

Caracterização limnológica da bacia de drenagem do Rio Sorocaba, São Paulo, Brasil

SMITH, W.S.* & PETRERE JR., M.**

* Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada, Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, e-mail:welber_smith@uol.com.br

** Departamento de Ecologia, UNESP-Rio Claro

RESUMO: Caracterização limnológica da bacia de drenagem do Rio Sorocaba, São Paulo, Brasil.

A bacia do rio Sorocaba possui uma área de drenagem de 5269 km² abrangendo 18 municípios. O crescente aumento populacional têm aumentado a carga de efluentes nos corpos d'água da bacia. O presente trabalho mostrou que todas as estações de amostragem apresentaram alterações nas características físicas e químicas seja para potabilidade como para a manutenção de organismos aquáticos. Também demonstrou que as variáveis pH, oxigênio dissolvido, temperatura, dureza total, nitrogênio amoniacal e nitrogênio nítrico não apresentaram diferenças entre as épocas seca e chuvosa. Além disso a análise de agrupamentos caracterizou a bacia separando as estações de coleta de acordo com as variáveis abióticas em três grupos: estações que recebem grande quantidades de efluentes; estações que recebem menores cargas de efluentes; estações que sofrem menores impactos pela poluição mas são impactadas pelo desmatamento, assoreamento e extração de areia.

Palavras-chave: Bacia hidrográfica; características limnológicas; poluição, rios e ecossistemas lóticos e lênticos

ABSTRACT: Limnological characterization of the Sorocaba river basin drainage, São Paulo, Brazil.

The Sorocaba River basin, embracing 18 cities, has a drainage area of 5,269 km². The increasing growth of the population has lead to a raise in the effluent discharge in the water bodies of the basin. The present work showed that all sampling stations presented physical and chemical alterations affecting the water quality for domestic use or as a suitable environment for maintenance of aquatic organisms. This study also revealed that pH, dissolved oxygen, temperature, total hardness of the water, ammonium nitrogen and nitric nitrogen did not present differences between the dry and rainy seasons. Furthermore, cluster analysis divided the basin in three groups according to the abiotic variables of the sampling stations: those receiving heavy quantities of effluents, less influenced by effluents and stations that are not polluted by effluent but are submitted to hazardous impacts due to deforesting, dumping and sand extraction.

Key words: hydrographic basin, limnological characteristics, pollution, lotic and lentic ecosystems

Introdução

As bacias hidrográficas tropicais e subtropicais são formadas por diferentes tipos de ecossistemas, como rios, riachos e lagoas marginais, cujas interações são pouco conhecidas (Margalef, 1974) e por isso merecem estudos para melhor compreensão de sua dinâmica, antes que a ação humana diminua a sua complexidade (Lowe-McConnell, 1987). Dentre as várias ações humanas, podemos destacar a devastação das matas ciliares, canalização, represamento e despejo de efluentes nos rios, que contribuem para modificar as características dos ecossistemas aquáticos (Welcomme, 1985).

O interior do estado de São Paulo se caracteriza pela grande ocorrência de municípios com população entre 100.000 e 500.000 habitantes. O crescimento desses municípios, tem provocado um aumento dos trechos poluídos, comprometendo a qua-

lidade da água captada à jusante das fontes poluidoras, já que a maioria desses municípios são abastecidos por águas superficiais (Camargo et al., 1995), sendo um dos maiores modificadores da diversidade e estrutura de habitats aquáticos (Johnson et al., 1995). Estes impactos, contribuem para a redução da heterogeneidade ambiental e a conseqüente redução da diversidade de espécies. Os ecossistemas aquáticos continentais são extremamente vulneráveis a esses impactos, sendo a emissão de efluentes orgânicos o maior responsável pelas alterações em ecossistemas aquáticos (Camargo et al., 1995). O presente trabalho teve como objetivo caracterizar a bacia do Rio Sorocaba utilizando variáveis físicas e químicas, bem como descrever os trechos mais críticos e os impactos nesses locais. Estas informações poderão ser utilizadas para monitoramento da qualidade da água bem como subsídios para futuros estudos e ações de recuperação.

Área de estudo

A área de estudo localiza-se no Estado de São Paulo, Brasil. A bacia hidrográfica do rio Sorocaba possui uma área de drenagem de 5.269 km², abrangendo 18 municípios: Araçoiaba da Serra, Boituva, Capela do Alto, Cerquilha, Cesário Lange, Cotia, Ibiúna, Iperó, Itu, Laranjal Paulista, Malrinque, Piedade, Salto de Pirapora, São Roque, Sarapuí, Sorocaba, Tatuí, Vargem Grande Paulista e Votorantim (São Paulo, 1990).

A rede hidrográfica é constituída pelo rio Sorocaba, percorrendo cerca de 180 km até atingir o trecho médio do rio Tietê, sendo o principal afluente de sua margem esquerda. Os rios Sorocamirim e Sorocabuçu são seus formadores e os rios Tatuí e Sarapuí seus principais afluentes da margem esquerda, enquanto que o rio Pirajibu é o seu principal afluente da margem direita. Já os rios Ipanema e Pirapora são afluentes de menor porte.

A água na bacia do rio Sorocaba é utilizada para o abastecimento público de 11 municípios, sendo que 3 utilizam-se de águas superficiais, 5 de mananciais subterrâneos e 3 com sistema misto. Somente o reservatório de Itupararanga abastece São Roque, Cotia, Vargem Grande Paulista, Malrinque, Ibiúna, Votorantim e Sorocaba. Também é utilizada para o abastecimento industrial, irrigação de plantações e recepção de efluentes de 150 indústrias.

Apenas 7 municípios possuem algum sistema de tratamento de efluente doméstico. A carga orgânica poluidora total é de 247,2 t DBO_{5,20}/dia (carga potencial) e 45 t DBO_{5,20}/dia (carga remanescente) (CETESB, 1996). Do total da carga poluidora orgânica remanescente na bacia, 81,5% são de origem doméstica e 18,5% são de origem industrial. Sorocaba e Votorantim são responsáveis por 70,1% da carga poluidora expressa em quilos de DBO por dia do total da bacia (Núcleo Engenharia Consultiva Ltda, 1993).

Ao todo foram estabelecidos 12 pontos de amostragem situados em 7 rios, sendo 4 pontos ao longo do rio Sorocaba e o restante nos seus afluentes (Fig. 1). A Tab. 1 relaciona os pontos e a localização geográfica dentro da bacia.

Tabela 1: Relação das estações de coleta, município a qual pertencem e as respectivas coordenadas geográficas (local-id= código do local).

Local-id	Rio	Município	Coordenadas
pi01	Pirapora	Salto de Pirapora	23°38'27"S 47°34'25"W
ip01	Ipanema	Salto de Pirapora	23°34'56"S 47°29'30"W
ip02	Ipanema	Araçoiaba da Serra	23°28'35"S 47°46'30"W
ip03	Ipanema	Iperó	23°24'56"S 47°46'30"W
so01	Sorocaba	Ibiúna	23°36'34"S 47°18'05"W
so02	Sorocaba	Votorantim	23°32'01"S 47°26'33"W
so03	Sorocaba	Sorocaba	23°26'10"S 47°26'28"W
ta01	Tatuí	Tatuí	23°21'45"S 47°48'30"W
rm01	Ribeirão dos macacos	Sarapuí	23°33'21"S 47°47'15"W
pj01	Pirajibú	Sorocaba	23°25'30"S 47°21'15"W
sa01	Sarapuí	Sarapuí	23°33'12"S 47°46'42"W
sa02	Sarapuí	Tatuí	23°24'02"S 47°45'32"W

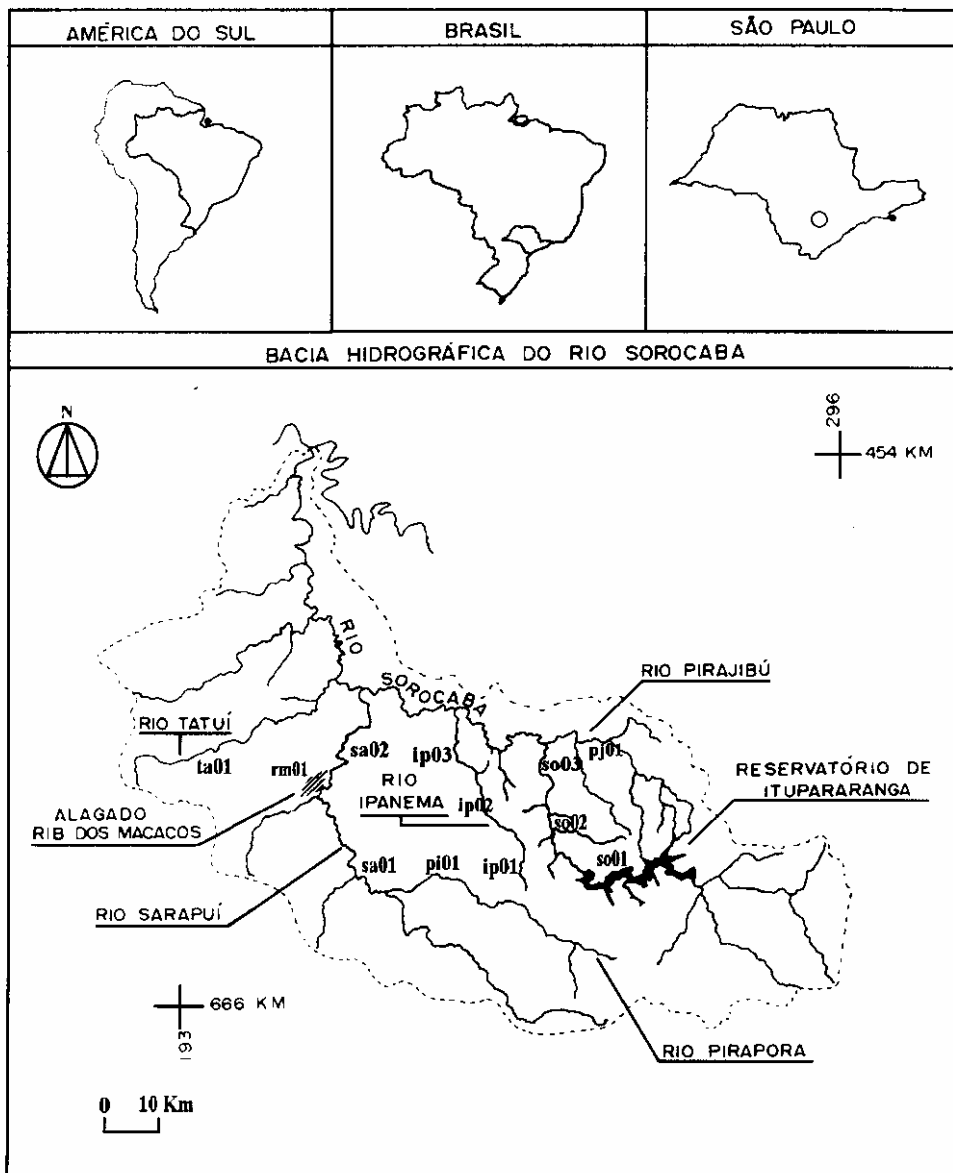


Figura 1: A bacia do rio Sorocaba, SP, Brasil e as estações de coleta.

Material e métodos

Ao todo foram medidas nos pontos de amostragem 20 variáveis abióticas, sendo realizada apenas uma amostragem nas duas épocas do ano, chuvosa (janeiro) e seca (julho) de 1995. Os valores de pH, temperatura e oxigênio dissolvido foram obtidos diretamente no local na superfície e nas margens de cada estações, utilizando um pHmetro (Digimed) para as medições de pH, e um oxímetro para oxigênio dissolvido e temperatura (Digimed). A profundidade foi obtido a partir de uma corda graduada com peso na ponta.

Além disso para cada estação foram realizadas coletas da água para análises dos seguintes parâmetros físicos e químicos: alcalinidade por bicarbonato, cloretos, cor,

dureza por carbonatos, dureza por não carbonatos, dureza total, ferro, gás carbônico, nitrogênio albuminóide, nitrogênio amoniacal, nitrogênio nítrico, oxigênio consumido, perda por calcinação, resíduo seco, resíduo fixo, turbidez. Estas variáveis foram utilizadas por serem realizadas comumente pelo Instituto Adolfo Lutz e por darem uma visão mais ampla podendo ser utilizadas na abordagem sanitária e ecológica. As análises foram realizadas no Instituto Adolfo, divisão de Bromatologia e Química - TL - BQ de Sorocaba, segundo a metodologia indicada por Eaton et al. (1995) e Pregnoiatto & Pregnoiatto (1985). A metodologia usada em cada análise é descrita na Tab. II.

Tabela II: Metodologia utilizada na obtenção das variáveis limnológicas.

VARIÁVEL	METODOLOGIA
Alcalinidade (por bicarbonatos)	Titulométrico com ácido sulfúrico
Cloreto	Titulométrico com nitrato de prata
Cor	Aparelho comparador-Aquatester
Dureza (carbonatos, por não carbonatos e total)	Titulométrico com EDTA
Ferro	Colorimétrico
Nitrogênio amoniacal e albuminóide	Destilação e reação colorimétrica
Nitrogênio nítrico	Colorimétrica- Ácido fenol dissulfônico
Oxigênio consumido	Titulométrico pelo permanganato de potássio em meio ácido
Resíduo seco e fixo	Método gravimétrico (105°C e 505°C)
Turbidez	Turbidímetro (Nefelométrico)
Gás carbônico	A partir da alcalinidade total e pH
Perda por calcinação	Matéria orgânica calcinada à 600 °C

Foi utilizado uma técnica estatística multivariada (cluster) para classificar as localidades de acordo com as variáveis físicas e químicas, utilizando a distância euclidiana e como método de ligação o UPGMA. Para as variáveis temperatura, pH, oxigênio dissolvido, nitrogênio albuminóide, nitrogênio amoniacal e dureza total, mais relacionadas a limnologia foi realizado um teste 't' pareado para verificar a existência de diferenças entre os valores obtidos nas épocas seca e chuvosa.

Resultados

Variação espacial das características limnológicas

As tabelas III e IV mostram os valores das variáveis físicas e químicas obtidos para cada estação de coleta. As variáveis turbidez, cor, resíduo seco, resíduo fixo apresentaram maiores valores na época chuvosa e os valores do cloreto estiveram maiores na época seca. As demais variáveis não demonstraram nítida diferença entre a época seca e chuvosa. A seguir são comparadas as estações de coleta em relação às variáveis físicas e químicas obtidas no presente estudo.

Na época chuvosa no rio Pirapora (pl01) observou-se que o valor do oxigênio dissolvido é mais elevado do que na época seca. Isto ocorreu devido a maior concentração de poluentes na época seca e devido a dificuldade de diluição dos efluentes pela diminuição do volume d'água do rio. Os valores de pH e temperatura também se apresentaram mais alto na época chuvosa. Os valores de nitrogênio amoniacal e albuminóide se mantiveram em excesso nas duas épocas do ano segundo valores recomendados pela EPA (1976) e OMS (1995), ocorrendo um aumento da época seca em relação a chuvosa. Isso se deve principalmente à emissão excessiva de poluentes orgânicos lançados nos trechos à montante, já que esse rio passa pelos municípios de Piedade e Salto de Pirapora. A turbidez apresentou baixos valores e as variáveis ferro, resíduo seco, resíduo fixo, dureza por carbonatos, CO₂ e nitrogênio nítrico apresentaram altos valores comparados com as outras estações.

Tabela III: Características físicas e químicas da água nos locais de coleta durante a época chuvosa (Janeiro/ 1995). (tag= temperatura da água (C); pH= potencial hidrogeniônico; od= oxigênio dissolvido (mg/l); turb= turbidez; cor= cor da água; fe= ferro (mg/l); clor= cloro (mg/l); res= resíduo seco (mg/l); rfix= resíduo fixo (mg/l); pcal= perda por calcinação (mg/l); albi= alcalinidade de bicarbonatos (mg/l em CaCO₃); duca= dureza de carbonatos (mg/l em CaCO₃); duto= dureza total (mg/l em CaCO₃); dunc= dureza de não carbonatos (mg/l em CaCO₃); co₂= gás carbônico (mg/l); oc= oxigênio consumido (mg/l); namo= nitrogênio amoniacal (mg/l); nalb= nitrogênio albuminóide (mg/l); nnitri= nitrogênio nítrico (mg/l); pro= profundidade

local	tag	pH	od	turb	cor	fe	clor	ress	rfix	pcal	albi	duca	duto	dunc	co2	oc	namo	nalb	nnitri	pro
pi01	22	7,2	5,3	6,1	60	3	4	199	160	39	41,9	41,9	51,7	9,8	5,5	6,9	0,2	1,2	0,6	2,5
ip01	15	7,1	5,6	50	100	0,7	4	153	100	53	74	74	80,8	6,8	13	3,2	0,4	0,9	0,01	1
ip02	26	6,3	6,2	50	100	2,7	4	118	100	18	33,8	33,8	36,6	2,5	35	0,8	0,4	0,8	0,2	1
ip03	21	7,7	5,8	1,5	10	1,8	4	96	60	36	35,7	30,1	30,1	0	1,4	1,2	0,4	0,9	0,9	1
so01	25	7,5	6,2	14,8	10	0,7	6	133	290	33	24,5	24,5	32,1	7,5	1,6	2,7	0,09	0,8	0,2	0,8
so02	24	7,8	5,2	9,9	5	0,3	18	396	40	106	98,2	26,1	26,1	0	3	1,5	0	3,1	0,6	2,5
so03	22	7,4	4,7	14,8	40	0,9	0,4	59	160	19	21,1	21,1	30,3	9,1	42	5,2	0,07	0,9	0,2	3
ta01	23	6,8	5,1	4,6	20	8	0,3	194	600	34	46,5	46,5	60,6	14	16	3,2	0,06	0,8	0,2	1,8
rm01	21	6,7	6,7	50	100	1,3	4	743	120	143	27,2	24,8	24,8	0	11	12,5	0,7	1,8	0,3	1,9
pj01	20	6,1	5,1	32,5	100	2,7	14	154	102	34	54,9	42,4	42,4	0	0	1,2	0,11	1,8	0,7	1
sa01	18	7,2	6,3	20,5	100	0,8	6	249	200	49	41,9	41,9	43,4	1,6	5,4	15,5	0,7	2,3	0,6	1,9
sa02	18	6,5	5,9	11,3	10	0,8	6	104	60	44	29	29	26,1	0	18	2	0,4	3,4	0,2	2

Tabela IV: Características físicas e químicas da água nos locais de coleta durante a época seca (julho/ 1995). (significado das variáveis, ver legenda Tab. III)

local	tag	pH	od	turb	cor	fe	clor	ress	rfix	pcal	albi	duca	duto	dunc	co2	oc	namo	nalb	nitri	pro
pi01	19,2	6,4	4,4	2,9	10	1,1	8	184	123	41	69,1	62,2	62,2	0	60	2,5	0,6	1,3	0,23	2,2
ip01	21	7,5	5,3	1,5	10	0,5	8	100	70	30	60,2	60,2	66,2	8	4	1	0,2	1,2	0,01	1,4
ip02	20,5	7,5	6	1,5	10	0,5	8	100	70	30	60,2	60,2	66,2	8	4	1	0,2	1,2	0,01	1,5
ip03	22	6,4	6,1	8,1	10	0,8	6	40	28	12	26,7	26,7	36,1	9,3	26	1,7	0,7	2,3	0,2	1
so01	18,7	6,4	6	33	80	0,7	8	93	70	23	18,8	16,5	16,5	0	2,3	3	0,8	0,7	0,3	4
so02	18	5,7	5,5	2,9	10	0,4	10	72	59	13	26,7	26,7	32,1	5,3	0	2,4	0,3	0,7	0,01	2,8
so03	24,5	7,1	5,4	3,9	20	0,1	14	66	51	15	31,2	31,2	54,2	22,9	6	1	0,1	2,2	1,7	1
ta01	15,3	7,2	4,5	7,5	10	0,7	6	88	62	28	33,4	33,4	44,1	10,7	4,3	1,2	0,2	2,3	0,5	2,5
rm01	21,5	6,3	6,9	1,2	5	0,5	4	24	12	8	17,8	17,8	20	2,2	18	1,3	0,8	2,8	0,01	2,8
pj01	19,3	7,4	3,8	2,9	5	1,1	14	202	102	100	33,4	33,4	46,1	12,7	2,6	2,2	0,2	2,4	6,3	1,9
sa01	14,9	6,4	6,6	6,9	5	0,3	6	80	56	24	35,7	35,7	36,1	0,4	30	1,2	0,6	2,8	0,3	3,5
sa02	15,3	7,4	7,4	2,6	10	1,1	8	84	59	25	31,2	31,2	40,1	8,9	2,5	1,2	0,3	3,3	0,4	3

A água do rio Ipanema nas 3 localidades (ip01, ip02 e ip03) apresentou-se levemente opalescente e não apresentaram odor. Os valores do oxigênio dissolvido tiveram uma pequena variação entre as duas épocas do ano, sendo que os valores de oxigênio dissolvido foram influenciados pela temperatura e vazão da água nas estações ip02 e ip03. Isso foi verificado pela maior oxigenação da água, quando os valores da temperatura foram os menores. O pH se manteve entre 6,3 e 7,6, sofrendo a sua maior variação nas estações ip01 e ip03. Os valores de nitrogênio amoniacal e nitrogênio albuminóide apresentaram os valores mais baixos entre todas as estações amostradas ao longo do trabalho. Na estação ip02 a turbidez e cor estiveram altas possivelmente devido ao assoreamento, já que este ponto se mostrou raso com bancos de sedimento em seu leito devido ao desmatamento da vegetação riparia. Houve excesso de ferro em todas as estações e épocas do ano, em relação aos valores recomendados pela EPA para a manutenção de organismos aquáticos, podendo ser atribuído as características naturais da água, visto que a estação ip03 está situada próxima a uma antiga área de extração de ferro. Esta estação está situada próximo a primeira siderúrgica do Brasil (Tab. III e IV). De um modo geral comparando as três estações de coleta a estação ip03 apresentou os menores valores de nitrogênio amoniacal, nitrogênio albuminóide, turbidez, resíduo seco, resíduo fixo, dureza por carbonatos, CO₂, nitrogênio nítrico entre outras.

No rio Sorocaba, houve pouca variação do oxigênio dissolvido de uma época para outra, o pH se manteve mais baixo na época seca, provavelmente, pelo processo de acidificação ocorrido pelo aumento da concentração da carga orgânica

pela baixa pluviosidade. Quanto às concentrações de nitrogênio amoniacal há um equilíbrio entre as estações, havendo um aumento na época seca na estação so01 devido principalmente a matéria orgânica e os valores de nitrogênio albuminóide foram mais elevados nas localidades so02 e so03 nas estações chuvosa e seca respectivamente, devido a altas concentrações de poluentes orgânicos lançados nesses locais.

O ponto so01 apresentou baixos valores de nitrogênio nítrico, nitrogênio albuminóide e nitrogênio amoniacal nas duas épocas do ano além de altos valores de cor, turbidez, resíduo fixo e oxigênio consumido. A estação so02 apresentou altos valores de cloretos nas duas épocas do ano, resíduo seco, nitrogênio nítrico e alcalinidade por bicarbonatos na época chuvosa, já a estação so03 mostrou altos valores da dureza por não carbonatos.

O rio Tatuí na estação ta01 apresentou elevados valores de nitrogênio amoniacal e albuminóide, resultante da decomposição de material orgânico oriundo principalmente de esgoto e curtumes localizados à montante dessa estação. Comparando as estações chuvosa e seca, houve um aumento tanto do nitrogênio amoniacal como do albuminóide da época chuvosa para seca, que variaram de 0,06 a 0,18 mg/l e 0,819 a 2,30 mg/l, respectivamente.

O oxigênio dissolvido se manteve mais elevado na época chuvosa, enquanto o pH esteve ligeiramente mais alto na época seca. Como já era de se esperar, a temperatura apresentou-se mais elevada na estação chuvosa (quente). O ferro manteve-se presente em altas concentrações ocorrendo um aumento na época seca. Além desses fatores abióticos a turbidez e o oxigênio consumido estiveram alterados nas duas épocas do ano, sofrendo um declínio na época seca e o resíduo fixo apresentou altos valores na época chuvosa (Tab. III e IV).

No ribeirão dos Macacos a água apresentou-se levemente opalescente com valores mais elevados na cor, odor, oxigênio consumido, turbidez, resíduo seco e ferro, na época chuvosa. Na época seca valores mais altos foram encontrados apenas para ferro (Tab. III e IV). Os valores de oxigênio dissolvido, pH e temperatura foram relativamente constantes nas duas épocas do ano. Isso é devido provavelmente a constância da entrada de material orgânico que possa vir a alterar esses índices. A concentração de nitrogênio amoniacal também se manteve constante nas duas épocas do ano, já o nitrogênio albuminóide esteve mais alto na época seca. Os altos valores de nitrogênio amoniacal e albuminóide podem ser explicados pela elevada concentração de matéria orgânica originada pela decomposição da vegetação submersa pelo represamento. Isso causou a diminuição dos valores de oxigênio dissolvido e pH, por causa do fenômeno de eutrofização que eleva a taxa de oxigênio dissolvido e pH durante o dia e o reduz durante a noite, através dos processos fotossintéticos. Não foi detectado nenhuma fonte de poluição nesta estação ou a montante dela.

Na estação pj01 (Rio Pirajibú), a água apresentou também um aspecto opalescente, com alteração nos valores de ferro na época chuvosa e seca, além de alterações na cor, turbidez e resíduo seco na época seca (Tab. III e IV). As temperaturas foram muito semelhantes entre as épocas seca e chuvosa, o oxigênio dissolvido foi menor na época seca, provavelmente devido a maior concentração de poluentes. Já o valor do pH foi mais alto na época seca e os valores de nitrogênio amoniacal e albuminóide apresentaram-se alterados, principalmente o nitrogênio albuminóide devido a emissão de grandes quantidades de esgotos. Os valores da turbidez, cor e alcalinidade por bicarbonatos estiveram mais elevados na época chuvosa e os valores de ferro e cloretos nas duas épocas do ano.

O rio Sarapuí em suas estações sa01 e sa02, apresentou alterações na turbidez devido a extração de areia na estação sa02, cor e oxigênio consumido nas épocas chuvosa e seca. As concentrações de ferro mantiveram-se elevadas nas duas épocas do ano chegando ao seu maior valor na estação sa02 na época seca (Tab. III e IV). As taxas de oxigênio dissolvido foram mais elevadas na época seca devido a ocorrência de menores temperaturas nessa época do ano, fator esse que contribui

também para o pH ser menor na estação chuvosa. Não se pode descartar a possibilidade da influência da eutrofização e da poluição orgânica já que os valores de nitrogênio amoniacal e albuminóide apresentam-se elevados, comprovando a existência de poluição, principalmente orgânica.

Classificação das estações de coleta em relação às características abióticas

A análise de agrupamento utilizando as variáveis abióticas gerou a Fig. 2, onde o coeficiente de correlação cofenético obtido foi de 0.85. Note que a distorção no dendrograma medida pelo coeficiente de correlação cofenética é aceitável, de acordo com o padrão estabelecido por Romesbeurg (1984).

A Fig. 2 pode ser resumida em três grandes grupos, sendo que o grupo 3 pode ser dividido em dois subgrupos. O grupo 1 é composto pelas estações so03s, ta01s, sa01s, pi01s, pj01s, so02c, sa01c, so01c e rm01s, amostrado em sua maioria na época seca. Estas estações são localizadas no perímetro urbano de vários municípios (ver Tab. I). São estações que recebem grande quantidade de esgoto, pois nessa bacia hidrográfica uma pequena parcela do esgoto doméstico é tratada. Apresentaram altos valores nas seguintes variáveis: cloretos, resíduo seco, perda por calcinação, dureza de não carbonatos, dureza por carbonatos, dureza total, oxigênio consumido, alcalinidade por bicarbonatos, nitrogênio albuminóide e nitrogênio nítrico. Além disso apresentaram baixos valores de oxigênio dissolvido. Pouco associada a esse grupo está a estação rm01s que pode ser interpretada como uma estação não poluída por esgotos mas detentora de alterações nas condições físico-químicas em decorrência da decomposição da vegetação que foi inundada formando esta estação.

O grupo 2 é formado pelas estações so03c, ip02c, so01s, ip01c, pi01c e rm01c amostradas principalmente na época chuvosa, mostrando nítida melhora nas condições físicas e químicas da água em relação ao grupo 1. Isto pode ser devido à estas estações terem sido amostradas na época chuvosa, que com o aumento do volume d'água dilui os poluentes e melhora as condições da água. As estações apresentaram valores mais altos de oxigênio dissolvido, turbidez, cor e oxigênio consumido e baixos valores de cloretos, resíduo seco, resíduo fixo, dureza de não carbonatos, dureza por carbonatos, dureza total, alcalinidade por bicarbonatos, nitrogênio albuminóide e nitrogênio nítrico. Nesse grupo também pode-se perceber a pequena associação da estação so03, isto deve-se a esta estação ser uma lagoa marginal com comunicação permanente ao rio Sorocaba apresentando menor valor de oxigênio dissolvido e maior valor de gás carbônico comparada às outras estações.

O grupo 3 é formado por dois subgrupos sendo que o A é constituído pelas estações ta01c, sa02c, ip01s, ip02s, sa02s e pj01c e B por so02s, ip03c e ip03s. As estações pertencentes ao grupo 3 apresentaram maiores valores no que se refere a turbidez, resíduo fixo e ferro. Isto indica que estas estações sofrem ou sofreram durante o período de estudo menores impactos no que se refere a emissão de poluentes do que as estações pertencentes a outros grupos, mas sofrem impactos como o desmatamento, assoreamento e a extração de areia, como pôde ser constatado durante os trabalhos de campo. As alterações nas variáveis turbidez e resíduo fixo, reflete a ação do desmatamento nessas áreas resultando na entrada de grande quantidade de sedimentos o que altera o leito dos rios e conseqüentemente os habitats disponíveis para a comunidade biótica existente.

A diferença entre os dois subgrupos reside no subgrupo A apresentar maiores valores de oxigênio dissolvido, ferro, cloretos, dureza por carbonatos, dureza total, dureza de não carbonatos, nitrogênio amoniacal e nitrogênio albuminóide e o subgrupo B possuir altos valores de ferro, resultado semelhante ao subgrupo A mas apresentou baixos valores de turbidez, cor, cloretos, resíduo fixo, dureza por carbonatos, dureza total, dureza de não carbonatos, nitrogênio amoniacal e nitrogênio albuminóide. Dessa forma as estações pertencentes ao subgrupo A sofrem maiores influências de ações antrópicas que as pertencentes ao subgrupo B.

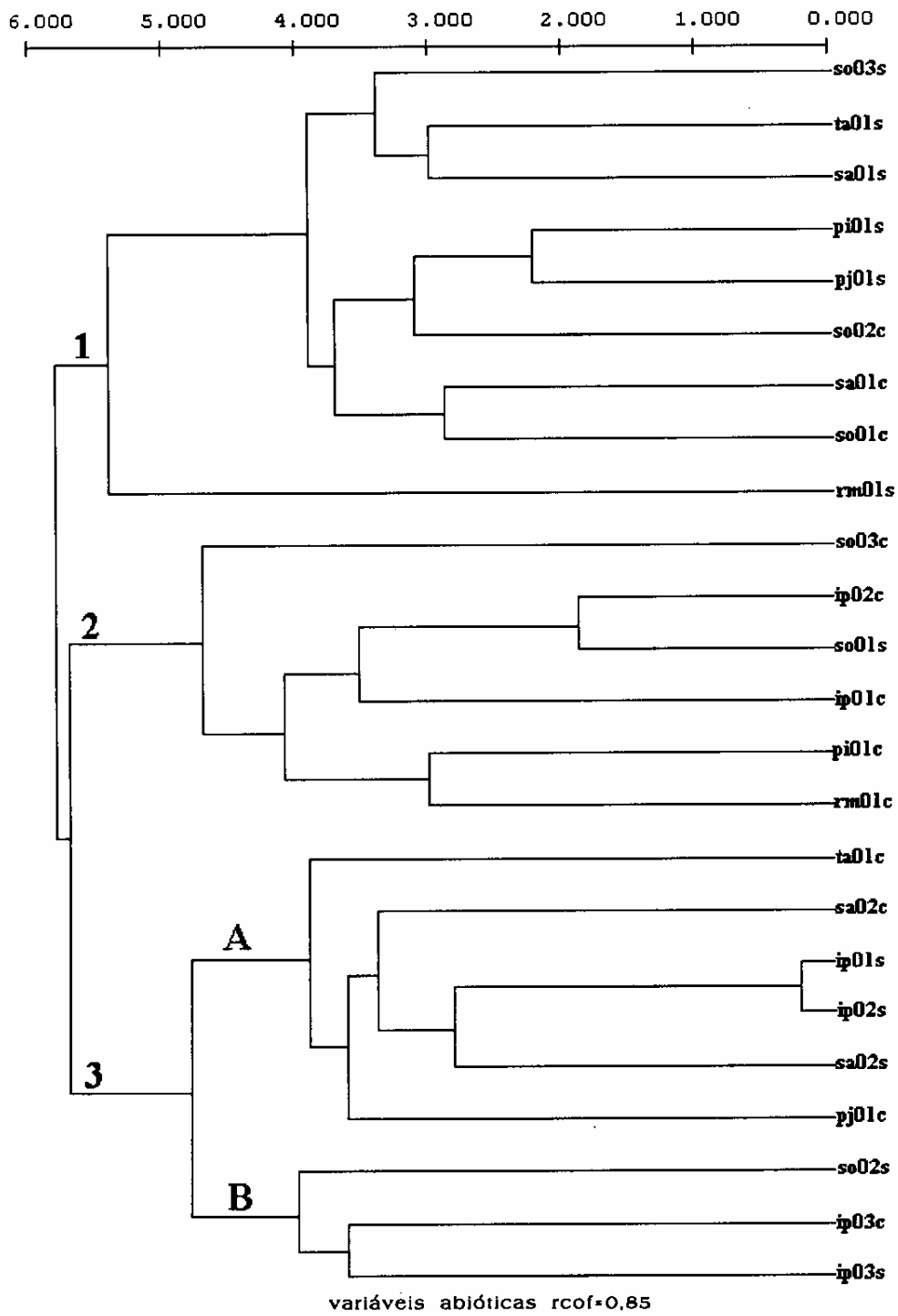


Figura 2: Agrupamento das estações de coleta na bacia do rio Sorocaba, através das variáveis abióticas

Influência da sazonalidade nas variáveis físicas e químicas

A variação sazonal da temperatura, pH, oxigênio dissolvido, dureza total, nitrogênio amoniacal e nitrogênio nítrico (nitrato) é indicada pela Fig. 3. Os valores de oxigênio dissolvido nas duas épocas do ano, estiveram entre 3,8 e 7,4 mg/l (Tab. III e IV) sendo que os maiores valores foram obtidos na época seca nas estações ta01, pj01 e sa02. As estações consideradas mais poluídas por se situarem em áreas densamente povoadas recebendo grandes cargas de poluentes como so02, so03, ta01 e pj01, não apresentaram valores baixos como era de se esperar. A temperatura da água foi maior na época chuvosa em nove das 13 estações de coleta. O pH manteve-se entre 5,7 e 7,8, sendo que em oito estações esta variável foi mais alta na estação chuvosa que na seca.

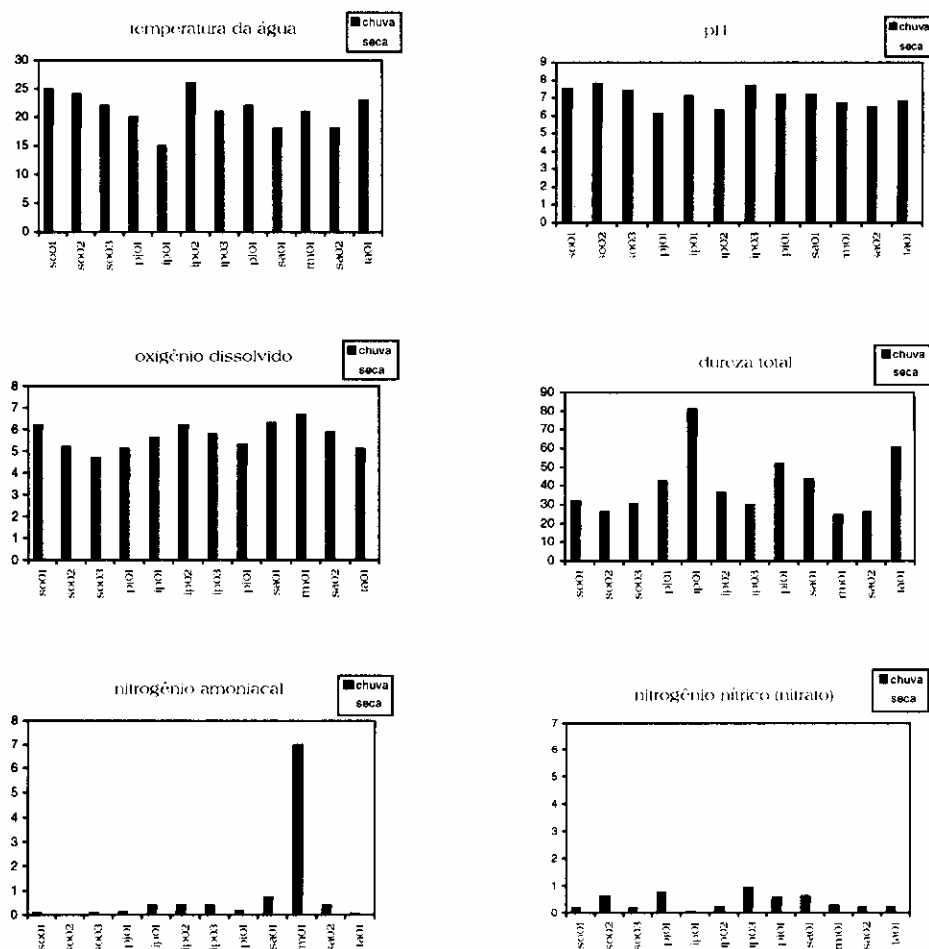


Figura 3: Valores da temperatura da água (tag) em °C, oxigênio dissolvido (od) em mg/l, nitrogênio amoniacal (namo) em mg/l, pH, dureza total (duto) em mg/l e nitrogênio nítrico (nntri) em mg/l nas estações de coleta durante a época chuvosa e seca.

As variáveis que de certa forma indicam a presença de poluentes, principalmente orgânicos, mostraram-se ligeiramente mais elevadas na época seca. O nitrogênio amoniacal apresentou níveis altos nas estações pi01, ip03, so01, rm01 e sa01 na época seca e nas estações ip01, ip02, ip03, rm01, sa01 e sa02 na época chuvosa. O nitrogênio nítrico apresentou valores mais altos nas estações ip03 na época chuvosa e so03 e

pi01 na época seca. A dureza total esteve elevada em todas as estações nas duas épocas do ano. Isto pode ser atribuído a dois fatores: efluentes domésticos e industriais são ricos em carbonatos ou a localização de algumas estações como pi01, ip01 e ip02 em áreas ricas em calcário, o que pode ser atestado também pelos valores altos de alcalinidade por bicarbonatos nessas estações.

Foi realizado um teste t pareado sob essas variáveis ambientais para verificar se existem diferenças entre as épocas seca e chuvosa. O resultado indicou não haver diferenças entre a estação seca e chuvosa. Para a temperatura foi obtido $t=1,757$, para o pH, $t=0,703$, para oxigênio dissolvido $t=0,078$, para dureza total $t=-0,663$, nitrogênio amoniacal $t=-1,488$ e nitrogênio nítrico $t=-0,911$ todos com $t_{0,05;12}=2,18$.

Discussão

Na bacia hidrográfica do rio Sorocaba os efluentes lançados nos corpos d'água são constituídos por cerca de 81,5% de origem doméstica e apenas 18,5% são de origem industrial (CETESB, 1992). Além dos altos valores de nitrogênio amoniacal, nitrogênio albuminóide, ferro, dureza total, cor, turbidez, outras variáveis como o fósforo, fênóis, manganês, mercúrio e surfactantes, também ocorrem em altas concentrações na bacia (CETESB, 1992). Martos (1999) encontrou valores elevados de condutividade, nitrato, sólidos totais e turbidez no Rio Pirajibú e nitrito no rio Sorocaba.

Com base nos dados apresentados pelo presente estudo podemos caracterizar os rios Pirapora (pi01), rio Sorocaba (so02 e so03), rio Tatuí (ta01) e Rio Pirajibú como sendo poluídos e os rios Ipanema e Sarapuí como pouco poluídos ou seja com boa qualidade da água comparada com os outros rios. Fortalecendo essas afirmações a CETESB (1994) destaca que o rio Sorocaba é utilizado para lançamento e transporte de efluentes domésticos e industriais, sendo considerado por Fagundes & Shimizu (1997) como degradado pela poluição orgânica. Em contrapartida o rio Ipanema é considerado por esses autores como detentor de boa qualidade de água. O mesmo foi constatado por Martos (1999), com melhor qualidade da água do rio Ipanema em relação aos rios Sorocaba e Pirajibú.

Dentre as 20 variáveis coletadas, podemos considerar as diferenças dos valores do ferro, dureza e turbidez entre as estações como também sendo uma influência da geologia (fisiografia) e outras ações que não a poluição por efluentes. As demais variáveis que apresentaram alterações são determinadas principalmente por ações antrópicas como a emissão de efluentes domésticos e industriais nos corpos d'água da bacia.

A elevada concentração de ferro e dureza total nas estações ip01, ip02 e ip03 é devida principalmente ao fato do rio Ipanema cruzar áreas ricas em minério de ferro e calcário, visto que a estação ip03 está localizada próximo a Fazenda Ipanema (FLONA) onde existem as ruínas da primeira siderúrgica do Brasil além da existência de mineradoras. Estas afirmações são fortalecidas pelo rio Ipanema ser um rio que cruza a zona rural, recebendo baixa carga de efluentes domésticos, tendo pouca interferência da poluição nas suas características limnológicas. Além disso o ferro pode precipitar-se com o aumento da concentração de matéria orgânica elevando sua concentração em locais poluídos (Prof. Dr. Bohdan Matvienko Sikar, com. pess.). Nesse caso encontram-se os rios Pirajibu, Tatuí e Pirapora.

Além disso a elevada dureza total nas estações pi01 e ip01 deve-se principalmente a existência de calcário, explorado por inúmeras mineradoras. A alteração na turbidez parece ser um indicador do desmatamento da vegetação riparia, já que com a retirada da vegetação marginal aumenta o aporte de sedimento para o leito do rio. Além disso o aumento da turbidez pode ser devido à extração de areia. Estas afirmações decorrem do fato que no rio Sarapuí (sa01 e sa02) em dois trechos de mesma ordem, a turbidez mostrou-se diferente, sendo maior na estação localizada à jusante da extração de areia e totalmente desprovida de vegetação riparia.

Durante a realização desse trabalho, verificaram-se diferenças entre os valores das variáveis físicas e químicas (temperatura, pH, oxigênio dissolvido, dureza total, nitrogênio amoniacal e nitrogênio nítrico) nas épocas chuvosa e seca mas essas diferenças não foram significativas segundo o teste t. Esta situação foi importante para determinar que as diferenças nas características físico-químicas da água nas estações de coleta não são explicadas pela sazonalidade e sim pelas características fisiográficas, nesse caso podemos considerar em parte que as variações abióticas entre as estações de coleta são naturais, além é claro do tipo de impacto que as estações de coleta são submetidas. Martos (1999) também verificou que as variações sazonais não contribuem para a melhora da qualidade da água dos rios Sorocaba, Ipanema e Pirajibú.

A análise de Cluster demonstrou a existência na bacia do rio Sorocaba de locais com características limnológicas distintas sendo influenciadas por diferentes ações antropicas bem como as características fisiográficas da área. Também ficou evidenciado que em um mesmo rio existem trechos com características limnológicas distintas ou seja em determinadas estações que sofrem pequenos impactos a maior influência é das características naturais ao contrário das estações que sofrem maiores impactos sendo esses os maiores influenciadores das características limnológicas.

Camargo et al. (1996) verificaram que as características físico-químicas dos rios são determinadas em grande parte por fatores fisiográficos (litologia, relevo, vegetação e densidade demográfica). Quando esses rios recebem efluentes domésticos e industriais, este é o fator preponderante nas características físicas e químicas e nas diferenças existentes.

Segundo CETESB (1992 e 1995), metais pesados, fenóis e outros compostos, originados pela utilização de agrotóxicos, também estão presentes principalmente no rio Sorocaba. Sendo assim este trabalho é basicamente de caracterização limnológica de uma importante bacia hidrográfica do Estado de São Paulo, evidenciando que as descargas de esgotos e outros impactos como o desmatamento, causam alterações nas características físicas e químicas dos ecossistemas aquáticos, alterações essas que podem afetar a biota aquática e também disseminar doenças entre a população como discutido por Camargo et al. (1995).

A poluição tem sido abordada sob dois aspectos: sanitário e ecológico. No sentido sanitário, é considerada como qualquer alteração nas qualidades física, química ou biológica da água, que afeta diretamente o homem ou prejudica a sua utilização. No sentido ecológico a poluição engloba qualquer alteração na qualidade da água, que causa modificações nos ecossistemas aquáticos naturais (Silveira & Sant'Anna, 1990). Neste trabalho foi abordada a poluição no sentido sanitário e ecológico, considerando as diversas alterações nas condições físicas e químicas da água, que afetam de modo direto ou indireto o uso da água e os organismos aquáticos.

A poluição se caracteriza ecologicamente por uma ação eminentemente seletiva, alterando a composição química e física do meio, tornando imprópria a vida de um grande número de espécies de animais, incluindo os peixes, ao mesmo tempo que favorece o desenvolvimento de outros organismos tais como os decompositores (Branco, 1986).

Apesar das alterações sugeridas utilizando os dados da E.P.A., as variáveis físicas e químicas utilizadas neste trabalho não influenciaram a distribuição das abundâncias das espécies de peixes (Smith, 1999), o que pode ser um indicador de que apesar da poluição e outros impactos que a bacia vêm sofrendo a comunidade biótica ainda se mantém. Os resultados apresentados por esse trabalho evidenciam que o quadro geral não é tão crítico assim quando comparado com o rio Piracicaba ou o Rio Tietê na região Metropolitana de São Paulo. Barrella (1998) utilizando as mesmas variáveis do presente estudo destaca os efeitos das descargas de efluentes no rio Tietê, Atibaia e Piracicaba mostrando ser esses rios os mais críticos da bacia do rio Tietê, principalmente pelos maiores adensamentos populacionais e complexos industriais.

Já Fagundes & Shimizu (1997) utilizando macroinvertebrados como bioindicadores verificaram baixa diversidade de espécies na área urbana do rio Sorocaba. Além disso citam a explosão de macroinvertebrados mais resistentes nas áreas mais poluídas. Resultado semelhante verificaram Smith et al. (1997) destacando a perda da diversidade de espécies de peixes nos trechos mais poluídos do rio Sorocaba.

Dessa forma é necessário o aumento do número de estudos limnológicos que estejam relacionados a organismos aquáticos ou ao monitoramento da qualidade da água com o objetivo de elaborar parâmetros para o monitoramento e avaliação dos reais efeitos da poluição e outros impactos bem como a eficácia das medidas adotadas para a melhoria da qualidade dos ecossistemas aquáticos dessa bacia de drenagem. Outro ponto importante é o tratamento de esgoto doméstico, que está em fase de empreendimento, sendo uma medida muito importante para melhorar a qualidade da água dos rios da bacia e possivelmente restabelecer em partes a complexidade das comunidades bióticas existente antes dessa bacia hidrográfica começar à sofrer tais impactos.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPQ, ao FNMA (Proc: 046/95), a FAPESP (Proc. 93/4146-4 e 95/1311-0), pelos recursos concedidos e a Luciana Bonatti Regalado pela confecção do Mapa

Referências Citadas

- Barrella, W. 1998. Alterações das comunidades de peixes nas bacias dos Rios Tietê e Paranapanema (SP), devido a poluição e ao represamento. Rio Claro, UNESP, 115p. (Tese)
- Branco, S.M. 1986. Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária. 3ed. CETESB/ASCETESB, São Paulo. 640p.
- Camargo, A.F.M., Bini, L. M. & Schiavetti, A. 1995. Avaliação dos impactos provocados pelas descargas de esgotos orgânicos em alguns corpos d'água do município de Rio Claro. In: Esteves, F. A. (ed.) Oecologia Brasiliensis. I: Estrutura e funcionamento e manejo de ecossistemas brasileiros. Instituto de Biologia, Rio de Janeiro. p.395-405.
- Camargo, A.F.M., Ferreira, R.A. R., Schiavetti, A. & Bini, L. M. 1996. Influence of physiography and human activity on limnological characteristics of lotic ecosystems of the south coast of São Paulo, Brazil. *Acta Limnol. Bras.*, 8:231-243.
- CETESB. 1992. Relatório da qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo. Ed. CETESB, São Paulo. 251p.
- CETESB. 1994. Relatório da qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo. Ed. CETESB, São Paulo. 231p.
- CETESB. 1995. Relatório da qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo. Ed. CETESB, São Paulo. 211p.
- CETESB. 1996. Relatório da qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo. Ed. CETESB, São Paulo. 267p.
- Eaton, A. D., Clesceri, L.S. & Greemberg, A.E. (eds.) 1995. Standard Methods. American Public Health Association, Washington, D.C. 1220p
- EPA - Environmental Protection Agency. 1976. Quality criteria for water. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. 501p. (Pre-publication copy)
- Fagundes, R.C. & Shimizu, G. Y. 1997. Avaliação da qualidade da água do rio Sorocaba-SP através da comunidade bentônica. *Rev. Bras. Ecol.*, 1: 63-66.
- Johnsson, B.L., Richardson, W.B. & Naimo, T.J. 1995. Past, present and future concepts in large river ecology. *BioScience.*, 45:134-141.

- Lowe-McConnell, R.H.L. 1987. Ecological studies in tropical fish communities. Cambridge University Press, Cambridge. 382p.
- Margalef, R. 1974. Ecologia. Ed. Omega S.A., Barcelona. 951p.
- Martos, M. Y. M. G. 1999. Análise temporal da qualidade da água em um trecho do rio Sorocaba e de seus afluentes Ipanema e Pirajibú, e comparação com a legislação ambiental. Rio Claro (UNESP), 117p. (Dissertação).
- Núcleo Engenharia Consultiva Ltda .1993. Plano integrado de aproveitamento e gerenciamento dos recursos hídricos da Bacia do rio Sorocaba. DAEE, São Paulo. 3: 639p.
- OMS - Organização Mundial de Saúde. 1995. Guia para calidad del agua. 2ed. OMS , Genebra. 195p.
- Pregnotatto, W. & Pregnotatto, N.P. 1985. Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz. 3ed. Imprensa Oficial do Estado, São Paulo. 1:533p.
- Romesbeurg, H. C. 1984. Cluster analysis for researchers. Lifetime Learnin Publications, Belmont, USA. 334p.
- São Paulo. Conselho Estadual de Recursos Hídricos. 1990. Plano Estadual de Recursos Hídricos: primeiro plano do Estado de São Paulo. Síntese. Ed. DAEE, São Paulo. 97 p.
- Silveira, S.S. & Sant'anna, F.S.P. 1990. Poluição hídrica In: Margulis, S. Meio ambiente: aspectos técnicos e econômicos. IPEA/PNUD, Brasília. p. 57-83.
- Smith, W. S. 1999. Estrutura da comunidade de peixes da bacia do rio Sorocaba em diferentes situações ambientais. São Carlos, EESC / CRHEA/ USP, 121p (Dissertação).
- Smith, W. S., Barrella, W. & Cetra, M. 1997. Comunidade de peixes como indicadora de poluição ambiental. Rev. Bras. Ecol., 1: 67-71.
- Welcomme, R.L. 1985. River fisheries. FAO, Rome. 330p (Fisheries Technical Paper, 262).