

## CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO TIETÊ ENTRE PIRAPORA DO BOM JESUS E SALTO

*João Rafael Bergamaschi Tercini<sup>1\*</sup>; Arisvaldo Vieira Mélo Júnior<sup>2</sup>*

**Resumo** – O trecho do rio Tietê entre as cidades de Pirapora do Bom Jesus e Salto é conhecido por ser muito poluído, além de apresentar o fenômeno de formação de espumas, isso devido a receber o aporte de carga de toda região metropolitana de São Paulo, mesmo assim o trecho apresenta pouca literatura no que diz respeito a sua caracterização, sendo estas com poucos pontos de amostragem. O presente trabalho tem o objetivo de divulgar a caracterização da qualidade da água do trecho de aproximadamente 83 quilômetros, para as variáveis de OD, DBO<sub>5,20</sub> e temperatura, conforme o monitoramento feito ao longo do ano de 2012 com frequência mensal em 9 pontos diferentes. Espera-se com isso subsidiar possíveis modelos matemáticos que venham a ser desenvolvidos para estudos ambientais na região. A análise dos dados mostrou que o trecho é um exemplo de autodepuração de corpos d'água recuperando o valor de OD da ordem de 0 para 6 mg/L e decaindo a DBO da ordem de 30 para 10 mg/L ao longo do trecho.

**Palavras-Chave** – rio Tietê, qualidade da água, monitoramento.

## WATER QUALITY CHARACTERIZATION OF TIETÊ RIVER BETWEEN PIRAPORA DO BOM JESUS AND SALTO

**Abstract** – The stretch of Tietê river between the towns of Pirapora do Bom Jesus and Salto is known to be heavily polluted, besides presenting the foaming phenomenon, this is due to receive the input load of the entire metropolitan area of São Paulo, nonetheless the stretch shows little literature regarding the characterization, which are with few sampling points. This paper aims to disseminate the characterization of water quality in the stretch of about 83 kilometers, to the variables of DO, BOD<sub>5,20</sub> and temperature, according to the monitoring done during the year 2012 with monthly frequency in 9 different points. It is hoped that this support possible mathematical models that will be developed for environmental studies in the region. The analysis showed this stretch of river is an example to self-purifying of water bodies bringing the DO value of the order of 0 to 6 mg/L, and BOD to decrease the order of 30 to 10 mg/L along the stretch.

**Keywords** – Tietê river, water quality, monitoring.

### INTRODUÇÃO

A água é o recurso natural mais importante para a espécie humana, pois além de ser elemento fundamental para a vida, é necessário em todas as atividades desenvolvidas pelo homem, de maneira a trazer melhoria das condições econômicas, sociais e ambientais. Ou seja, além das necessidades biológicas, como alimento, higiene, irrigação e dessedentação de animais, a água é necessária à geração de energia elétrica, em diversos processos industriais e construtivos, na navegação, limpeza em geral e certas vezes utilizada como meio de transporte de resíduos. E conseqüentemente os múltiplos usos da água têm aspectos quantitativos e qualitativos. Segundo Pivelli e Kato (2005); Branco (1991); e Benetti e Bidone (2002).

<sup>1</sup> Aluno de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, joao.tercini@usp.br

<sup>2</sup> Professor do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, arisvaldo@usp.br

Devido à importância da água para a sobrevivência, a lógica utilizada no processo histórico de seleção do local para estabelecimento de uma aldeia ou povoado para diversas civilizações foi a proximidade de corpos d'água. Gorski (2010) cita alguns exemplos: entre os rios Tigre e Eufrates constituíram-se as cidades da Mesopotâmia; as cidade egípcias ao longo do rio Nilo; as civilizações greco-romanas junto a bacia do Mediterrâneo e ao rio Tibre; e as cidades medievais europeias – Londres ao longo do rio Tâmsa, Paris do rio Sena, Viena e Budapeste do rio Danúbio e Praga ao longo do rio Vltava.

Conforme Kahtouni (2004) o caso da cidade de São Paulo não foi diferente. Fundada em 1554, estabeleceu-se entre os rios Tamanduaeté e Anhangabaú, por quase três séculos. Com o ciclo do café a cidade começa a crescer num ritmo acelerado e apresenta vários investimentos em infraestrutura urbana, como pontes, linhas de trem, saneamento, entre outros. Posteriormente, no século XX, a industrialização, impulsionada pela oferta de energia elétrica na região, gerou uma demanda por terras urbanas que levou a cidade a ampliar-se e a situar entre os rios Tietê e Pinheiros. Nos dias atuais a cidade ultrapassa os limites físicos destes corpos d'água para além das fronteiras políticas do município, configurando uma metrópole.

O rio é o ponto mais baixo de sua bacia hidrográfica, conseqüentemente a gravidade leva junto com as águas outros componentes para sua calha, causando impactos ambientais. Uma vez que as cidades geram esgoto e lixo inerentes a suas atividades, quanto mais próximo um corpo d'água estiver situado de uma cidade e quanto maior essa for, pior é a qualidade da água. O rio Tietê é um exemplo claro dessa consequência. O índice de qualidade da água classifica de 0 a 100, a partir da integração de variáveis de qualidade específicas, a situação geral do corpo d'água. Os resultados mais recentes apresentaram IQA em média 22 no reservatório de Pirapora para o ano de 2012, ou seja, as águas do rio Tietê após passar pela Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) foram consideradas ruins nesse período segundo CETESB (2013).

Os corpos d'água submetidos a esses impactos ambientais tem capacidade de retornar às condições ecológicas iniciais. Tal processo é denominado autodepuração, que decorre da associação de vários processos de natureza física (diluição, sedimentação e aeração atmosférica), química (oxidação) e biológica (decomposição e fotossíntese). Portanto, diz-se que o corpo d'água depurou-se no ponto em que a matéria orgânica está completamente estabilizada e o oxigênio consumido foi recuperado. Já do ponto de vista prático para engenharia ambiental, a água estará depurada quando suas características quantitativas estiverem enquadradas nos padrões estabelecidos para os usos pretendidos da água.

Esse trecho em estudo, com pouco mais de 80 km de extensão, apresenta o fenômeno da autodepuração de corpos d'água, sendo que os valores de oxigênio dissolvido no início do trecho são muito próximos de zero, já o ponto mais distante da RMSP os valores são da ordem de 6 mg/L. Por outro lado, levando-se em consideração o IQA que é representado por mais variáveis de qualidade da água, a melhora não é tão significativa, passando de 22 no início para 36 no final do trecho segundo CETESB (2013), ou seja, ambos estão classificados como ruins. Contudo esse trecho carece de estudos tanto do ponto de vista qualitativo quanto quantitativo da água.

## **METODOLOGIA**

O trabalho compreende em estudar o trecho do rio Tietê entre os municípios de Pirapora do Bom Jesus e Salto, como pode ser visto na Figura 1 a área de estudo dentro do território nacional, caracterizando as variáveis de qualidade da água de oxigênio dissolvido (OD) e demanda bioquímica de oxigênio de 5 dias a temperatura de 20 °C (DBO<sub>5,20</sub>).



Figura 1 – Localização da área de estudo no contexto brasileiro

A figura acima mostra o estado de São Paulo dentro do Brasil, depois detalha melhor as Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHIs) do mesmo estado, destacando a UGRHI 10 do Médio Tietê e Sorocaba. Diminuindo a escala aponta-se a área da sub-bacia correspondente ao trecho do rio Tietê do presente trabalho, o qual tem como condições de contorno inicial o reservatório de Pirapora no rio Tietê e um ponto próximo a foz representando o rio Jundiáí.

O monitoramento para a caracterização do trecho se deu ao longo do ano de 2012 com a frequência mensal, portanto totalizam 12 campanhas, nos dias: 19 de janeiro; 23 de fevereiro; 7 de março; 17 de abril; 15 de maio; 26 de junho; 12 de julho; 16 de agosto; 20 de setembro; 25 de outubro; 2 de novembro; 5 de dezembro. A Tabela 1 apresenta os pontos de monitoramento deste estudo, onde foram medidas as concentrações de OD e  $DBO_{5,20}$ , além da temperatura da água.

Tabela 1 – Pontos de monitoramento.

Ponto	Identificação	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Rio
1	Reservatório Pirapora	-23,391667	-46,994806	694	Tietê
2	Ponte de Pirapora	-23,395917	-47,004778	684	Tietê
3	Reservatório Rasgão	-23,382944	-47,029306	675	Tietê
4	Mesas na estrada dos Romeiros	-23,349639	-47,044806	666	Tietê
5	Ponte do sítio em Cabreúva	-23,300861	-47,167611	600	Tietê
6	Reservatório São Pedro	-23,280833	-47,240333	553	Tietê
7	Reservatório Porto Góes	-23,209889	-47,296917	524	Tietê
8	Ponte dos Pescadores	-23,203833	-47,302111	498	Tietê
9	Ponte da Eucatex em Salto	-23,205750	-47,286444	530	Jundiáí

A tabela acima mostra os nove pontos de monitoramento, sendo oito deles localizados no rio Tietê e um no rio Jundiáí. A latitude, longitude e altitude foram adquiridas utilizando o equipamento Garmin GPSMAP 76S. Nos reservatórios de Pirapora, Rasgão e Porto Góes foram realizadas duas medidas e amostragens, uma de superfície (1 metro abaixo da superfície) e outra de fundo (1 metro acima do fundo), com a finalidade de verificar estratificação dos reservatórios. O mapa da área de estudo é apresentado na Figura 2.

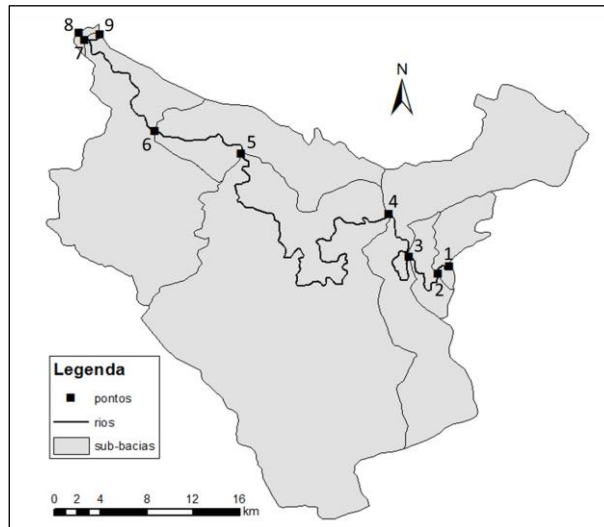


Figura 2 – Mapa dos pontos de monitoramento e as sub-bacias incrementais do trecho em estudo.

O mapa acima especifica o trecho do rio Tietê e Jundiá, a localização dos pontos de monitoramento e as sub-bacias entre um ponto de monitoramento e outro. A Figura 3 tem o intuito de ilustrar o trecho do ponto de vista prático para modelagem.

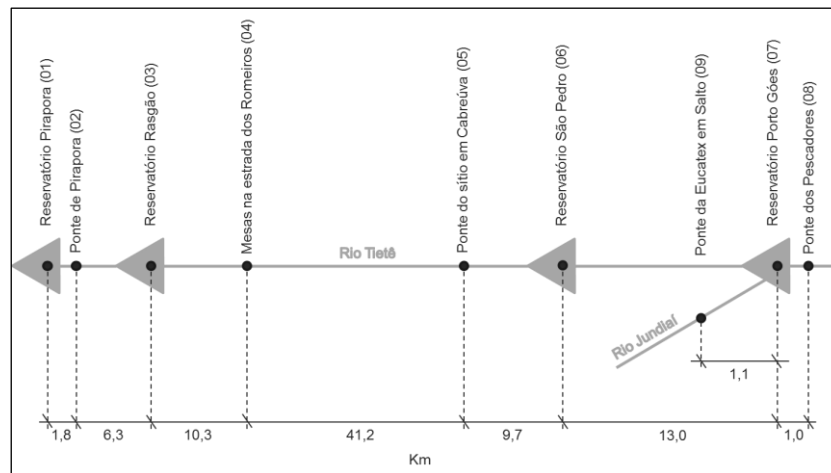


Figura 3 – Esquema unifilar dos trechos de rios do estudo de caso.

A figura acima apresenta o esquema unifilar dos trechos do rio Tietê e Jundiá, com as distâncias entre os pontos de monitoramento, tal distância foi medida através das imagens do Google™ earth. Buscou-se alocar os pontos de maneira a representar os reservatórios e logo a jusante, pois havia uma hipótese de que a descarga dos reservatórios aerava as águas, e isso foi comprovado nos resultados. Outro fator de alocação era o espaçamento e facilidade de acesso ao local da coleta, por exemplo pontes que cortam o rio Tietê são raras nesse trecho e todas foram exploradas, incluindo as de domínio particular que é o caso do ponto 5. O trecho entre o ponto 4 e 5 destoa dos demais, com mais de 40 km, devido as dificuldades de acesso, nesse trecho há estradas compatíveis com nosso veículo e vegetação densa. As medidas de OD e temperatura da água foram adquiridas com o equipamento YSI Model 55 no próprio local, já as coletas e análises de DBO foram realizadas conforme metodologia padronizada pelo Standard Methods, respeitando tempo e condições de transporte das amostras, a Figura 4 e Figura 5 ilustram essa etapa do trabalho.



Figura 4 – Materiais de coleta.



Figura 5 – Laboratório para análises.

Conforme as figuras acima os materiais utilizados na coleta foram basicamente caixa térmica com gelo, garrafas de polietileno de 1L, oxímetro de campo, luvas e garrafa Hale, além do veículo utilizado para a locomoção e transporte das amostras. Já as análises da DBO foram realizadas no Laboratório de Saneamento Prof. Lucas Nogueira Garcez da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, sendo utilizados: oxímetro de bancada, incubadora de DBO operando em temperatura de 20°C, aerador, garrafa para água de diluição com sistema de sifão, frascos de DBO, vidrarias graduadas, água destilada e soluções de sulfato de magnésio, cloreto de cálcio, cloreto férrico e tampão de fosfato para preparação da água de diluição.

Os valores de OD coletados com a garrafa precisaram ser ajustados, devido à interferência que a garrafa causa no momento da coleta para esta variável, por conter ar em seu interior e ocorrer turbilhonamento no momento da entrada de água. Essa característica foi percebida após o terceiro mês de coleta, portanto de abril em diante resolveu-se medir o OD diretamente no corpo d'água e com auxílio da garrafa em todos os pontos possíveis para avaliar uma a correlação que se mostrou linear, como a mostra o ajuste da Figura 6, e assim utilizou-se essa correlação para os pontos onde não foram medidos diretamente o OD.

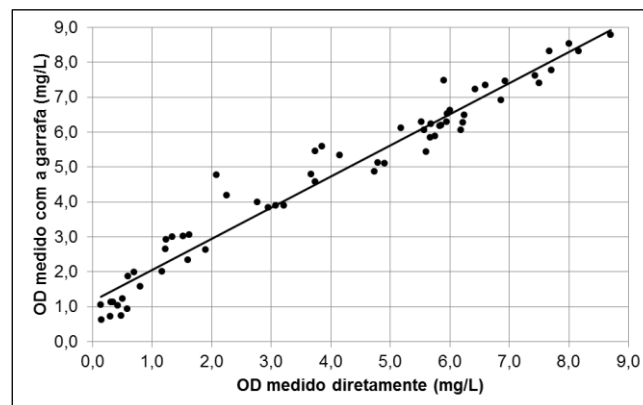


Figura 6 - Gráfico da correlação entre os valores medidos com a garrafa e diretamente no rio.

A regressão linear ajustada para os dados com coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,95 é apresentada na Equação 1, onde OD é concentração de oxigênio dissolvido medido diretamente e ODgarrafa é concentração de oxigênio dissolvido medido com a garrafa.

$$OD = 1,08 \times OD_{garrafa} - 1,07 \quad (1)$$

Com essa correlação foram ajustados os dados de OD medidos com ajuda da garrafa Hale, até o mês de março somente o ponto 4 fora medido diretamente, portanto para o restante aplicou-se tal correlação, de abril em diante somente no ponto 1 na superfície e fundo, o ponto 3 no fundo, o ponto 7 no fundo e o ponto 9 fora aplicada tal correlação, devido a limitação do equipamento de alcançar diretamente tais locais.

## RESULTADOS

A Tabela 2 traz os valores das variáveis monitoradas. Sendo que o ponto 1 na medida à 1 m do fundo não pôde ser feita no mês de Janeiro, devido a corda da garrafa de coleta ser curta e não atingir a profundidade necessária, sendo que nos meses posteriores o problema foi corrigido.

Tabela 2 – Valores das variáveis monitoradas em cada campanha.

Ponto	Variável	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Ponto 1 superfície	OD (mg/L)	0,60	0,33	1,04	0,71	0,00	0,03	0,08	0,12	0,46	0,49	1,19	0,73
	DBO5,20 (mg/L)	13	28	21	50	32	18	28	45	64	25	47	25
	Temp. (°C)	22,5	24,5	25,3	23,8	19,3	18,6	18,9	20,4	23,6	25,1	25,5	26,7
Ponto 1 fundo	OD (mg/L)	-	0,31	0,95	0,47	0,51	1,84	0,93	0,76	0,72	0,00	0,22	0,52
	DBO5,20 (mg/L)	-	25	22	63	30	18	28	43	62	30	47	45
	Temp. (°C)	-	24,6	24,7	24,0	19,6	18,5	18,7	20,4	23,4	25,9	25,7	26,5
Ponto 2	OD (mg/L)	4,57	2,51	5,80	3,01	4,15	5,90	3,86	2,77	1,52	3,67	1,34	3,74
	DBO5,20 (mg/L)	17	22	20	41	29	17	26	43	49	22	38	22
	Temp. (°C)	22,7	25,4	24,8	23,9	19,7	18,6	19,0	20,3	24,1	24,1	25,5	26,4
Ponto 3 superfície	OD (mg/L)	3,50	0,07	2,46	0,33	0,31	3,08	1,60	0,15	0,43	0,51	0,59	1,23
	DBO5,20 (mg/L)	15	14	17	28	28	16	17	41	42	22	32	16
	Temp. (°C)	23,2	26,5	25,8	24,4	20,3	19,8	19,5	21,2	24,0	23,9	26,0	26,0
Ponto 3 fundo	OD (mg/L)	3,35	0,12	3,08	1,41	0,62	4,56	2,37	1,22	0,49	1,23	0,98	2,61
	DBO5,20 (mg/L)	15	14	27	27	30	16	16	40	44	22	35	19
	Temp. (°C)	23,2	26,2	25,2	24,5	20,5	19,0	19,6	21,2	24,1	25,0	26,0	25,9
Ponto 4	OD (mg/L)	3,33	0,93	2,27	0,70	0,48	3,22	1,90	0,14	0,30	0,80	0,35	1,17
	DBO5,20 (mg/L)	23	10	16	30	25	14	14	38	38	19	32	13
	Temp. (°C)	23,1	26,2	24,9	24,6	20,2	18,8	19,2	21,4	23,9	24,4	25,8	25,9
Ponto 5	OD (mg/L)	2,98	2,66	4,31	3,74	1,24	5,52	4,73	0,60	1,62	2,08	2,25	2,95
	DBO5,20 (mg/L)	10	6	17	15	21	11	10	24	28	10	20	10
	Temp. (°C)	23,8	26,5	25,8	23,8	20,7	19,1	18,9	21,5	22,8	24,6	25,1	26,1
Ponto 6	OD (mg/L)	3,34	3,71	6,25	5,85	6,86	8,01	7,71	6,00	4,91	6,19	6,22	5,67
	DBO5,20 (mg/L)	10	9	14	17	18	11	9	21	27	9	16	9
	Temp. (°C)	24,8	27,2	26,2	25,0	20,5	19,3	19,1	21,1	24,0	24,7	25,4	26,4
Ponto 7 superfície	OD (mg/L)	3,97	3,50	5,06	6,24	6,43	8,16	7,50	5,57	4,79	5,68	5,83	5,60
	DBO5,20 (mg/L)	8	8	18	20	19	12	11	20	21	8	26	16
	Temp. (°C)	24,6	27,8	26,0	25,8	20,6	19,4	19,1	21,4	23,7	24,5	24,8	26,3
Ponto 7 fundo	OD (mg/L)	3,33	3,82	5,29	6,00	7,09	7,89	7,43	5,87	4,51	5,18	5,66	5,11
	DBO5,20 (mg/L)	7	10	16	22	18	10	11	20	22	8	24	17
	Temp. (°C)	24,4	27,9	25,9	25,2	20,5	19,3	19,1	21,4	23,8	24,5	25,0	26,8
Ponto 8	OD (mg/L)	4,94	4,69	5,95	6,33	7,39	8,70	7,67	6,60	5,96	6,93	5,95	5,75
	DBO5,20 (mg/L)	10	10	20	20	18	12	13	20	23	7	21	18
	Temp. (°C)	25,3	28,6	27,1	25,8	20,5	19,8	19,1	21,9	23,4	25,1	24,9	26,5
Ponto 9	OD (mg/L)	4,40	4,04	3,50	4,72	5,54	7,13	6,00	4,61	2,55	5,32	4,29	3,65
	DBO5,20 (mg/L)	12	25	63	51	25	15	21	26	51	3	55	32
	Temp. (°C)	24,8	27,2	26,4	25,7	19,5	18,9	18,7	21,2	24,0	23,1	24,5	26,7

A tabela acima mostrou os valores das variáveis monitoradas com suas respectivas unidades para cada campanha realizada em 2012. Ficou verificado que não há disparidade nos valores das variáveis entre as medidas de superfície e fundo, logo atribuímos que estes reservatórios não estratificaram e o valor para representação do ponto é a média entre ambos. Para melhor representar o trecho do rio Tietê foram traçados os gráficos dos perfis de OD (Figura 7) e DBO<sub>5,20</sub> (Figura 8), com o intuito de ter uma espacialização dos dados ao longo do trecho mostrando as estatísticas em forma de box-plot com valores: mínimo, 1º quartil, mediana, 3º quartil e máximo.

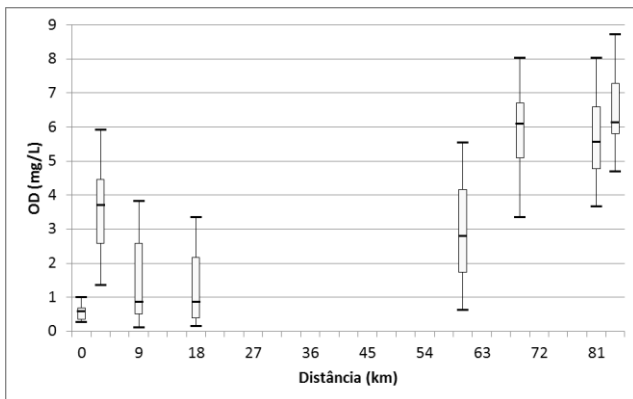


Figura 7 – Perfil do OD no trecho.

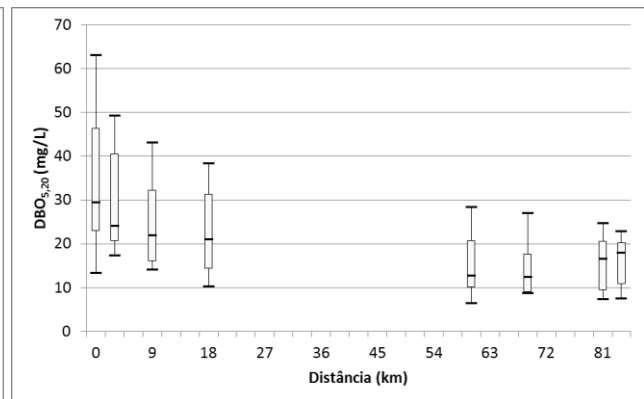


Figura 8 – Perfil de DBO<sub>5,20</sub> no trecho.

Os valores de OD no reservatório de Pirapora (ponto 1) são muito baixos e apresentam melhora logo a jusante da barragem (ponto 2) devido a aeração sofrida no dissipador de energia dos descarregadores, porém o OD é rapidamente consumido pela grande demanda ao longo do rio e vai sendo recuperado de maneira natural (pontos 3, 4, 5 e 6). No reservatório de Porto Góes, confluência com o rio Jundiáí, os valores de OD apresentam piora e logo a jusante da barragem sobe devido ao mesmo motivo de aeração nos vertedores.

Os valores de DBO<sub>5,20</sub> decaem naturalmente do início até o reservatório de São Pedro (pontos 1, 2, 3, 4, 5 e 6), devido ao próprio consumo da matéria orgânica, também a diluição desta pela vazão natural das respectivas sub-bacias dos trechos e também por não apresentar lançamentos de magnitude relevante. Porém no reservatório de Porto Góes, que ocorre a mistura com as águas do rio Jundiáí, os valores dessa variável aumentam e são praticamente idênticas nos pontos 7 e 8, porque a distância entre eles é pequena. Não foi mostrado o perfil de temperaturas, pois essa é praticamente constante ao longo do trecho de rio.

## CONCLUSÕES

O objetivo de divulgar a caracterização da qualidade da água do trecho de aproximadamente 83 quilômetros do rio Tietê, para as variáveis de OD, DBO<sub>5,20</sub> e temperatura, foi alcançado. E conclui-se que os dados levantando por essas campanhas realizadas em 2012 representam e caracterizam a qualidade da água no trecho entre Pirapora do Bom Jesus e Salto, sendo realizadas com equipamentos devidamente calibrados e métodos consagrados, também é observado que a quantidade e distribuição espacial dos pontos ao longo do rio foi adequada, e o resultado desse trabalho pode ser utilizado em calibração de modelos matemáticos, gerando informações confiáveis.

Foi observado que os reservatórios desse trecho não estratificam, e os dados mostram que os valores de OD e DBO estão bastante interligados, como deveria ser, com tendência de melhorar a qualidade das águas do rio Tietê até o ponto 6 (Reservatório São Pedro) e após confluência com o

rio Jundiáí sofre uma leve piora. Os pontos 2 e 8, que são logo a jusante de barramentos, comprovaram a importância da aeração causada pelos dissipadores de energia das descargas de fundo ou dos vertedores. Já a temperatura mostrou não variar no trecho em questão. A Figura 9 mostra o perfil do rio Tietê para as medianas dos valores de OD e DBO<sub>5,20</sub> ligando os pontos linearmente, e os valores das medianas para OD e DBO<sub>5,20</sub> medidos no rio Jundiáí.

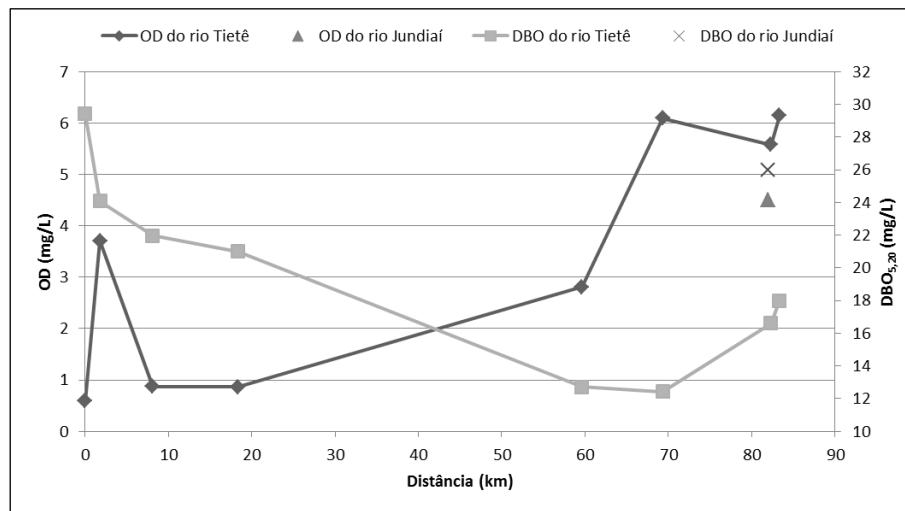


Figura 9 – Perfil das medianas de OD e DBO<sub>5,20</sub> no rio Tietê e valores do rio Jundiáí.

Conforme o gráfico acima fica comprovado que o trecho é um exemplo de autodepuração de corpos d'água, tendo 2 particularidades a serem levadas em consideração: (i) a aeração causada pela descarga dos barramentos e (ii) piora da qualidade da água após confluência com o rio Jundiáí, visto que apesar do OD no rio Jundiáí não ser tão baixo, os valores de DBO tem a ordem de grandeza do início do trecho do rio Tietê.

## REFERÊNCIAS

- BENETTI, Antonio e BIDONE, Francisco (2002). O meio ambiente e os recursos hídricos. In: *Hidrologia: ciência e aplicação*. Org. por Tucci, Carlos E. M., Editora da UFRGS, ABRH, Porto Alegre.
- BRANCO, M. Branco (1991). A água e o homem. In: *Hidrologia Ambiental*. Org. por Porto, Rubem La Laina, EDUSP, ABRH, São Paulo.
- CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (2013). *Qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo 2012*. CETESB, São Paulo.
- GORSKI, Maria Cecília Barbieri (2010). *Rios e Cidades: Ruptura e Reconciliação*. Senac, São Paulo.
- KAHTOUNI, Saide (2004). *Cidade das águas*. RiMa, São Carlos.
- PIVELLI, Roque Passos e KATO, Mario Takayuki (2005). *Qualidade das águas e poluição: Aspectos físico-químicos*. ABES, São Paulo.