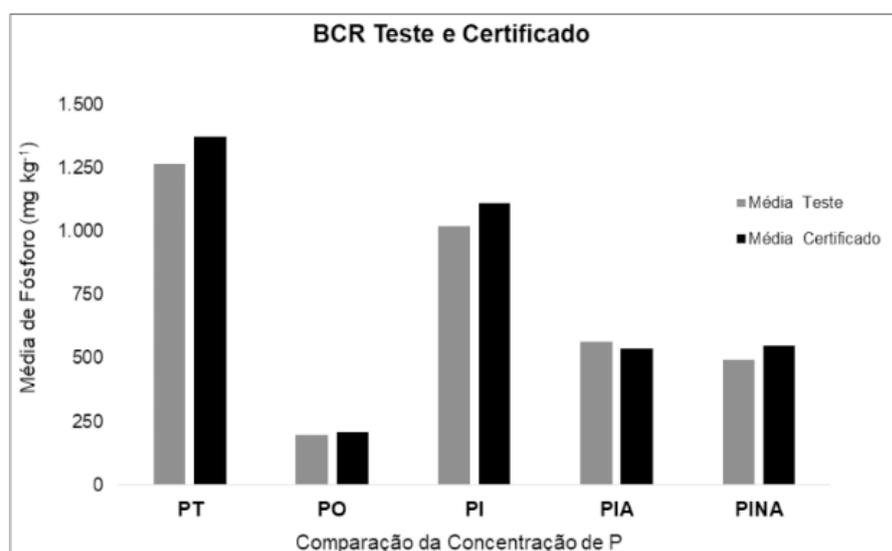


Figura 8. Teste realizado no material certificado BCR 684.

Fonte: Autora, (2018).

Diante destes resultados, pode-se verificar que existe uma boa concordância entre os valores encontrados e os certificados. A recuperação média foi de 94%, o que garante a eficiência do método de extração empregado e, conseqüentemente, a exatidão dos resultados.

5 | CONCLUSÕES

No presente estudo foram feitas análises sobre o estoque total de fósforo e suas frações geoquímicas nos principais rios do Município de São Roque, no qual considerando os resultados obtidos pode-se concluir que:

- Os resultados obtidos nas análises físico-químicas de determinação do teor de umidade, teor de matéria orgânica, os pontos que apresentaram maiores teores foram o G3 e G4 respectivamente, revelando frações mais finas quanto a classificação granulométrica nesses dois pontos. Todavia, todos os sedimentos foram considerados inorgânicos.
- No ensaio granulométrico dos sedimentos, os pontos G3 e G4 foram os que apresentaram maiores teores de finos com 17% e 13,6% respectivamente. No entanto, de forma geral predomina a fração areia em todos os pontos analisados;
- Os resultados de pH variaram de 7,1 a 7,7, mostrando que as faixas de pH encontram-se próximas a neutralidade, com valores dentro da faixa ótima para condições de vida aquática;
- Os resultados obtidos no fracionamento do fósforo mostraram que as concentrações de PT foram maiores nos pontos G4 e G3, com 456,9 mg kg⁻¹ e 356,0 mg kg⁻¹ respectivamente. Este resultado já era esperado, visto que esses pontos ficam a jusante dos demais recebendo as maiores contribuições de esgotamentos sanitários não tratados;
- A fração orgânica PO também apresentou as maiores concentrações para os pontos G4 e G3, com 108,0 a 89,9 mg kg⁻¹ respectivamente. Essa fração corresponde a 24% do total e pode ser atribuída aos dejetos de animais, esgoto doméstico, pesticidas orgânicos fosfatados que são lançados nos rios;
- Para PI as concentrações encontradas também foram maiores nos pontos G4 com 288,2 mg kg⁻¹ seguido do G3 com 232,4 mg kg⁻¹. Representando a maior porção quando comparados a fração de PT, com 63% revelando o predomínio do fósforo na forma inorgânica na área de estudo;
- A fração PIA apresentou valores mais expressivos também para os pontos G4 e G3, com 250,7 mg kg⁻¹ e 127,4 mg kg⁻¹ respectivamente. Revelando o fósforo estável nesses rios, ou seja, mais biodisponível e suas concentrações podem refletir diretamente na produção primária do sistema;
- A fração inorgânica não apatítica PINA foi maior nos pontos G3 com 64,8 mg kg⁻¹. Isto pode ser explicado pela grande quantidade de esgoto urbano que são despejados no ponto em questão;
- Os resultados mostraram que as principais fontes de poluição observadas nos principais rios do Município são antropogênicas, visto que as maiores concentrações de fósforo foram na forma inorgânica;
- O estudo das espécies de fósforo no Município poderá contribuir 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

APHA, **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 17^a ed. Estados Unidos: American Public Health Association, 1995.

BARTH, F. T.; BARBOSA, W. E. S. **Recursos hídricos**. São Paulo: EPUSP, 1999.

BCR Information. **The certification of the extractable contents (mass fraction) of phosphorus in freshwater sediments following a five-step extraction procedure**. European Commission, 2001.

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 e ANA. **Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras Água, Sedimento, Comunidades Aquáticas**. Brasília, 2^o 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.

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.

CUNHA, A. C. **Levantamento de parâmetros físico-químicos e hidráulicos para a avaliação da qualidade da água em escoamento natural na bacia hidrográfica do rio Matapi: o desenvolvimento do distrito industrial de Santana-AP**. Governo do Estado do Amapá, Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá, Centro de Pesquisas Aquáticas: Macapá, 2003.

ESTEVES, F.A. **Fundamentos de Limnologia**. 2^a ed. Rio de Janeiro: Interciência, 602p., 1998.

GACHTER, R.; MEYERS, J. S.; MARES, A. **A contribution of bacteria to release and fixation of phosphorus in lake sediments**. *Limnol. Oceanogr.* v. 33, p.1542-1558, 1998.

JESUS, E. T. **Distribuição e Fracionamento de Fósforo em Sedimentos de Manguezais do Estuário do Rio Tibiri na Ilha do Maranhão, Região Amazônica**. 2013. 59 f. Dissertação (Mestrado em QUÍMICA) - Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2013.

MARINS, R.V., PAULA FILHO, F.J. ROCHA, C.A.S. **Geoquímica de fósforo como indicadora da qualidade ambiental e dos processos estuarinos do Rio Jaguaribe - costa nordeste oriental brasileira**. *Química Nova*, 30: 1208-1214, 2007.

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.

PAZ, V. P.S; TEODORO, R. E. F; MENDONÇA, F. C. **Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande-PB, v 4, n 3, p.465-473, Jan. 2000.

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.

SILVA, J. G. O. **Emprego Rural e a Mercantilização do Espaço Agrário. São Paulo em Perspectiva.** v. 11, n.2, p. 50-64, 1997.

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

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