

AVALIAÇÃO E COMPARAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA E DO SEDIMENTO ENTRE TRECHOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO MÉDIO PARAÍBA DO SUL, REGIÃO SUL FLUMINENSE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO, BRASIL

Luís Fernando Faulstich Neves*, Cristina Aparecida Gomes Nassar

* Instituto Estadual do Ambiente do Estado do Rio de Janeiro / Universidade Federal do Rio de Janeiro
ferfausl@gmail.com

RESUMO

O estudo caracterizou os parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água e do sedimento, em dois trechos de rio da região hidrográfica do Médio Paraíba do Sul, com o propósito de estabelecer se trechos providos de ilhas fluviais apresentam melhores condições ambientais que trechos sem ilhas. Partiu-se do pressuposto que a qualidade da água e do sedimento tende a apresentar melhores condições nas proximidades de regiões detentoras de ilhas fluviais. A avaliação espacial dos parâmetros da qualidade de água e do sedimento indicou que o Trecho-I, sem ilhas, apresentou 16,4% das amostras de água e 14,4% de sedimento fora dos limites de referência utilizados no estudo, contra 18,7% e 9,2% do Trecho-II, com ilhas. Os parâmetros da qualidade da água mais críticos identificados foram coliformes termotolerantes e Fósforo, que apresentaram média amostral fora dos limites de referência, em ambos os trechos. Quanto ao sedimento, Ferro, Cromo e Mercúrio foram os parâmetros mais críticos, segundo padrões internacionais. A comparação entre os trechos de estudo mostrou que o Trecho-I (sem ilhas) apresentou valores relativamente melhores em relação à qualidade da água. Em relação aos sedimentos o Trecho-II (com ilhas) foi o que apresentou melhores condições. Políticas eficientes, conscientização ambiental da população envolvida e principalmente investimentos voltados ao saneamento urbano, são imprescindíveis para melhoria do atual quadro da região estudada.

PALAVRAS-CHAVES: Rio Paraíba do Sul, Qualidade Ambiental, Análise das variáveis da Água e do Sedimento,

INTRODUÇÃO

A quantidade e a qualidade das águas doces continentais no planeta sempre foram essenciais para manter os ciclos de vida, a biodiversidade dos organismos e a sobrevivência da espécie humana. (TUNDISI *et al.*, 2003). Por esses motivos, a água também é considerada um recurso ou bem econômico, por ser finita, vulnerável e essencial à conservação da vida e do meio ambiente. Além disso, a escassez e/ou sua deterioração impede o desenvolvimento econômico de diversas regiões (BORSOI & TORRES, 1997) e principalmente inviabiliza o uso para o consumo humano. Dessa forma, a progressiva demanda sobre os recursos hídricos faz o acompanhamento dos impactos na qualidade das águas cada vez mais necessário.

O crescimento desordenado da sociedade moderna, aliado à intensificação das atividades de caráter poluidor e de utilização dos recursos naturais, tem provocado o comprometimento da integridade dos ecossistemas de tal forma que muitos destes podem se tornar irrecuperáveis (TOROGO, 2006). A criticidade da qualidade da água no Brasil (diagnosticada de forma generalizada) evidencia esse problema, sendo reconhecidos como seus principais agentes (i) os esgotos de origem urbana e industrial; (ii) os efluentes de atividades intensivas de criação animal; (iii) e atividades extensivas da agricultura (GEO BRASIL, 2007).

O monitoramento sistemático da qualidade da água (importante braço da gestão de recursos hídricos) é fundamental para a identificação dos fatores que interferem no equilíbrio das condições ambientais de um manancial. Os padrões brasileiros de qualidade da água em vigor são definidos para subsidiar a proposta de enquadramento dos corpos hídricos e estão estabelecidos nas resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), na Resolução nº 357, de 17 de março de 2005 e na, nº 430 de 13 de maio de 2011 que alterou e complementou a Resolução anterior.

Na região deste estudo, as águas do rio Paraíba do Sul são consideradas Classe II (conforme regulamentado pela Portaria MINTER nº 86 de 04/06/81 do Ministério do Interior), tendo seu uso preponderante destinado: a) ao abastecimento para o consumo humano, após tratamento convencional; b) à proteção das comunidades aquáticas; c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho (Resolução CONAMA 274, de 2000); d) à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e por fim e) à Aquicultura e a atividade de pesca (INEA, 2015).

Segundo (ESTEVES, 1998) o sedimento pode ser considerado como o resultado da interação de todos os processos que ocorrem em um ecossistema aquático. A capacidade do sedimento em acumular compostos faz deste compartimento um dos mais importantes na avaliação do nível de contaminação de ecossistemas continentais aquáticos. Os compostos indicadores de contaminação ambiental encontrados no sedimento podem ser orgânicos, como inseticidas e herbicidas ou inorgânicos como os elementos-traço. A concentração de elementos-traço no sedimento e sua distribuição vertical é um importante indicador da evolução de impactos antrópicos sobre o ambiente aquático.

No que diz respeito aos metais, a distribuição, o transporte e a biodisponibilidade nos ambientes aquáticos são controlados pelo sedimento e pela coluna d'água. Na região de estudo o sedimento superficial da calha do rio Paraíba do Sul é constituído, em sua quase totalidade por areia, cascalho e pedras, com pequena proporção de finos, como silte e argilas (INEA, 2015).

Deste modo partimos do pressuposto que a qualidade da água e do sedimento tende a apresentar melhores condições ambientais em regiões detentoras de ilhas fluviais, uma vez que apresentam melhores taxas de oxigenação, variação de fluxo e depuração hídrica, causado pela movimentação da água devido os afloramentos rochosos que são comuns nas regiões próximas às ilhas.

OBJETIVOS

Analisar os parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água e do sedimento, coletados nas estações de monitoramento e nos pontos de coleta distribuídos pelos trechos de estudo, além de identificar e comparar a contaminação entre os trechos, com e sem ilhas fluviais.

METODOLOGIA

Descrição da Área

A área de estudo localiza-se ao sul do estado do Rio de Janeiro, entre os municípios de Porto Real e Barra Mansa, na Bacia Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul. A área é caracterizada por receber efluentes da cidade de Resende, do tecnopolo industrial, das cidades de Porto Real, Quatis, do distrito de Floriano e dos bairros de Vila Maria e Jardim Vista Alegre em Barra Mansa (Figura 1). O rio apresenta nesse trecho vazão média de longo termo de 278 m³/s e a precipitação total anual varia de 1300 – 1490 mm (CEIVAP, 2014).

A área de estudo foi escolhida por apresentar trechos distintos (com e sem a presença de ilhas fluviais), bem demarcados e próximos entre si, e que por esta proximidade, estão submetidos às mesmas características ambientais.

O Trecho – I, sem ilhas fluviais, inicia na ponte da saída do km 298 da BR 116 (Rodovia Presidente Dutra) nas proximidades do bairro de Bulhões, na cidade de Porto Real, e termina na ponte limítrofe entre os municípios de Quatis e Barra Mansa. O Trecho I caracteriza-se pela proximidade do tecnopolo industrial da cidade de Porto Real, que possui empresas do ramo automotivo, siderúrgico, de bebidas, petroquímico, mineração, entre outros. A extensão do trecho sem ilhas é de aproximadamente 25 km de extensão. A vegetação ripária apresenta estratos arbóreo e arbustivo ao longo do trecho, com relativo grau de degradação, em ambas as margens.

O Trecho – II, com ilhas fluviais, é provido de meandros e afloramentos rochosos. Na maior parte é constituído por pontos de corredeiras, fundos de pedra, substrato de cascalho ou areia grossa. Inicia-se exatamente após o fim do primeiro trecho, na ponte limítrofe entre os municípios de Quatis e Barra Mansa, e termina nas adjacências do bairro Vista Alegre na cidade de Barra Mansa. Possui aproximadamente 15 km de extensão e largura heterogênea, com média de 136 metros, diferença que se dá devido ao alargamento das margens nos agrupamentos de ilhas fluviais que o compreende.

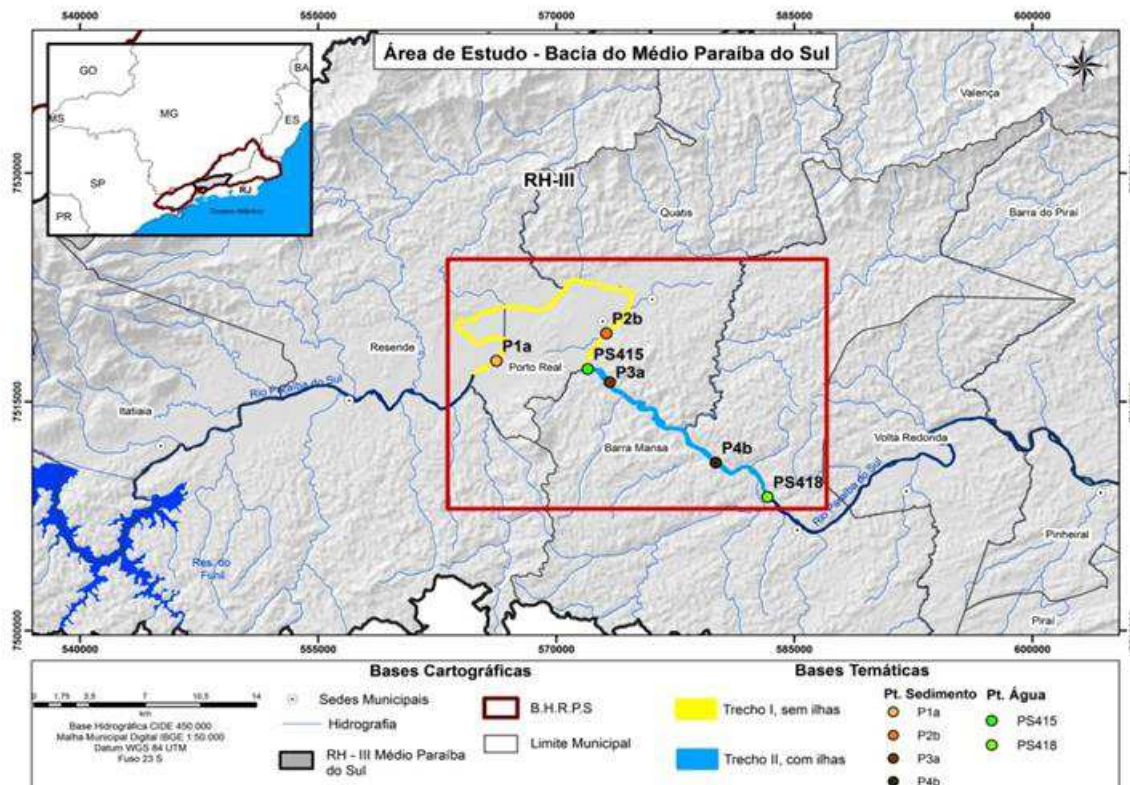


Figura 1: Mapa da área de estudo: Bacia Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul, com destaque para os trechos de estudo e para as estações de coletas de água e sedimento. Fonte: Autores

Qualidade da água

As informações referentes à qualidade da água foram disponibilizadas pelo Instituto Estadual do Ambiente do Estado do Rio de Janeiro (INEA), compondo 16 amostragens, entre 15 de julho de 2015 a 24 de outubro de 2016. Os dados foram coletados por técnicos do Inea, nas estações do rio Paraíba do Sul: PS415, localizada próxima ao distrito de Floriano, no final do Trecho – I, sem ilhas e PS418, a jusante da siderúrgica de Barra Mansa no final do Trecho – II, com ilhas.

Para a melhor adequação ao estudo, foram selecionados dez parâmetros da qualidade da água (Cádmio; Chumbo; Coliformes Termotolerantes; Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO, Fósforo Total; Nitrogênio Amoniacal total; Oxigênio dissolvido-OD; Potencial Hidrogeniônico-pH; Temperatura e Turbidez), por estes serem bons indicadores de impactos reconhecidos no Rio Paraíba do Sul: o despejo de efluentes industriais e domésticos (MALM *et al.*, 1988; CEIVAP, 2014; COELHO, 2012; INEA, 2015).

Foram inseridos no escopo do estudo os valores de referência estipulados nas resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente: CONAMA 357 de 2005 e CONAMA 430 de 2011, que apresentam os referenciais de classificação dos corpos hídricos, como também as condições e padrões de lançamento de efluentes.

Coleta e análise do sedimento

As amostras de sedimento foram oriundas de quatro pontos no rio Paraíba do Sul, dispostos no início e fim de cada trecho de estudo; sendo os Pontos 1a e 2b no Trecho sem ilhas e Pontos 3a e 4b no trecho com ilhas, conforme dispostos na Figura 1. As coletas do material sedimentológico foram realizadas por meio do equipamento busca fundo da marca Hydro-Bios Apparetebau GmbH modelo Van-Veen.

Para as coletas, foi adaptado o método de Amostragem Quarteada para Margens de Rios, visando reduzir o volume das amostras (CARVALHO *et al.* 2000). Para cada ponto de coleta foram coletadas duas amostras em cada margem (distantes cerca de 100/200 metros umas das outras), em seguida homogeneizadas e então selecionada uma fração de aproximadamente 250g em cada subponto de coleta, totalizando cerca de 1 kg de amostra para análise laboratorial. Esse

método permitiu uma maior área de amostragem com menor custo de análises (Figura 2). Todas as coletas foram realizadas em profundidades de até 4,0 metros. Posteriormente, as amostras foram ensacadas e etiquetadas contendo informações de cada ponto de coleta por trecho e acondicionadas em caixa de isopor com gelo, sendo, no dia posterior, encaminhadas para o laboratório de análise laboratoriais do INEA, onde foram analisadas. As campanhas ocorreram em dois dias: 21/03/2016, coleta de período chuvoso e 26/09/2016, coleta de período seco. Foram realizados 13 ensaios para análise dos parâmetros sedimentológico: Alumínio, Cádmio, Chumbo, Cobre, Cromo, Ferro, Níquel e Zinco (Método analítico EPA 200.9-1992); % Carbono (Método analítico USEPA, 2002); Fósforo Total (Método analítico NELAC, 2009 - *Determination of TPP*); Mercúrio (Método analítico EPA 245.5); Umidade (Método analítico APHA, 2005) e Granulometria (Método analítico Separação por peneiras).

Uma vez que a legislação ambiental brasileira não estabelece padrões ou limites para as substâncias químicas orgânicas e inorgânicas encontrada nos sedimentos que objetive enquadrar corpos d'água ou dar proteção à vida aquática. (INEA, 2015). Por esse motivo, foram adotados os limites de referências estipulados pelos órgãos internacionais de proteção ambiental, (os mesmos utilizados pelo Instituto Estadual do Ambiente na região) através do documento: *Summary of Existing Canadian Environmental Quality Guidelines do ISQG – Interim sediment quality guideline* (CANADA, 2002), como também, do *Consensus-Based Sediment Quality Guidelines do TEC – Threshold Effects Concentrations* (WISCONSIN, 2003); servindo assim como referência para o sedimento neste estudo.

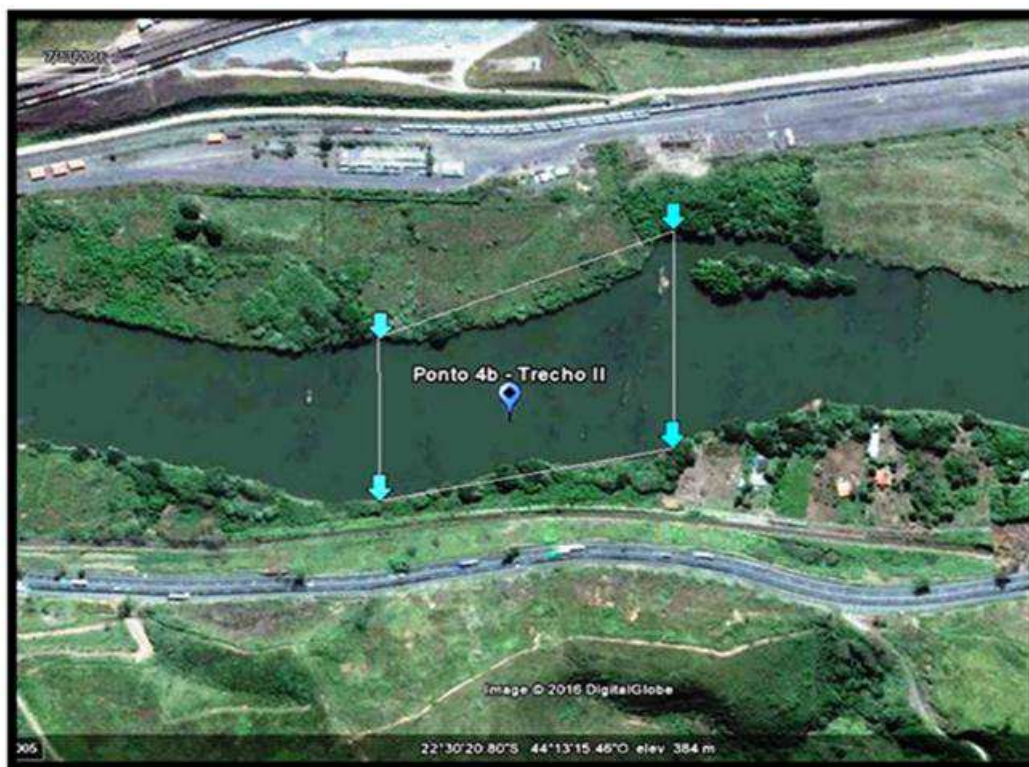


Figura 2: Ponto 4b no Trecho – II, com ilhas; as setas em azul indicam os quatros subpontos de coleta que abrangem cerca de 400/800 m² de área amostrada, conforme metodologia do quarteamento sedimentológico para margens de rio, adaptada neste estudo. Imagem: *Google Earth*.

RESULTADOS

Da qualidade da água

A Tabela 1 apresenta as médias e os números de amostras referentes aos parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água por trecho de estudo, assim como os padrões máximos de referência estabelecidos nas Resoluções do

CONAMA (357/2005 e 430/2011) para os corpos de água classe II que designa esta classe às águas doces ainda não enquadradas em legislações específicas¹.

Tabela 1: Média e Desvio Padrão dos parâmetros analisados da qualidade de água em trechos da Bacia do Médio Paraíba do Sul, entre julho/2015 a outubro/2016. Inclui também os padrões de referência estabelecidos nas resoluções do CONAMA (357/2005 e 430/2011) para rios de classe II.

		Parâmetros analisados									
Trecho/ Estação		Temperatura da Água - °C	OD - mg/L	DBO - mg/L	Fósforo Total - mg/L	Nitrogênio Amoniacal - mg N/L	pH	Turbidez-uT	Coliformes Termotoleran- tes - NMP/100 mL	Cádmio - mg/L	Chumbo - mg/L
T-I sem ilhas (PS0415)	Média	21,81 (n=16)	6,21 (n=16)	2 (n=16)	0,06* (n=14)	0,14 (n=16)	7,13 (n=16)	18,34 (n=16)	11331* (n=16)	0,001 (n=01)	0,01 (n=01)
	Desvio padrão	2,88	1,08	0	0,04	0,05	0,41	26,13	31721	0	0
T-II com ilhas (PS0418)	Média	22,06 (n=16)	7,06 (n=16)	2,29 (n=16)	0,07* (n=14)	0,14 (n=16)	7,15 (n=16)	18,91 (n=16)	25067* (n=15)	0,001 (n=01)	0,01 (n=01)
	Desvio padrão	2,59	0,74	1,05	0,04	0,06	0,41	24,38	33216	0	0
CONAMA: 357 - 430 (valor máx. de referência para rios de cl. II)		≤ 40 ⁽³⁾	≥ 5	≤ 5	0,05	3,7 ⁽⁴⁾	6,0 a 9,0	≤ 100 ⁽⁵⁾	≤ 1000	0,001	0,01

Legenda:

*Violação dos padrões legais

n. número de amostras analisadas campanhas

⁽³⁾ valor referente ao lançamento do efluente no corpo hídrico; sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura (redação CONAMA 430);

⁽⁴⁾ para pH ≤ 7,5 (redação CONAMA 357);

⁽⁵⁾ até 100 de UNT (redação CONAMA 357).

A temperatura da água em ambos os trechos se manteve em condições de normalidade, variando entre 19 a 26 °C. A média no T-I foi de 21,81°C (desvio padrão= 2,88) e no T-II de 22,06 °C (desvio padrão= 2,59). Não foi possível detectar violação nos padrões estipulados pela resolução CONAMA 430.

Os dois trechos apresentaram bons valores de Oxigênio Dissolvido. No T-I o OD variou de 4,8 a 7,6 mg/L, com uma violação dos limites legais em dezembro de 2015. No T-II as variações ficaram entre 5,6 a 8,2 mg/L, sem violação da resolução CONAMA. A média no T-I foi de 6,21 mg/L (desvio padrão= 1,08) e no T-II foi de 7,06 mg/L (desvio padrão= 0,74).

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) apresentou boas taxas de concentração no T-I com 2 mg/L, em todo o período analisado. No T-II as variações ocorreram entre 2 a 6,2 mg/L com uma violação legal. A média no T-I foi de 2 mg/L (desvio padrão= 0) e no T-II foi de 2,29 mg/L (desvio padrão= 1,05).

¹ Art. 42. Enquanto não aprovados os respectivos enquadramentos, as águas doces serão consideradas classe II, as salinas e salobras classe I, exceto se as condições de qualidade atuais forem melhores, o que determinará a aplicação da classe mais rigorosa correspondente. (redação CONAMA 357).

O Fósforo total variou no T-I entre 0,01 a 0,16 mg/L, apresentando quatro violações do padrão legal. No T-II, as variações ficaram entre 0,02 a 0,2 mg/L, com sete violações no padrão da referência da resolução CONAMA. Deste modo o T-I apresentou irregularidades em 28,5% das amostras do Fósforo contra 50% do T-II. A média no T-I foi de 0,06 mg/L (desvio padrão= 0,04) e 0,07 mg/L (desvio padrão=0,04) no T-II. Ambas as médias superaram o limite permitido na legislação, o que comprova que o Fósforo é um parâmetro preocupante na região estudada.

O Nitrogênio Amoniacal variou entre 0,01 a 0,24 mg N/L no T-I e entre 0,1 a 0,28 mg N/L no T-II. A média foi igual nos dois trechos, ou seja, 0,14 mg N/L. Em ambos os trechos não houve registro em violação nos padrões das resoluções CONAMA.

O pH apresentou valores próximos à neutralidade, variando de 6,5 a 7,8 no T-I e 6,6 a 8,0 no T-II. A média entre os trechos foi muito próxima ficando 7,13 (desvio padrão: 0,41) no T-I e 7,15 (desvio padrão: 0,41) no T-II. Não houve violação nos padrões de referências da resolução CONAMA, em ambos os trechos.

A Turbidez variou entre 1,5 a 108 uT no T-I, e entre 1,5 a 102 uT no T-II. As médias foram 18,34 uT (desvio padrão: 26,13) no T-I, já no T-II ela foi de 18,91 uT (desvio padrão = 24,38). O padrão de referência CONAMA (até 100 UNT) foi ultrapassado uma vez em cada trecho em dezembro de 2015, fator que deve ter correlação com chuvas fortes na região.

Os coliformes apresentaram valores variando entre 490 a 130000 NMP/100 mL no T-I e 2300 a 120000 NMP/100 mL do T-II. A média foi de T-I 11331 NMP/100 mL (desvio padrão = 31721) e de no T-II foi de 25067 NMP/100 mL (desvio padrão = 33216). O padrão CONAMA (1000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros) foi ultrapassado em 93,7% das amostras do T-I e 100% das do T-II. Esses valores evidenciam um dos grandes problemas da região, ou seja, o descarte de esgoto com tratamento ineficiente ou ausente.

O Cádmiu e o Chumbo apresentaram muitas falhas de amostragens, com apenas uma medição no período analisado. Ambas as substâncias não apresentaram violação do padrão estipulado pela resolução CONAMA.

Da qualidade do sedimento

A Tabela 2 apresenta a média e desvio padrão dos parâmetros analisados do sedimento em duas amostragens. Como referência, foram utilizados os padrões estabelecidos por órgãos internacionais, uma vez que ainda não há lei regulamentando as diretrizes de qualidade ambiental de sedimento em margens de rio no Brasil.

O Alumínio apresentou valores entre 16480 a 29500 mg/kg no Trecho-I e 10140 a 16500 mg/kg no Trecho-II. A Média foi de 22030 mg/kg (desvio padrão = 5653,8) no T-I e 14435 mg/kg (desvio padrão = 2921,3) no T-II.

O Cromo apresentou valores variando entre 39 a 46 mg/kg no T-I e 33 a 38 mg/kg no T-II. Este parâmetro apresentou valores elevados no T-I, pois todas as amostras extrapolaram os limites legais internacionais (média = 41,25 mg/kg; desvio padrão = 3,2). O T-II apresentou apenas uma extrapolação no Ponto4b, localizado nas proximidades de empresas que atuam nos ramos de mineração e químico, localizadas à montante do município de Barra Mansa. A Média foi de 35,25 mg/kg (desvio padrão = 2,0).

A porcentagem de Carbono foi avaliada somente na campanha de período chuvoso, devido a problemas operacionais com o equipamento de análise. Deste modo, os resultados mostraram que o T-I teve valor de 2,2 %, já no T-II, a mínima ficou em 1,85 e máxima em 2,57 %, com média de 2,21% (desvio padrão = 0,05). Não foi possível quantificar anormalidades deste parâmetro.

O elemento Cádmiu foi observado, em todas as amostras, no limite inferior de detecção pelo método de análise (EPA 200.9-1992) não sendo possível avaliar o impacto deste parâmetro nos trechos de estudo.

O Chumbo apresentou valores entre 27 a 38 mg/kg no T-I e valores menores no T-II que ficaram entre 21 a 29. A média no T-I foi de 32 mg/kg (desvio padrão = 4,6) e 25,5 mg/kg (desvio padrão = 3,4).

O Cobre apresentou concentração entre 20 a 29 mg/kg no T-I e 17 a 24 mg/kg no T-II. A média foi de 23,7 mg/kg (desvio padrão = 3,8) no T-I e 19,5 mg/kg (desvio padrão = 2,6) no T-II. Não ocorreram nos trechos de estudo extrapolações dos limites internacionais.

O Ferro mostrou valores com oscilações entre 25500 a 42000 mg/kg no T-I e 23500 a 35525 mg/kg do T-II. A média ficou em 35712 mg/kg (desvio padrão = 7128,3) no T-I e 29137 mg/kg (desvio padrão = 4967,4) no T-II.

O parâmetro Fósforo não foi analisado devido aos problemas operacionais com o equipamento, logo não foi possível identificar interferências do Fósforo nos sedimentos dos trechos de estudo.

Tabela 2: Média e desvio padrão dos parâmetros de sedimentos (período chuvoso e seco) nos trechos com e sem ilhas da Bacia do Médio Paraíba do Sul e limites de referência internacionais para metais em sedimentos: ISQC = *Interim Sediment Quality* (CANADA, 2002) e TEC= *Threshold Effects Concentrations* (WISCONSIN, 2003).

Parâmetro - Unidade de medida	Média (n=4)		Desvio Padrão		CANADÁ CCME/ISQC (mg/kg)	WISCONSIN USA – TEC (mg/kg)
	T - I	T -II	T - I	T -II		
Alumínio - mg/Kg	22030*	14435	5653, 8	2921, 3		
% Carbono - %	2,2	2,21*	0	0,5		
Cádmio - mg/Kg	<0,5	<0,5	0	0	0,6	0,99
Chumbo - mg/Kg	32*	25,5	4,6	3,4	35	36
Cobre - mg/Kg	23,75*	19,5	3,8	2,6	35,7	32
Cromo - mg/Kg	41,25**	35,25	3,2	2,0	37,3	43
Ferro - mg/Kg	35712,5**	29137,5**	7128, 3	4967, 4		20000
Fósforo Total - mg/kg	NR	NR	NR	NR		
Mercúrio - mg/Kg	0,175**	0,13	0,08	0,04	0,17	0,18
Níquel - mg/Kg	18,5*	16	3,6	2,9		23
Zinco - mg/Kg	103*	92	15,6	35,9	123	120
Umidade - %	56,5	56,5				
Granulometria (2mm) - %	12,3	6,7				
Granulometria (1mm) - %	13,2	9,5				
Granulometria (0,42mm) - %	7,5	8,1				
Granulometria (0,149mm) - %	15,3	28,1				
Granulometria (0,074mm) - %	24,6	23,3				
Argila <i>silte</i> - grupo granulometria - %	26,9	24,0				

Legenda:

* Maior valor encontrado entre os trechos

** Extrapolação dos padrões internacionais

NR Problemas operacionais no equipamento

O Mercúrio apresentou valores alternando entre 0,09 a 0,28 mg/kg no T-I e 0,09 a 0,20 mg/kg no T-II. A média foi de 0,175 mg/kg (desvio padrão=0,08) no T-I e 0,13 mg/kg (desvio padrão = 0,04) no T-II. Os limites estabelecidos pelos órgãos internacionais foram extrapolados no T-I duas vezes e no T-II um vez (Ponto 3a), ambos no período chuvoso.

O Níquel apontou valores variando entre 15 a 23 mg/kg no T-I e 13 a 19 mg/kg do T-II. A média ficou em 18,5 mg/kg (desvio padrão=3,6) no T-I e 16 mg/kg (desvio padrão= 2,9) no T-II. Em ambos os trechos não houve extrapolações dos limites internacionais para esse parâmetro.

O Zinco apresentou taxas variando entre 83 a 120 mg/kg no T-I e 52 a 135 mg/kg no T-II. A média foi 103 mg/kg (desvio padrão=15,6) no T-I e 92 mg/kg (desvio padrão = 35,9) no T-II.

Ambos os trechos apresentaram composição do sedimento com porcentagem de umidade idêntica, com em média 56,5% do peso total das amostras.

O T-I apresentou composição granulométrica com 26,9% de argila *silte*; 24,63% de gran. 0,074mm; 15,3% de gran. 0,149mm; 13,25% de gran. 1mm; 12,38% de gran. 2mm e 7,55% de gran. 0,42mm. O T-II apresentou composição das amostras com 28,15% de gran. 0,149mm; 24,08% de argila *silte*; 23,3% de gran. 0,074mm; 9,6% de gran. 1mm; 8,2% de gran. 0,42mm e 6,73% de gran. 2mm.

Um fator deve ser considerado, pois apresenta forte relação com os resultados encontrados: a localização das estações de coleta de água. A estação do Trecho-II, com ilhas (PS418: 22°31'32,78"S - 44°11'23,83"O), está localizada entre os bairros de Vista Alegre e Vila Maria em Barra Mansa com níveis antrópicos bem superiores comparado a localidade da estação do Trecho-I, sem ilhas situada a montante do distrito de Floriano (PS415: 22°27'01,69"S - 44°18'01,36"O) com níveis bem inferiores de urbanização (Figura 1).

O estudo de MALM e colaboradores (1988) encontrou valores de 210000 mg/L para coliformes fecais, 2,4 mg/L para DBO, 1,80% para partículas em suspensão e 6,6 para pH. O valor para coliformes foi superior ao imposto pela resolução vigente à época (CONAMA nº 20 de 1986). Em relação ao chumbo, onde o teor máximo permitido era de 0,03 mg/l e para o Cádmio era 0,001 mg/l, a região, entre os municípios de Itaitiaia e Volta Redonda, também apresentou valores elevados com 1,7 $\mu\text{g L}^{-1}$ para Chumbo e 0,35 $\mu\text{g L}^{-1}$ para Cádmio. O estudo ressaltou que, possivelmente, a matéria orgânica particulada (elevada na região) seria o principal veículo transportador de metais pesados no ecossistema aquático, sendo um amplificador do problema na região.

O estudo denominado plano integrado de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul (CEIVAP, 2014) apresentou valores médios referentes à região do estudo, para o ano 2011, onde foi encontrada concentrações de OD em torno de 6,85 md/L; coliformes termotolerantes - 15000mg/L; DBO - 2 mg/L e Fosforo - 0,1 mg/l. O estudo fez um alerta também para a possível piora dos trechos analisados, caso investimentos intensos em saneamento básico e tratamento de efluentes não sejam realizados para reverter o quadro atual e futuro.

Em relação às violações dos padrões CONAMA o Trecho-I, apresentou irregularidades nos parâmetros OD e Turbidez ambas ocorridas em (dez/2015). Tal fato que pode ter relação com um aumento pontual no aporte de material orgânico no trecho oriundo de chuvas torrenciais. Os parâmetros mais preocupantes no trecho foram: Fósforo total e coliformes termotolerantes, o primeiro com 28,6% das amostras irregulares, o segundo com 93,7%, fato que indica com margem de segurança a presença de esgoto sanitário no manancial.

No Trecho-II houve as violações legais da qualidade da água nos parâmetros DBO em (jul/2015) e Turbidez (dez/2015). Valores muito elevados foram observados nesse trecho para Fósforo Total e coliformes termotolerantes com 50% e 100% das amostras fora do padrão legal, respectivamente.

No sedimento o Alumínio apresentou em ambos os trechos altos valores (mesmo sem valores de referência), possivelmente pela presença de solos álicos com concentrações de alumínio superiores a 50% na região (INEA, 2015). Os valores elevados de alumínio encontrados nos trechos estudados devem servir de alerta para questões de saúde humana, já que esse metal pode acarretar doenças neurodegenerativas como o Alzheimer (FREITAS, *et al.* 2001).

A porcentagem de Carbono (analisada somente na 1ª campanha) apresentou valores aparentemente baixos com o valor máximo de 2,57% no Trecho-II (Ponto 3a). Isto pode ter relação com os pontos de coleta escolhidos neste estudo e/ou com a capacidade depurativa vinculada às boas taxas de OD encontradas nos trechos, em especial no Trecho-II, com ilhas.

O Cádmio não demonstrou irregularidades em nenhum dos trechos de estudo; o Chumbo no Trecho-I apresentou valores maiores que o Trecho-II, inclusive com uma extrapolação dos limites legais exigidos pelos órgãos internacionais (no Ponto 2b), fato que pode ter relação com descarte irregular de atividade de posto de combustível, localizado nas proximidades do referido ponto de coleta.

O Cobre não apresentou problemas nos trechos analisados, sem extrapolações dos limites de referências, em ambos os trechos. Já o Cromo demonstrou ser um problema no Trecho-I, pois apresentou 100% das amostras fora dos padrões de referências e 25% no Trecho-II. Esse metal faz parte do processo produtivo de indústrias que atuam na região do ramo de galvanoplastia, presente no Trecho-I.

O Ferro encontrado no sedimento, tanto no T-I quanto no T-II, apresentou amostras superando os limites estipulado internacionalmente pela WISCONSIN USA – TEC. O fato pode estar associado à erosão do solo, pois a região

apresenta rochas com predomínio de minerais máficos que são ricos em ferro (CEIVAP, 2014), ou ainda a outros fatores naturais como, depósitos orgânicos, detritos de plantas e ácidos húmicos. Os valores de Ferro encontrados possuem relação direta com as baixas taxas de vegetação ripária encontradas na bacia, pois esta vegetação tem como principal característica impedir o acúmulo de particulados no leito do rio. Outros fatores correlatos são: taxas elevadas de matéria orgânica na água, ou então águas poluídas por resíduos industriais e de mineração. (INEA, 2015)

O Mercúrio ocorreu fora do padrão no período chuvoso nos dois trechos, com exceção do Ponto 4b, no T-II. A elevada concentração desse metal pode estar relacionada às indústrias de processamento de metais e/ou agroquímicos contendo Hg carreados para o leito do rio. O Níquel não apresentou irregularidades nos trechos de estudo. O Zinco apresentou violação dos padrões internacionais no (Ponto 4b) coletado no período seco. Esse fato, provavelmente, tem ligação com a indústria de mineração ou então do ramo químico presentes nas proximidades do ponto de coleta.

O relatório de avaliação ambiental do rio Paraíba do Sul (INEA, 2015) analisou sedimentos de pontos bem próximos aos trechos deste estudo, entre abril de 2008 a novembro de 2009. No estudo foram encontrados valores médios para os parâmetros do ponto respectivo ao Trecho-I de: 14,87 mg/Kg para Chumbo; 8,69 mg/Kg para Cobre; 30,9 mg/Kg para Cromo (com 1 violação dos padrões internacionais); 23297 mg/Kg para Ferro (com 2 violações); 0,48 mg/Kg para Mercúrio (com 4 violações); 63,8 mg/Kg para Zinco e 12690 mg/Kg para Alumínio. Neste ponto, com exceção do Mercúrio e do Alumínio, todos os parâmetros ficaram abaixo dos valores detectados por este estudo.

Ainda em INEA (2015) no trecho equivalente ao Trecho-II foram encontrados valores de: 40,4 mg/Kg para Chumbo; 41,3 mg/Kg para Cobre; 90,4 mg/Kg para Cromo; 31957 mg/Kg para Ferro; 166 mg/Kg para Zinco e 50696 mg/Kg para Alumínio. Com exceção do Alumínio, por não possuir padrão de referência, todas amostras violaram os padrões internacionais. Neste ponto os valores superaram os encontrados neste estudo. Já o trabalho de (COELHO, 2012) apresentou nos anos de 1986 a 1987, na região de Barra Mansa concentrações de Mercúrio e Cádmiu, respectivamente, de 0,12 mg/kg e <1,0 mg/g. Esses valores foram equivalentes ao encontrado no Ponto 4b, o mais próximo do município supracitado.

CONCLUSÕES

A avaliação espacial dos parâmetros da qualidade de água e do sedimento indicou que o Trecho - I, sem ilhas, teve 16,4% das amostras de água e 14,4% de sedimento fora dos limites de referência utilizados no estudo, contra 18,7% e 9,2% do Trecho - II, com ilhas.

Entre os parâmetros da qualidade da água avaliados, que não apresentaram violações do limite legal no Trecho-I estavam: Temperatura da Água; DBO; Nitrogênio Amoniacal; pH; Cádmiu e Chumbo. No Trecho-II, foram: Temperatura; Oxigênio Dissolvido; Nitrogênio Amoniacal; pH; Cádmiu e Chumbo. Em relação ao Cádmiu e Chumbo houve análise apenas no mês 06/2016, de ambos os trechos, com seus valores contidos nos limites máximo permitidos pela resolução CONAMA.

Os parâmetros da qualidade da água mais críticos identificados foram Coliformes Termotolerantes e Fósforo, apresentando média amostral fora dos limites de referência, em ambos os trechos. No caso dos metais, devido à baixa amostragem, não foi possível diagnosticar com margem de segurança se há impacto no manancial. Quanto ao sedimento, o Ferro, Cromo e Mercúrio foram os parâmetros mais críticos, segundo padrões internacionais.

O Trecho-I (sem ilhas) apresentou valores relativamente melhores para a qualidade da água. No caso dos sedimentos, o Trecho-II (com ilhas) foi o que apresentou melhores condições, possivelmente pela menor taxa de industrialização, e principalmente pela maior capacidade depurativa gerada pelas rochas submersas que melhoram a taxa de oxigenação do manancial.

Apesar do impacto crônico que o rio Paraíba do Sul vem sofrendo por décadas, ele ainda se mostra resiliente possivelmente à vazão perene e a boa capacidade depurativa. No entanto, essas características naturais do rio não devem respaldar o excesso de diluição de efluentes doméstico/ou industriais no manancial. É urgente priorizar investimentos em coleta e tratamento de esgoto, especialmente o de origem urbana. Tais ações não são fáceis de serem implantadas devido aos altos custos para o tratamento de efluentes no Brasil, aliado a morosidade política e pelo pouco cuidado que a população tem com esse importante manancial hídrico.

AGRADECIMENTOS

À Superintendência do Médio Paraíba do Sul pelo auxílio nas coletas de sedimento, à Gerência de Qualidade da Água pelo fornecimento dos dados da água, ambas do Instituto Estadual do Ambiente do estado do Rio de Janeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BORSOI, Z. M. F., & TORRES, S. D. A. (1997). A política de recursos hídricos no Brasil. *Revista do BNDES*, 4 (8), 143-166.
2. BRASIL. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Alterado pela Resolução CONAMA 397/2008. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/conama>. Acesso em: 04 set. 2016.
3. BRASIL. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Disponível em: http://www.legislacao.mutua.com.br/pdf/diversos_normativos/conama/2011_CONAMA_RES_430.pdf. Acesso em: 04 set. 2016.
4. CANADA. Canadian Environmental Quality Guidelines, 2002, Summary of Existing Canadian Environmental Quality Guidelines. Summary Table, December 2003. 7p. Disponível em: http://www.ccme.ca/assets/pdf/sedqg_summary_table.pdf. Acesso em: setembro de 2016.
5. CARVALHO, N.O.; FILIZOLA JUNIOR, N.P.; SANTOS, P.M.C.; LIMA, J.E.F.W. Guia de práticas sedimentológicas. 154p. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/documents/656835/14876406/Guia_praticas_seidmentometricas_2000.pdf/dca52959-c3cf-4fa0-88bc-e9166e7d3c03. Acesso em setembro de 2017.
6. CEIVAP, 2014; Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul e Planos de Ação de Recursos Hídricos das Bacias Afluentes. Relatório de Diagnóstico, Tomos I, II e III. COHIDRO – Consultoria Estudos Projetos – maio de 2014.
7. COELHO, V. M. B., 2012: Paraíba do Sul: um rio estratégico. 1ª ed. Rio de Janeiro: Casa da Palavra, 2012. 336p.
8. ESTEVES, F. A. 1988: Fundamentos de Limnologia. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 1988. 574p.
9. FREITAS, M.B., BRILHANTE, O. M. & ALMEIDA, L. M. Importância da análise de água para a saúde pública em duas regiões do Estado do Rio de Janeiro: enfoque para coliformes fecais, nitrato e alumínio. *Cad. Saúde Pública*, Rio de Janeiro, 17 (3): 651-660, mai-jun, 2001. <http://www.scielo.br/pdf/csp/v17n3/4647.pdf>
10. GEO BRASIL, 2007. Recursos Hídricos – Componente da Série de Relatórios sobre o Estado e Perspectivas do Meio Ambiente no Brasil. MMA/ANA/PNUMA – 267p.
11. INEA, 2015. Avaliação Ambiental do Rio Paraíba do Sul Trecho Funil – Três Rios. Instituto Estadual do Ambiente – INEA, Superintendência Regional do Médio Paraíba. Rio de Janeiro. Caderno Técnico; junho 2015. 1ª revisão; 130p
12. MALM, O., PFEIFFER, W. C., FISZMAN, M., & AZCUE, J. M., 1988. Transport and availability of heavy metals in the Paraíba do Sul-Guandu river system, Rio de Janeiro state, Brazil. *Science of the Total Environment*, The, 75(2-3), 201–209. [http://doi.org/10.1016/0048-9697\(88\)90033-2](http://doi.org/10.1016/0048-9697(88)90033-2)
13. TOROGO, 2006: Qualidade da Água e Integridade Biótica: Estudo de Caso num Trecho Fluminense do Rio Paraíba do Sul. Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente; Mestrado em Engenharia Ambiental.
14. TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; RODRÍGUEZ, S. L. Gerenciamento e Recuperação das Bacias Hidrográficas dos Rios Itaqueri e do Lobo e da Represa Carlos Botelho (Lobo-Broa). IIE, IIEGA, PROAQUA, ELEKTRO, 2003.
15. WISCONSIN. Department of Natural Resources, 2003, Consensus-Based Sediment Quality Guidelines. Madison, WI. December, 2003. 40 p. Disponível em: http://dnr.wi.gov/org/aw/rr/technical/cbsqg_interim_final.pdf. Acesso em: setembro de 2016.