



RELAÇÕES HIDROQUÍMICAS APLICADAS NA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA E DIAGNÓSTICO AMBIENTAL NA BACIA DO RIO CORUMBATAÍ (SP)

F.T. da Conceição & D.M. Bonotto

Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE) - UNESP, Avenida 24-A, nº 1515, CEP 13506-900, Rio Claro

Recebido em 01/02; aprovado para publicação em 09/02

ABSTRACT

This investigation utilized hydrochemical relations to evaluate possible anthropogenic inputs able to modify the freshwater quality at Corumbataí river basin, São Paulo State. The characteristics of the Corumbataí river at Analândia (close to the source) and between Ajapí/Ferraz (middle course) allow its classification as Class 2. However, the absence of domestic waste treatment in Rio Claro city, calcareous rocks mining exploration and strong agricultural activities between Rio Claro and Piracicaba cities reduced the water quality, modifying the characteristic to Class 4 and increasing the eutrofication process. The Passa Cinco and Cabeças rivers and Claro stream (before Rio Claro city) belong to Class 2, with Passa Cinco river having worse water quality due to the discharge of domestic waste at Ipeúna city, as well the agricultural activities nearby.

RESUMO

Este trabalho utilizou relações hidroquímicas para avaliar possíveis entradas antropogênicas responsáveis pela modificação da qualidade das águas fluviais na bacia do Rio Corumbataí (SP). As características do Rio Corumbataí em Analândia (próximo à nascente) e entre Ajapí/Ferraz (médio curso) permitem seu enquadramento na Classe 2. Porém, a falta de tratamento para o esgoto doméstico, principalmente na cidade de Rio Claro, a exploração mineral de calcários e a intensa atividade agrícola no trecho entre Rio Claro e Piracicaba pioraram a qualidade de água, modificando a característica para Classe 4 e intensificando o processo de eutrofização no Rio Corumbataí. Os rios Passa Cinco e das Cabeças e o Ribeirão Claro (antes da cidade de Rio Claro) possuem características da Classe 2, sendo, o Rio Passa Cinco, o que possui pior qualidade de água, devido também ao lançamento de efluentes domésticos (esgoto) pela cidade de Ipeúna e por atividades agrícolas próximas a ela.

INTRODUÇÃO

A água doce representa apenas 3% do total de água na natureza. Os restantes 97% encontram-se nos oceanos e mares salgados. A maior parte desta água doce, aproximadamente 2,3% dos 3% restantes, está congelada nas calotas polares e geleiras ou encontra-se em lençóis subterrâneos muito profundos (Porto, 1991). Por esse motivo, existem preocupações atuais quanto à preservação desse importante recurso, sobretudo neste início de século, quando as atividades humanas têm contribuído, significativamente, para a degradação da sua qualidade, tornando impróprio seu uso para as mais diversas finalidades. Por isso, tem-se procurado integrar a administração da água com a de outros recursos, procedendo-se o manejo integrado de bacias hidrográficas, considerados como a integração de todos os fatores (biológicos, físicos, culturais e sócio-econômicos) envolvidos na complexa relação entre os componentes naturais e antrópicos (Drew, 1986).

A bacia do Rio Corumbataí faz parte da bacia hidrográfica do Rio Piracicaba (primeira Zona Hidrográfica do Estado de São Paulo), que concentra problemas de aproveitamento e controle de recursos hídricos, além de grande adensamento populacional e industrial (Palma-Silva, 1999). A bacia do Rio Corumbataí assume uma importante função regional no abastecimento doméstico e industrial de água para os municípios integrantes, também fornecendo água para municípios (Piracicaba e Araras) de bacias vizinhas, que enfrentam problemas com seus recursos hídricos.

A resolução CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) nº 20, de 18 de junho de 1986, estabeleceu a classificação para as águas doces, salobras e salinas do Território Nacional, sendo, o Rio Corumbataí e seus afluentes (Rio das Cabeças, Rio Passa Cinco e Ribeirão Claro), enquadrados (seu enquadramento é o estabelecimento do nível a ser alcançado e/ou mantido em um segmento de corpo d'água ao longo do tempo) como Classe 2 (Salati, 1996), ou seja, água doce (salinidade igual ou inferior a 0,50‰) destinada ao abastecimento doméstico após tratamento convencional, à proteção de comunidades aquáticas, à recreação de contato primário, à irrigação de hortaliças e plantas frutíferas e à criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana.

A alteração no sistema aquático provocada por ações antrópicas, como a entrada de efluentes domésticos, industriais e hospitalares, interferem diretamente na trofia do sistema aquático, promovendo vários efeitos em níveis diferentes, ou seja, biológicos, econômicos, sociais e de saúde. Este trabalho leva em conta diferentes parâmetros (físico-químicos, biológicos e químicos) para definir a qualidade das águas fluviais da bacia do Rio Corumbataí e avaliar a poluição ocasionada pelos municípios integrantes, que pode estar modificando as condições propostas para o enquadramento dos cursos d'água. Efetuou-se, também, uma avaliação do transporte específico na bacia do Rio Corumbataí, a qual permite comparar a contribuição relativa do Rio Corumbataí, Rio das Cabeças, Rio Passa Cinco e Ribeirão Claro. Assim, este trabalho auxilia no conhecimento dos ecossistemas aquáticos regionais, fornecendo importantes subsídios para um desenvolvimento sustentável na bacia investigada.

ASPECTOS GEOGRÁFICOS, GEOLÓGICOS E HIDROLÓGICOS

A bacia do Rio Corumbataí possui uma área de aproximadamente 1581 km² (DAEE, 1999), situando-se na porção centro-leste do Estado de São Paulo, entre os paralelos 22°05' e 22°40' de latitude sul e meridianos 47°55' e 47°30' a oeste do Greenwich, abrangendo os municípios e distritos de Rio Claro, Ajapí, Ipeúna, Santa Gertrudes, Analândia, Itirapina, Ferraz, Itapé, Charqueada e Corumbataí (Fig. 1).

A bacia do Rio Corumbataí faz parte da Depressão Periférica Paulista, descrita, por Pentead (1976), como faixa erosiva deprimida entre escarpas mais avançadas da zona de *cuestas*, que delimitam a borda oriental dos derrames basálticos, com desníveis da ordem de 200 a 300 metros, e Planalto Cristalino, que, em determinado período geológico, sofreu processos de aplainamento, resultando em uma superfície de erosão.

Do ponto de vista geológico, a bacia do Rio Corumbataí está inserida na Bacia Sedimentar do Paraná, que possui uma área de 1.700.000 km² (1.000.000 km² em território brasileiro) (França & Potter, 1988). Diversas unidades estratigráficas da Bacia Sedimentar do Paraná cobrem a bacia do Rio Corumbataí (IPT, 1981): Sub-grupo Itararé e Formação Tatuí do Grupo

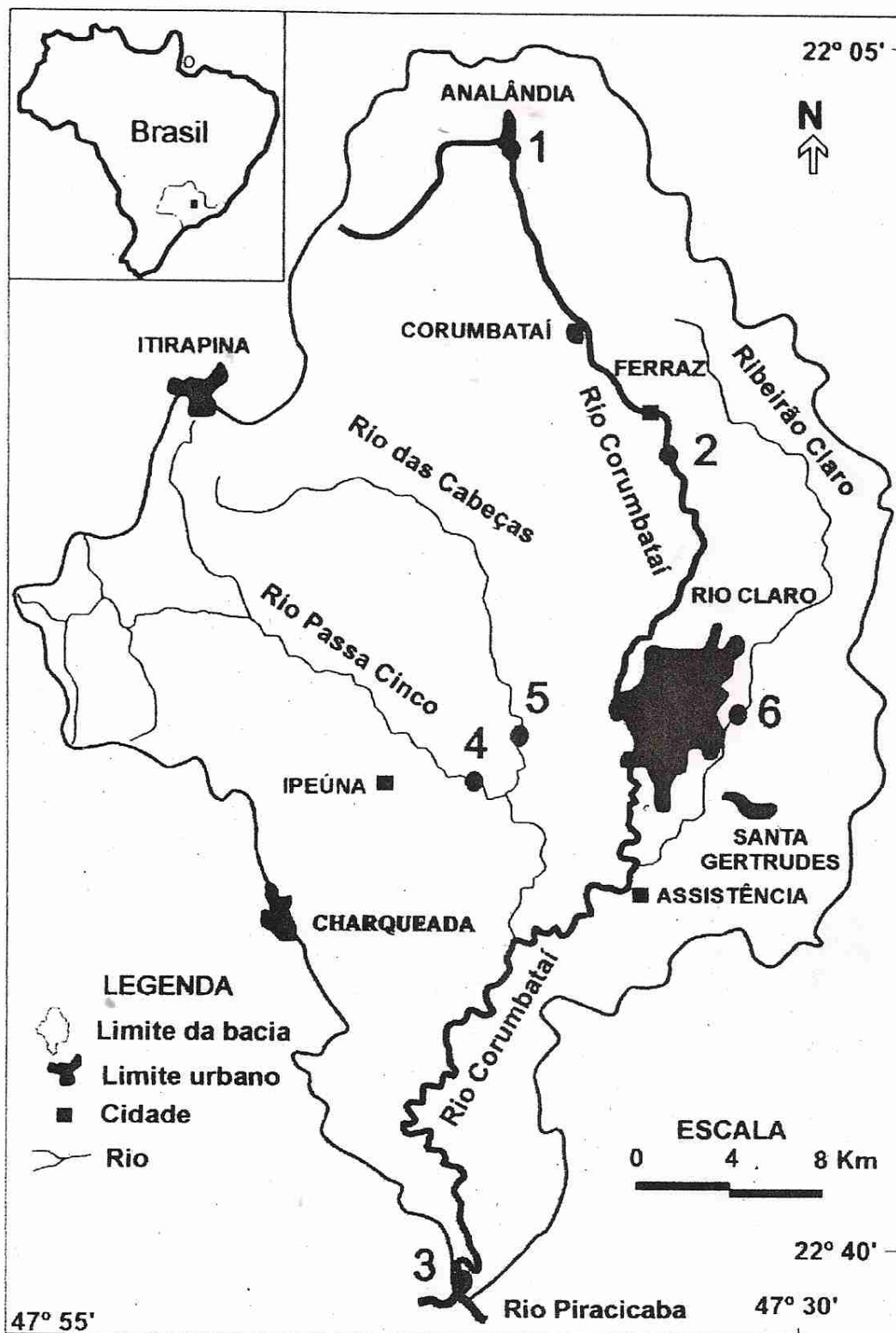


Figura 1 – Bacia do Rio Corumbataí e localização dos pontos de coleta. 1– Rio Corumbataí (Analândia); 2 – Rio Corumbataí (Ajapí/Ferraz); 3 – Rio Corumbataí (Santa Terezinha); 4 – Rio Passa Cinco; 5 – Rio das Cabeças; 6 – Ribeirão Claro.

Tubarão; Formação Irati e Formação Corumbataí do Grupo Passa Dois; Formação Pirambóia, Formação Botucatu, Formação Serra Geral e rochas básicas intrusivas do Grupo São Bento; diferentes tipos de coberturas Cenozóicas, como a Formação Rio Claro, recentes depósitos e terraços sedimentares. Entre os vários tipos de solos que ocorrem na bacia do Rio Corumbataí, os argissolos vermelho-amarelo e latossolos cobrem, aproximadamente, 65% da área dessa bacia (Köffler, 1993).

A área é drenada pelo Rio Corumbataí, sendo seus principais afluentes os rios Passa Cinco e das Cabeças, pela margem direita, e Ribeirão Claro, na margem esquerda. O Ribeirão Claro nasce no município de Corumbataí, com orientação NW-SE e corta o setor leste da área urbana de Rio Claro no sentido NNE-SSW, indo desaguar no Rio Corumbataí, na Usina da CESP, poucos quilômetros abaixo de Rio Claro. O Rio Passa Cinco nasce nas proximidades de Itaqueri da Serra, um distrito de Itirapina. O Rio das Cabeças é o principal afluente do Rio Passa Cinco e apresenta cachoeiras, quedas e corredeiras em vários trechos. As cabeceiras do Rio Corumbataí localizam-se nas escarpas das serras e morrotes que compõem a linha de *cuestas*. O Rio Corumbataí possui padrão meandrante e fundo de vale relativamente plano, com sedimentos atuais e subatuais, encaixados em sedimentos de deposição própria, com atuação de processos fluviais, pluviais e antrópicos. No alto curso, é encachoeirado e ocorre em vales estreitos e profundos. As águas de todos esses rios somam-se e afluem para o Rio Piracicaba (Conceição, 2000).

O clima da área é do tipo Aw (classificação de Köppen, 1948), ou seja, clima tropical chuvoso, com chuvas no verão e inverno seco (Inácio & Santos, 1988). Assim, a área é controlada por massas tropicais e equatoriais, que predominam em mais de 50% do ano, sendo que os ventos dominantes são provenientes dos quadrantes S e SE (Monteiro, 1973). A área tem 55 - 65 dias de chuva por ano, com mais de 80% da precipitação, ocorrendo entre Outubro e Março (Bonotto & Mancini, 1992). As alturas médias mensais de chuva desde 1978 até 1998 fornecem uma quantidade de 1572,24 mm de chuva por ano (Conceição *et al.*, 1999).

A Tabela 1 apresenta os dados das vazões médias mensais do Rio Corumbataí, desde 1973 até 1999. Os dados fluviométricos correspondem às observações no posto 4D-021, instalada na Fazenda Recreio (a montante do bairro

de Santa Terezinha), local onde o SEMAE capta a água que é utilizada no município de Piracicaba. Este posto registra as vazões médias diárias nesta seção desde o ano de 1973, o que permitiu obter neste trabalho os valores dos dias de amostragem. A régua instalada neste local fornece os dados para a curva-chave do Rio Corumbataí, descrita pela equação (DAEE, 1999):

$$Q = 43 (H - 1,38)^{1,28} \quad 1,38 < H < 10 \quad (1)$$

Onde:

Q = vazão (m³/s);

H = altura observada na régua (m).

Assim, a vazão média mensal no Rio Corumbataí é de 26 m³/s, com a vazão média mensal máxima de 168 m³/s, registrada no mês Fevereiro de 1995, e vazão média mensal mínima de 6 m³/s, registrada no mês de Setembro de 1994. O ano que apresentou menor vazão média mensal foi o de 1992 (17 m³/s) e o ano de maior vazão média mensal foi o de 1983 (60 m³/s). A vazão média mensal no ano de 1998 foi de 22 m³/s, com o mês de novembro apresentando a menor média mensal de vazão (9 m³/s). A Figura 2 apresenta a vazão e a precipitação na bacia do Rio Corumbataí, onde se nota que o regime do rio é diretamente proporcional à precipitação. A Figura 3 ilustra a frequência das vazões médias mensais do Rio Corumbataí (histograma construído com 310 valores), indicando que 37,4% dos valores obtidos situam-se entre 10 e 20 m³s⁻¹.

Como, na bacia estudada, as medidas mais sistemáticas de vazão foram realizadas no Rio Corumbataí, em Santa Terezinha, utilizou-se a vazão média geral de 26,45 m³/s (Tabela 1) para o estabelecimento de um "coeficiente histórico" da diferença da média de cada mês relativamente a essa média, isto é:

$$CH = \frac{\bar{Q}_m - 26,45}{26,45} * 100\% \quad (2)$$

Onde:

\bar{Q}_m = vazão média mensal no período de 1973 a 1998.

Na Tabela 1, estão representados os valores obtidos, podendo-se observar que, nos meses de Dezembro, Janeiro, Fevereiro e Março, as vazões médias mensais são superiores à média

geral. No mês de Abril, as médias são praticamente iguais e, no restante do ano, a vazão média mensal do Rio Corumbataí é menor que a média geral.

Tabela 1 – Vazões médias mensais (m³/s) do Rio Corumbataí desde 1973 até 1999.

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA
1973	23.452	32.144	24.682	29.080	16.166	11.834	10.780	10.032	10.403	12.413	19.652	49.495	20.844
1974	76.284	28.287	73.363	28.416	16.407	17.523	12.032	8.923	7.765	10.113	8.342	46.371	27.819
1975	35.699	86.504	30.929	17.350	11.441	9.922	10.028	8.503	6.914	10.323	23.723	50.970	25.192
1976	52.588	92.773	64.962	42.722	39.053	46.628	37.951	22.391	27.512	27.285	22.970	29.360	42.183
1977	58.584	34.374	24.225	34.313	13.808	14.525	9.164	7.908	12.544	8.929	18.391	62.407	24.931
1978	38.788	20.226	17.254	10.432	10.583	10.494	11.945	7.949	8.800	7.560	23.993	40.311	17.361
1979	27.123	24.317	14.976	9.619	28.996	12.323	10.517	8.858	13.329	15.703	20.160	27.465	17.782
1980	27.943	52.333	43.798	44.365	15.453	12.755	12.033	9.430	10.772	11.943	10.841	37.151	24.068
1981	78.110	28.042	18.269	14.257	11.998	13.296	8.962	7.610	6.323	19.202	36.996	41.964	23.752
1982	41.191	39.818	72.281	27.601	18.841	22.424	16.466	16.082	7.939	44.232	19.387	56.771	31.919
1983	103.048	97.269	81.018	51.737	61.343	82.934	33.660	20.302	60.303	31.362	31.950	66.523	60.121
1984	37.649	29.021	21.984	14.619	12.531	10.023	8.402	9.878	9.356	8.258	17.389	25.012	17.010
1985	36.546	29.881	51.999	34.398	15.694	14.566	10.463	9.131	8.999	7.442	11.276	12.886	20.273
1986	14.197	21.675	42.600	18.271	16.088	10.164	8.736	14.856	9.035	8.112	12.114	39.221	17.922
1987	40.650	50.466	25.483	17.252	26.208	15.344	11.656	9.699	11.742	13.237	18.333	25.462	22.128
1988	47.847	42.737	87.776	12.967	22.878	17.828	11.289	8.164	6.170	22.757	25.823	19.435	28.428
1989	47.726	57.939	22.926	12.967	11.160	12.65	12.589	9.739	9.414	6.616	9.579	27.640	20.079
1990	53.498	17.826	32.237	14.684	13.284	8.121	7.987	7.613					19.407
1991	17.961	51.198	107.141	70.195	27.962	17.676	14.100	11.173	11.485	15.867	10.285	39.417	32.872
1992	22.149	15.656	21.668	17.257	16.227	10.772	13.293	8.585	11.322	10.691	37.510	18.487	16.968
1993	28.630	66.895	36.232	22.996	19.804	14.618	9.860	9.339	18.901	17.348	10.385	21.116	23.010
1994	24.276	33.019	27.147	16.805	14.597	11.220	8.336	6.730	5.963	13.311	35.295	30.209	18.909
1995	49.496	168.364	51.977	42.233	27.179	14.932	15.325	10.053	8.728	12.983	14.955	26.720	36.912
1996	77.618	43.674	63.946	24.524	16.198	13.599	10.831	9.617	20.390	20.847	22.175	27.264	29.224
1997	53.410	39.122	18.016	12.324	10.572	36.802	12.774	9.671	10.423	9.201	69.243	36.030	26.463
1998	26.150	62.050	45.000	20.300	18.300	14.340	10.830	9.750	10.950	16.940	9.010	18.410	21.836
1999	101.23	69.05											
Média	45.994	48.677	43.149	25.949	19.721	18.358	13.077	10.461	10.019	15.307	21.591	35.044	
C. H.*	73.89%	83.99%	63.13%	-1.12%	-25.44%	-30.59%	-50.56%	60.45%	37.88%	42.13%	-18.37%	32.49%	

* Coeficiente histórico da diferença entre as médias mensais e a média geral; Média geral = 26,45 m³/s; Fonte = DAEE (1999 e 2002)

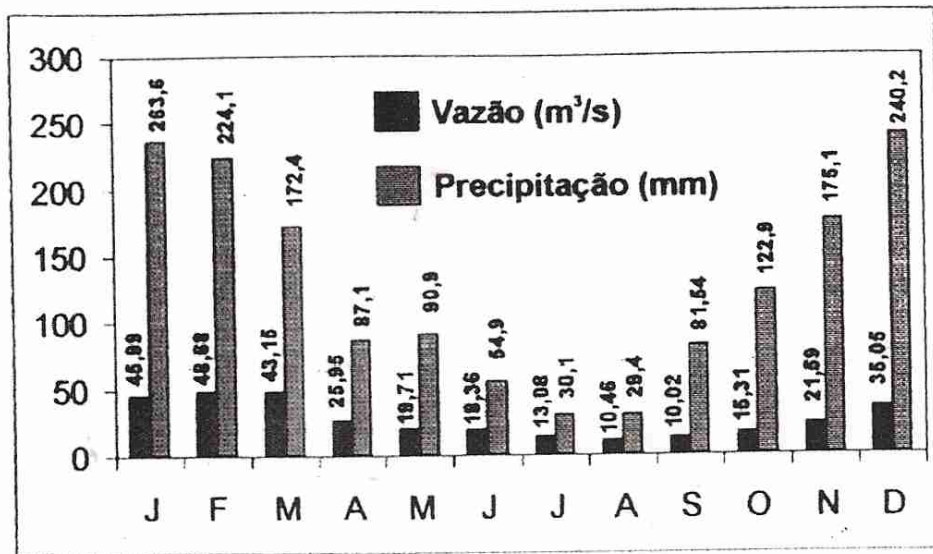


Figura 2 – Média total mensal de chuva para o período de 1978 a 1998 e vazão média mensal de 1973 a 1998 na bacia do Rio Corumbataí (DAEE, 2002).

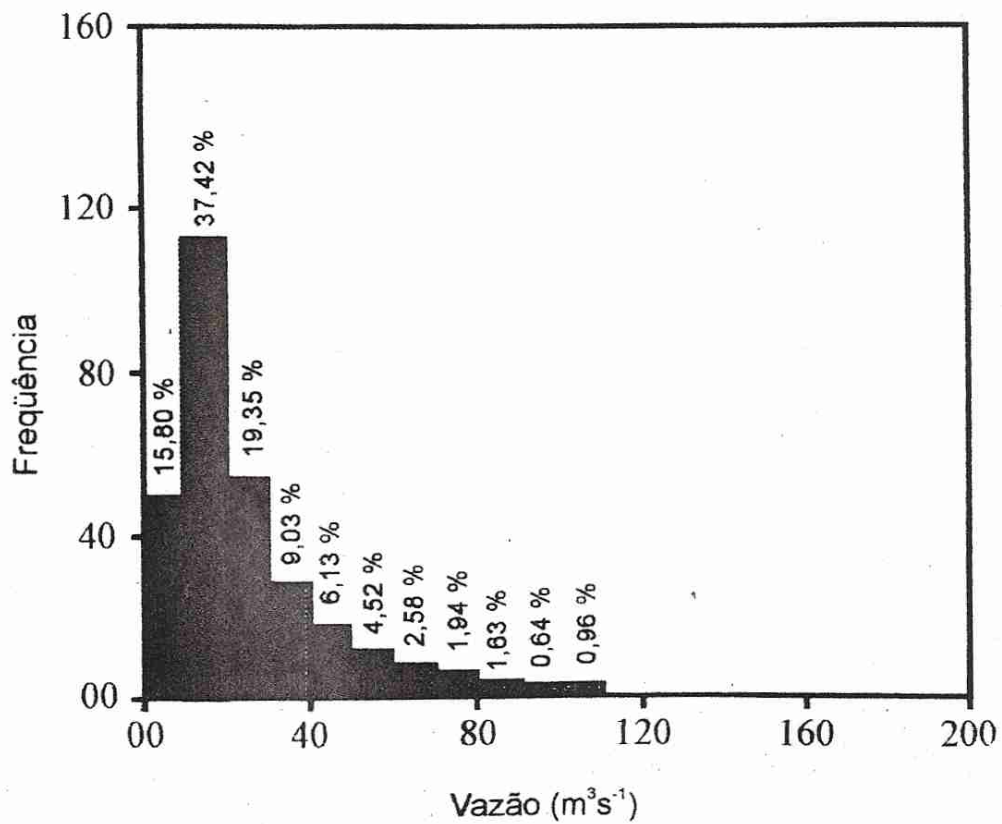


Figura 3 – Frequência da vazão (m³/s) no Rio Corumbataí nos últimos 26 anos (DAEE, 2002).

Para os outros pontos de amostragem desta investigação, não há dados sistemáticos de vazão disponíveis, pois, na bacia do Rio Corumbataí, o único ponto onde isto ocorre é na Fazenda Recreio, conforme referido. Por isso, um modelo de disponibilidade hídrica foi utilizado para avaliar a contribuição relativa dos afluentes do Rio Corumbataí para a vazão total, o qual leva em conta a precipitação e a vazão, como parcelas do ciclo hidrológico.

Foram utilizados, neste estudo, cinco postos pluviométricos na bacia do Rio Corumbataí, operados pelo Departamento de Água e Energia Elétrica (DAEE) do Estado de São Paulo. Os postos existentes e utilizados são: D4-035, em Analândia; D4-043, em Corumbataí; D4-112, em Rio Claro; D4-036, em Itirapina, e D4-016, a montante de Rio Claro. A partir dos dados disponíveis, a bacia hidrográfica do Rio Corumbataí foi dividida, segundo seus principais afluentes, até onde se encontra o posto fluviométrico 4D-021, instalado na Fazenda Recreio. Obtiveram-se, assim, 6 sub-bacias, onde as diferenças físicas de cada uma contribuem com uma porcentagem para a formação da vazão total observada no posto de Recreio.

A vazão de cada uma das sub-bacias foi determinada a partir da subdivisão adotada. Para isso, utilizou-se a metodologia desenvolvida pelo DAEE (1988), consistindo de um modelo paramétrico que permite a avaliação da disponibilidade hídrica em qualquer curso d'água do território paulista. O trabalho do DAEE (1988) dividiu o Estado de São Paulo em regiões com comportamento hidrológico semelhante, para as quais foram calculados parâmetros regionais. A bacia do Rio Corumbataí está inserida na área G (na bacia do Rio Piracicaba), para a qual definiram-se os parâmetros "a" e "b" da reta de

regressão para o cálculo da vazão nas sub-bacias como sendo -26,23 e 0,0278, respectivamente. A reta é definida pela seguinte equação:

$$Q = (a+b*P)*A \quad (3)$$

Onde:

Q = vazão média anual para cada sub-bacia em m³/s;

P = precipitação anual para cada sub-bacia em mm;

A = área de cada sub-bacia em km².

Para o cálculo, utilizaram-se as precipitações de doze meses, que incluem o período de amostragem, ou seja, de Fevereiro de 1998 a Janeiro de 1999. Assim, por intermédio da relação precipitação-vazão, foi possível obter a vazão média anual para cada sub-bacia de Fevereiro de 1998 a Janeiro de 1999, como é mostrado na Tabela 2. A vazão média anual obtida para o Rio Corumbataí em Santa Terezinha é de 28,01 m³/s, enquanto que a vazão média anual medida no posto de Recreio é de 28,1 m³/s (Tabela 1), valores que são praticamente os mesmos, sugerindo que os dados da Tabela 2 são representativos das vazões médias anuais reais de cada sub-bacia.

Assim, a Tabela 2 apresenta a contribuição de cada sub-bacia para a vazão do Rio Corumbataí em Recreio, entre Fevereiro de 1998 e Janeiro de 1999, ou seja, houve uma contribuição de 7,54% de sua cabeceira (Rio Corumbataí em Analândia), 32,60% do início de seu médio curso (Rio Corumbataí Ajapí/Ferraz), 8,54% do seu afluente direito (Ribeirão Claro), 25,78% de um afluente esquerdo (Rio Passa Cinco) e 9,64% de outro afluente esquerdo (Rio das Cabeças).

Tabela 2 – Características hidrológicas das sub-bacias do Rio Corumbataí, entre Fevereiro/1998 e Janeiro/1999.

Região	Área (km ²)	Precipitação* (mm)	Vazão** (m ³ /s)	% em relação ao Rio Corumbataí
Rio Corumbataí (Analândia)	96	1732,2	2,11	7,54
Rio Corumbataí (Ajapí/Ferraz)	369	1833,2	9,13	32,60
Rio Corumbataí (Santa Terezinha)	1581	1580,7	28,01	100,00
Rio Passa Cinco	318	1760,4	7,22	25,78
Rio das Cabeças	119	1760,4	2,70	9,64
Ribeirão Claro	178	1426,0	2,39	8,54

* Dados de DAEE (2002)

** Determinada pela equação 3

MATERIAL E MÉTODOS

Coletaram-se 6 amostras de água do Rio Corumbataí, sempre no mesmo ponto de amostragem, ou seja, em Santa Terezinha, próximo à junção entre o Rio Corumbataí e o Rio Piracicaba. Para se ter uma idéia da distribuição dos vários elementos na bacia, também foram coletadas amostras de água nos principais afluentes do Rio Corumbataí (Rio Passa Cinco, Rio das Cabeças e Ribeirão Claro), próximo à sua nascente (na cidade de Analândia), e no Rio Corumbataí entre a cidade de Ajapí e Ferraz. As amostras do Rio Passa Cinco foram coletadas antes da confluência com o Rio das Cabeças, para se evitar a mistura dessas águas. As amostras do Ribeirão Claro foram coletadas antes de sua passagem pela cidade de Rio Claro, para evitar a contribuição de efluentes domésticos (esgotos) que venham a atrapalhar o cálculo do transporte efetivo deste rio. Todos os pontos de coleta de água estão representados na Figura 1, onde a seguinte convenção para os pontos (estações) de coleta será utilizada durante o desenvolvimento deste trabalho: 1 = Rio Corumbataí em Analândia; 2 = Rio Corumbataí entre Ajapí-Ferraz; 3 = Rio Corumbataí em Santa Terezinha; 4 = Rio Passa Cinco; 5 = Rio das Cabeças; 6 = Ribeirão Claro.

Todas as amostras de águas fluviais foram armazenadas em vasilhames de polietileno e caracterizadas físico-quimicamente (pH, oxigênio dissolvido - OD, condutividade), tendo sido também quantificados os teores de Na^+ , Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , HCO_3^- , Cl^- e de resíduo seco - RS. As amostras da primeira coleta (13/08/98) também foram quantificadas quanto ao teor de Fe, Cu, Zn, Ba, Cd, Cr, Pb, B, Ni, Mn, Al e Si. O sódio e o potássio foram analisados por espectrometria de absorção atômica, enquanto o cálcio, o magnésio, o ferro, o cobre, o zinco, o bário, o cádmio, o cromo, o chumbo, o boro, o níquel, o manganês, o alumínio e o silício, por espectrometria de emissão atômica com plasma indutivamente acoplado. Sulfato (método turbidimétrico de sulfato de bário, de 0 a $70 \pm 0,9$ mg/L), fosfato (método do ácido ascórbico, de 0 a $3 \pm 0,01$ mg/L) e nitrato (método de redução de cádmio, de 0 a $20 \pm 0,4$ mg/L) foram quantificados no Espectrofotômetro DR 2000 da Hach Company (Hach, 1992). A alcalinidade foi obtida por titulação com ácido sulfúrico 0,02 N (Hach, 1992), com concentração entre 1 e $500 \pm 0,2$ mg/L.

As leituras de pH e oxigênio dissolvido foram realizadas *in situ* e a de condutividade elétrica em laboratório, logo após o retorno do campo. Métodos ponteciométricos foram empregados para todas essas determinações. Para o resíduo seco (expresso em miligramas de material sólido por litro de amostra), utilizou-se a técnica de pesagem e secagem descrita por Tonetto (1996). Para as determinações de cloreto, utilizou-se o método potenciométrico ($0,1$ a $100 \pm 0,02$ mg/L), empregando-se um eletrodo ionossensível Orion modelo 94-17B, um eletrodo de referência Orion modelo 90-02 (junção dupla) e o analisador Analion modelo IA-601.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Parâmetros físico-químicos e organolépticos

A Tabela 3 apresenta os valores de cor, turbidez, coliformes totais e fecais na Fazenda Recreio, próximo a Santa Terezinha, local onde o SEMAE capta água do Rio Corumbataí para abastecimento da cidade de Piracicaba. A cor da água é o resultado, principalmente, dos processos de decomposição que ocorrem no meio ambiente, principalmente de material alóctone (Esteves, 1988). Além disso, pode-se ter cor devido à presença de alguns íons metálicos como ferro e manganês, plânctons, macrófitas e despejos industriais (Porto, 1991). A turbidez na água é causada pela matéria orgânica e inorgânica em suspensão. Esse parâmetro é uma medida da capacidade da água em dispersar a radiação, de maneira que se pode dizer que a turbidez é a cor aparente da água (Esteves, 1988). Os valores de cor e turbidez variaram muito durante o ano de 1998 (Tabela 3), os maiores deles tendo sido obtidos nos meses com maior vazão do Rio Corumbataí. Se analisada a correlação entre a cor e a turbidez com a vazão média mensal do ano de 1998 (Tabela 1), serão encontradas boas correlações, respectivamente, $r = 0,89$ e $r = 0,87$, o que sugere que os valores mais elevados devem-se à maior quantidade de material em suspensão transportado para o rio pelas águas superficiais de escoamento. O Rio Corumbataí, em Santa Terezinha, esteve no padrão aceito de cor para a Classe 2 (máximo de 75 ppm Pt) somente em três meses no ano de 1998 (Julho, Agosto e Novembro). Nos demais meses, os valores foram muito maiores que o aceito para a Classe 2. Em rela-

ção à turbidez, o Rio Corumbataí esteve acima do padrão aceito para a Classe 2 (máximo de 100 UNT) em dois meses no ano de 1998 (Janeiro e Fevereiro).

A análise biológica (coliformes fecais e coliformes totais) é importante para a detecção da contaminação das águas superficiais por esgoto. Os valores de coliformes fecais e totais

obtidos (Tabela 3) são maiores que os limites para Classe 2 da Resolução CONAMA 20/1986, sugerindo que a condição atual do Rio Corumbataí após Rio Claro seja Classe 4. Isto se deve ao lançamento direto de esgoto no Rio Corumbataí pelo município de Rio Claro, sem prévio tratamento, o que também foi observado por Palma-Silva (1999).

Tabela 3 – Médias mensais de cor, turbidez, coliformes totais e coliformes fecais nas águas do Rio Corumbataí na Fazenda Recreio, próximo a Santa Terezinha.

Mês de 1998	Vazão** (m ³ /s)	Turbidez* (UNT)	Cor* (ppm Pt)	Coliformes Totais* NMP/100mL	Coliformes Fecais* NMP/100mL
Janeiro	26,15	128	580	11000	6000
Fevereiro	62,05	185	710	121500	44000
Março	45,00	91	410	205000	50000
Abril	20,30	29	200	9000	5000
Maió	18,30	26	130	24000	4000
Junho	14,34	13	100	14000	4000
Julho	10,83	7	45	6650	1510
Agosto	9,75	12	65	9500	1000
Setembro	10,95	20	105	1300	170
Outubro	16,94	36	150	23000	1400
Novembro	9,01	10	65	800	300
Dezembro	18,41	76	395	32900	18870
Média		52,8	244,4	38200	11350

* Dados fornecidos pelo SEMAE de Piracicaba

**Dados da Tabela 1

A variabilidade da vazão, pH, condutividade, oxigênio dissolvido e resíduo seco nas águas fluviais das seis estações de amostragem na bacia do Rio Corumbataí está representada na Tabela 4 e Figura 4. A vazão média diária de cada sub-bacia do Rio Corumbataí foi determinada a partir da vazão média diária no posto de Recreio e da porcentagem de contribuição de vazão de cada rio (Tabela 2), sendo esses valores representados na Tabela 4. A média ponderada envolvendo o oxigênio dissolvido, resíduo seco e demais parâmetros químicos foi determinada a partir da seguinte equação:

$$U_E = \frac{\sum_{i=1}^n (U_i V_i)}{\sum_{i=1}^n (V_i)} \quad (4)$$

Onde:

U_E = média ponderada do parâmetro (mg/L);

U_i = concentração do parâmetro na i -ésima amostra (mg/L);

V_i = vazão do rio durante a coleta da i -ésima amostra (m³/s).

O pH tem uma estreita interdependência entre as comunidades vegetais, animais e o meio aquático. Sobre as comunidades, o pH atua diretamente nos processos de permeabilidade da membrana celular, interferindo no transporte iônico intra e extracelular (Esteves, 1988). O valor máximo foi registrado no Rio das Cabeças (7,4), no dia 21/10/1998, e o menor valor, no Rio Corumbataí, em Analândia (5,9), no dia 18/11/1998. Os valores obtidos em todos os pontos de amostragem indicam que as águas da Bacia do Rio Corumbataí encontram-se próximo à neutralidade. Em Analândia, o Rio Corumbataí apresenta-se ligeiramente mais ácido (média de 6,6) que em Ajapí/Ferraz e que na

foz, em Santa Terezinha (médias de 6,8). Nos afluentes, o pH é semelhante (média de 6,9, para os rios Passa Cinco, das Cabeças e Ribeirão Claro), sendo, também, similar ao das águas do Rio Corumbataí, na sua foz.

Através da condutividade é possível (Porto, 1991): quantificar os macronutrientes; obter informações sobre a produção primária (reduz a condutividade) e a decomposição (aumenta a condutividade); identificar as fontes poluidoras; identificar as diferenças hidrogeoquímicas. Os menores valores de condutividade elétrica foram obtidos para o Rio Corumbataí em Analândia e entre Ajapí e Ferraz (média de 48 - 49 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Os maiores valores de condutividade foram obtidos sempre no Rio Corumbataí, em Santa Terezinha (média de 205 $\mu\text{S}/\text{cm}$), sendo esse valor muito maior que o encontrado entre Ajapí e Ferraz. Apesar do intemperismo das rochas poder elevar a condutividade dessa maneira, acredita-se que a elevação se deve, principalmente, à contribuição de efluentes domésticos provenientes da cidade de Rio Claro, que não possuía estação de tratamento de esgoto na época da coleta. Dentre os afluentes, o Rio das Cabeças e Ribeirão Claro possuem valores de condutividade um pouco acima (mé-

dia de 55 - 68 $\mu\text{S}/\text{cm}$) daqueles encontrados no Rio Corumbataí, em Analândia, enquanto que o Rio Passa Cinco possui condutividade mais elevada (média de 110 $\mu\text{S}/\text{cm}$) em relação à dos outros afluentes. Os maiores valores de resíduo seco a 105°C ocorrem sempre no Rio Corumbataí, em Santa Terezinha (média ponderada de 178 mg/L), igualmente ao que se constatou para a condutividade.

Em relação ao oxigênio dissolvido, suas principais fontes para a água são a atmosfera e a fotossíntese, devendo-se, as perdas, à decomposição de matéria orgânica (oxidação), difusão para a atmosfera, respiração dos organismos aquáticos e oxidação de íons metálicos (Esteves, 1988). Os valores do Rio Corumbataí, em Santa Terezinha (média ponderada de 6,9 mg/L), são menores que os demais, provavelmente, devido à decomposição de matéria orgânica (por oxidação) ou temperatura das amostras no instante de coleta. Os valores mais elevados encontrados para os rios Passa Cinco e das Cabeças (média ponderada de 7,7 mg/L) indicam a ocorrência de boa oxigenação ao longo desses rios, devido ao fato de que nascem nas encostas da Serra de Itaqueri, sendo oxigenados em diversas cachoeiras ao longo de seu leito.

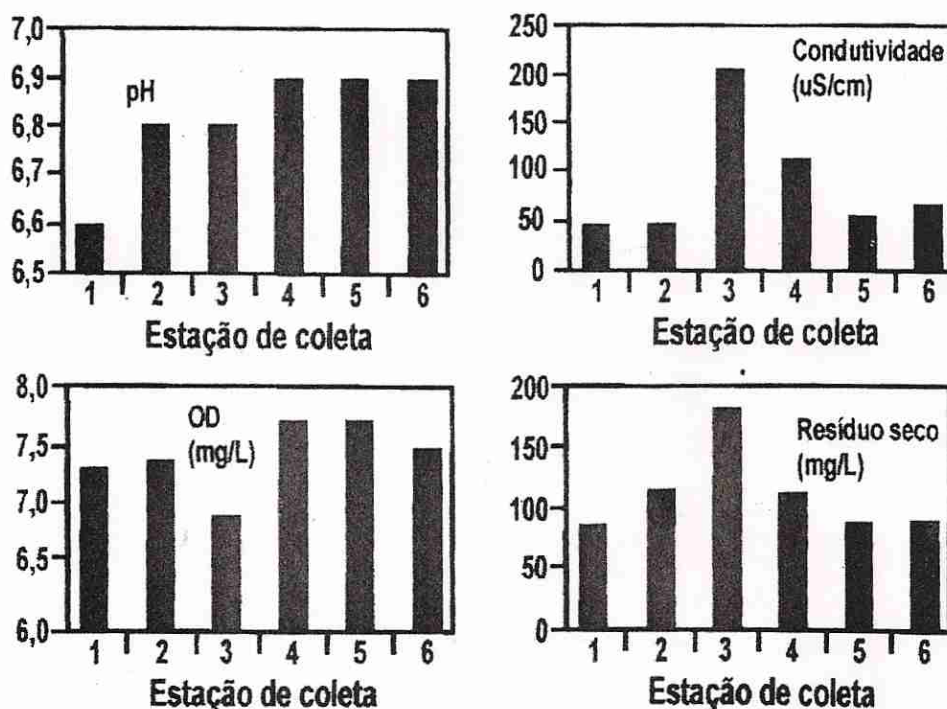


Figura 4 – pH médio, condutividade média e média ponderada de OD e resíduo seco nos seis pontos de amostragem na bacia do Rio Corumbataí. 1 – Rio Corumbataí (Analândia); 2 – Rio Corumbataí (Ajapí/Ferraz); 3 – Rio Corumbataí (Santa Terezinha); 4 – Rio Passa Cinco; 5 – Rio das Cabeças; 6 – Ribeirão Claro.

Tabela 4 – Valores de vazão, pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido e resíduo seco das águas pluviais na bacia do Rio Corumbataí.

Local de coleta	Vazão (m ³ /s)	pH	Cond. (μS/cm)	O. D. (mg/L)	R. S. (mg/L)
1 - (13/08/98)	0,74	6,80	48,30	7,30	67,00
2 - (13/08/98)	3,19	7,00	48,70	7,30	97,00
3 - (13/08/98)	9,80	6,70	284,40	6,70	191,00
4 - (13/08/98)	2,53	6,90	93,20	7,80	87,00
5 - (13/08/98)	0,95	6,90	52,60	7,80	75,00
6 - (13/08/98)	0,84	7,00	65,50	7,70	80,00
1 - (23/09/98)	0,85	6,70	33,30	7,50	35,00
2 - (23/09/98)	3,66	6,70	38,10	7,40	49,00
3 - (23/09/98)	11,22	6,80	170,70	6,90	127,00
4 - (23/09/98)	2,89	7,00	75,00	7,80	98,00
5 - (23/09/98)	1,08	6,70	52,10	7,80	48,00
6 - (23/09/98)	0,96	6,80	60,00	7,50	76,00
1 - (21/10/98)	0,89	7,20	45,70	7,80	49,00
2 - (21/10/98)	3,86	7,00	41,30	7,30	65,00
3 - (21/10/98)	11,84	7,30	208,00	7,30	154,00
4 - (21/10/98)	3,05	7,20	89,10	7,80	98,00
5 - (21/10/98)	1,14	7,40	54,70	7,90	48,00
6 - (21/10/98)	1,01	7,30	67,40	7,80	76,00
1 - (18/11/98)	0,70	5,90	53,10	7,00	61,00
2 - (18/11/98)	3,00	6,50	39,30	7,50	113,00
3 - (18/11/98)	9,21	6,50	206,00	6,50	195,00
4 - (18/11/98)	2,37	6,80	70,20	7,80	118,00
5 - (18/11/98)	0,89	6,60	42,10	7,90	54,00
6 - (18/11/98)	0,79	6,50	59,80	7,30	77,00
1 - (23/12/98)	1,58	6,50	56,10	7,90	136,00
2 - (23/12/98)	6,83	6,70	55,30	7,70	199,00
3 - (23/12/98)	20,94	6,80	179,80	7,30	217,00
4 - (23/12/98)	5,40	7,00	99,10	7,90	171,00
5 - (23/12/98)	2,02	7,20	55,80	7,90	139,00
6 - (23/12/98)	1,79	7,00	72,90	7,80	101,00
1 - (20/01/99)	3,37	6,80	53,00	6,90	100,00
2 - (20/01/99)	14,56	6,70	69,90	7,30	125,00
3 - (20/01/99)	44,66	6,90	182,80	6,80	172,00
4 - (20/01/99)	11,51	6,80	231,00	7,40	87,00
5 - (20/01/99)	4,31	6,80	74,10	7,40	92,00
6 - (20/01/99)	3,82	6,80	82,10	7,30	99,00

Parâmetros químicos

Na Tabela 5, constam os resultados obtidos para os principais ânions e cátions dissolvidos nas águas fluviais da bacia do Rio Corumbataí, cuja variabilidade encontra-se ilustrada na Figura 5. Os resultados obtidos para os principais ânions dissolvidos sugerem que os rios estudados enquadram-se na Classe 2 da Resolução

CONAMA 20/1986, porém, em termos de fosfato, todas as amostras apresentaram valores maiores que o permitido para a Classe 2 (máximo de 0,025 mg/L). As rochas da região são rochas sedimentares da Bacia do Paraná, que contribuem pouco com o aporte de fósforo (concentração média de fósforo de 0,487 mg/g), principalmente pela ausência de apatita, que é a principal fonte natural de fósforo (Conceição, 2000).

Tabela 5 – Parâmetros químicos para as águas fluviais na bacia do Rio Corumbataí.

Local de coleta	Na ⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻
1 - (13/08/98)	1,53	9,10	1,51	0,80	0,00	5,72	1,22	8,00	0,04
2 - (13/08/98)	1,50	10,50	1,21	1,30	1,00	5,28	1,08	8,00	0,04
3 - (13/08/98)	6,00	25,00	8,72	6,00	17,00	9,24	1,08	40,00	0,15
4 - (13/08/98)	3,31	11,80	1,71	3,40	9,00	3,96	1,22	14,00	0,08
5 - (13/08/98)	1,36	10,90	1,07	1,60	0,00	3,52	1,22	16,00	0,02
6 - (13/08/98)	2,36	12,10	1,19	1,90	0,00	4,40	1,69	16,00	0,03
1 - (23/09/98)	1,94	11,31	1,21	1,71	2,00	3,52	1,27	8,00	1,11
2 - (23/09/98)	2,05	9,22	1,29	1,73	12,00	5,28	1,44	8,00	0,91
3 - (23/09/98)	7,56	18,58	4,16	5,51	48,00	10,56	4,45	30,00	0,96
4 - (23/09/98)	2,76	13,41	1,87	3,59	29,00	4,84	1,17	15,00	1,13
5 - (23/09/98)	2,75	9,64	1,61	1,95	22,00	4,40	1,76	10,00	0,06
6 - (23/09/98)	3,11	13,24	1,24	2,35	6,00	3,96	1,17	10,00	0,94
1 - (21/10/98)	3,05	7,88	1,42	1,36	2,00	3,96	1,76	9,00	0,98
2 - (21/10/98)	2,11	9,76	1,23	1,73	1,00	2,20	1,27	10,00	0,30
3 - (21/10/98)	8,34	17,68	3,55	6,71	44,00	8,36	4,11	30,00	0,58
4 - (21/10/98)	3,63	10,75	1,77	3,88	16,00	2,20	1,83	18,00	1,39
5 - (21/10/98)	3,01	9,81	1,31	2,11	1,00	2,20	1,76	14,00	0,33
6 - (21/10/98)	3,21	11,97	1,48	2,43	1,00	1,76	1,91	15,00	0,45
1 - (18/11/98)	4,71	8,55	1,49	1,61	1,00	8,36	2,43	6,00	0,18
2 - (18/11/98)	2,07	8,99	1,08	1,59	1,00	6,16	1,38	9,00	0,18
3 - (18/11/98)	10,71	16,39	4,65	4,72	21,00	13,64	6,16	30,00	0,13
4 - (18/11/98)	2,41	10,04	1,49	3,27	5,00	6,16	1,32	16,00	0,28
5 - (18/11/98)	1,82	8,99	0,99	1,74	1,00	3,52	1,17	12,00	0,91
6 - (18/11/98)	3,17	11,07	1,26	2,28	1,00	3,52	1,44	15,00	0,52
1 - (23/12/98)	3,42	6,29	1,71	1,42	15,00	4,40	3,10	14,00	0,33
2 - (23/12/98)	3,01	9,14	1,73	2,03	7,00	5,28	1,69	13,00	0,64
3 - (23/12/98)	6,93	16,79	2,89	6,61	32,00	13,20	4,46	25,00	0,88
4 - (23/12/98)	3,27	10,17	1,89	4,06	16,00	1,76	1,69	16,00	1,65
5 - (23/12/98)	3,31	7,82	1,97	2,17	3,00	1,76	1,98	10,00	0,59
6 - (23/12/98)	2,31	8,18	1,71	2,35	3,00	2,64	2,33	18,00	0,90
1 - (20/01/99)	1,92	5,91	1,34	1,72	1,00	7,48	2,63	18,00	0,11
2 - (20/01/99)	2,86	8,29	1,48	2,33	30,00	7,48	1,38	16,00	0,63
3 - (20/01/99)	6,19	12,09	2,16	6,77	37,00	9,24	3,80	26,00	2,72
4 - (20/01/99)	3,58	11,78	1,56	4,58	60,00	7,04	1,43	18,00	0,80
5 - (20/01/99)	2,79	9,29	1,61	2,74	8,00	5,72	1,17	18,00	0,30
6 - (20/01/99)	2,65	8,51	2,02	2,75	18,00	5,72	1,38	16,00	0,10

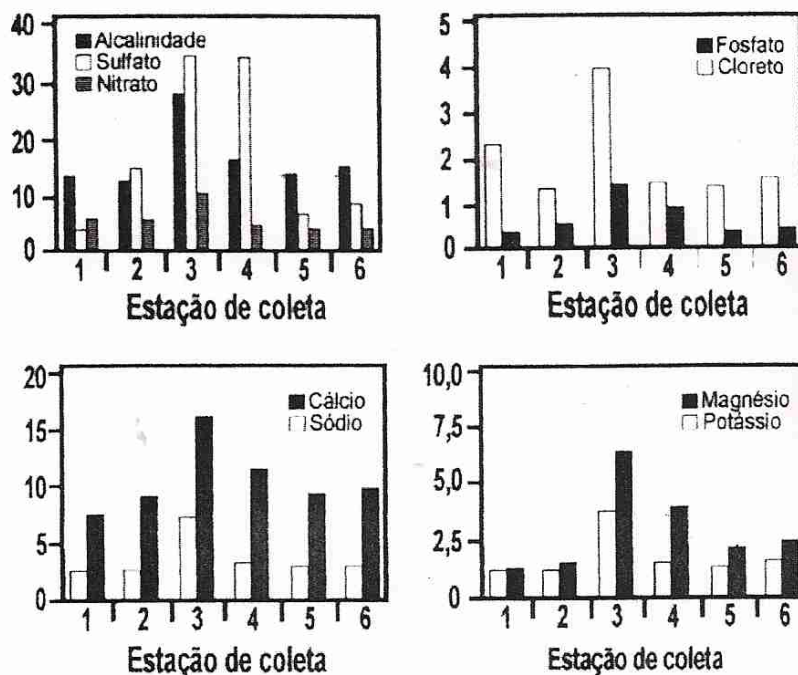


Figura 5 – Média ponderada (mg/L) dos principais ânions e cátions nos seis pontos de amostragem na bacia do Rio Corumbataí. 1 – Rio Corumbataí (Analândia); 2 – Rio Corumbataí (Ajapí/Ferraz); 3 – Rio Corumbataí (Santa Terezinha); 4 – Rio Passa Cinco; 5 – Rio das Cabeças; 6 – Ribeirão Claro.

O fósforo é um elemento fundamental para o metabolismo dos seres vivos, tais como: armazenamento de energia (ATP) e a estruturação da membrana plasmática (fosfolipídeos) (Esteves, 1988). Em Santa Terezinha, foram encontrados os maiores valores de fosfato (média ponderada de 1,31 mg/L), tendo Palma-Silva (1999) atribuído a sua presença às descargas de esgoto residencial. Porém, se levarmos em consideração os coliformes totais quantificados nas mesmas amostras em que o fosfato foi quantificado, obtém-se uma baixa correlação ($r = 0,31$) entre esses parâmetros, sugerindo outros fatores responsáveis pela sua presença nas águas do Rio Corumbataí. Na bacia estudada, há intensas plantações de cana-de-açúcar por usinas que a transformam em açúcar e álcool, com a produção de grande quantidade de resíduos industriais. Rothbaum *et al.* (1979) evidenciam que o urânio é móvel e é transportado como íon uranila, onde, em locais com pouca matéria orgânica, ele apresenta mobilidade similar ao fosfato. Conceição & Bonotto (2000) observaram uma correlação elevada do urânio com o fosfato ($r = 0,84$), vazão com o fosfato ($r = 0,94$) e vazão com o urânio ($r = 0,96$), sugerindo que o Rio Corumbataí deve estar rece-

bendo, através da erosão laminar, grande quantidade de radionuclídeos provenientes da agricultura (que estão incorporados aos fertilizantes fosfatados), pois os solos na bacia do Rio Corumbataí são ácidos e possuem pouca matéria orgânica. Conceição & Bonotto (2002) sugerem que até 40 % do urânio dissolvido nas águas do Rio Corumbataí (no período de chuva), em Santa Terezinha, provém de fertilizantes utilizados na agricultura e, como o comportamento do fosfato está relacionado com o do urânio, em épocas de chuva, pode-se sugerir que há, também, uma entrada antropogênica de fosfato, devido à agricultura, de cerca de 40 %.

O nitrato, íon altamente solúvel, é encontrado em águas, como resultado da oxidação de compostos nitrogenados. Em Santa Terezinha, seu valor médio ponderado excedeu a todos os demais obtidos, correspondendo a 10,6 mg/L, que é ligeiramente superior ao máximo permitido para a Classe 2 (10 mg/L). Para o Rio Corumbataí, em Santa Terezinha, os altos valores de fosfato e nitrato por ação antrópica devem ser considerados como fatores desencadeadores do processo de eutrofização (aumento da concentração de nutrientes nos ecossistemas aquáticos), provocando o crescimento exage-

rado dos organismos aquáticos autotróficos, particularmente algas plantônicas (fitoplâncton) ou outras plantas aquáticas (macrófitas) em reservatórios ou águas paradas (Conceição *et. al.*, 1999). Esteves (1988) e Tundisi (1986) apontam diversos problemas causados pela eutrofização, como o aumento das plantas aquáticas, causando dificuldade na navegação de barcos e o consumo de grande quantidade de oxigênio, o que dificulta a fotossíntese das algas. Além disso, alguns tipos de algas são tóxicas, podendo provocar sabor e mal cheiro na água de abastecimento.

A alcalinidade representa a capacidade de um ecossistema aquático em neutralizar ácidos a ele condicionado (Esteves, 1988). A maior média ponderada de alcalinidade foi também obtida em Santa Terezinha (28,6 mg/L) e pode ter aumentado devido ao lançamento de efluentes domésticos pela cidade de Rio Claro. Os maiores valores para sulfato, cloreto, sódio, cálcio, potássio e magnésio foram sempre encontrados em Santa Terezinha (média ponderada de 34,3, 4,0, 7,2, 16,4, 3,7 e 6,3 mg/L, respectivamente), igualmente ao verificado para os demais ânions, condutividade e resíduo seco. Estes elementos contribuem para o crescimento de macrófitas e fitoplâncton (Nogueira, 1991), de maneira que o seu aumento no Rio Corumbataí em Santa Terezinha pode, também, agravar o processo de eutrofização desse rio. Testes de correlação estatísti-

ca para amostras do Rio Corumbataí, em Santa Terezinha, indicaram uma correlação significativa entre alcalinidade e cálcio ($r = 0,90$), potássio e cálcio ($r = 0,93$) e, conseqüentemente, entre potássio e alcalinidade ($r = 0,97$), sugerindo que, no Rio Corumbataí, a alcalinidade pode ser ocasionada por bicarbonatos de cálcio e potássio.

As amostras da primeira etapa de coleta, realizada no dia 13/08/1998, foram também analisadas quanto ao teor de ferro, cobre, zinco, bário, cádmio, cromo total, chumbo, boro, níquel, manganês, alumínio e silício, estando os resultados obtidos, apresentados na Tabela 6. Através de manejos inadequados, alguns desses elementos podem ser arrastados às águas, concentrarem-se nos sedimentos e plantas aquáticas e tornarem-se fontes de poluição, através de seu efeito cumulativo na cadeia alimentar, ocasionando doenças e até a morte de peixes e outros organismos. Dentre os elementos analisados, somente o ferro situa-se acima do valor padrão da Classe 2, para todos os pontos de coleta, podendo tornar essas águas corrosivas e favorecer o desenvolvimento de bactérias ferrogênicas (oxidantes de ferro).

Classificação das águas

A dureza relativa ao CaCO_3 (mg/L) é uma medida baseada no teor de cálcio e magnésio da água (Todd, 1980). Quase todas as águas

Tabela 6 – Teores (mg/L) dos elementos nas águas fluviais da bacia do Rio Corumbataí, coletadas no dia 13/08/1998.

Elemento	Rio Corumbataí (Analândia)	Rio Corumbataí (Sta. Terezinha)	Rio Corumbataí (Ajapí/Ferraz)	Rio Passa Cinco	Rio das Cabeças	Rio Ribeirão Claro
Fe	0,40	0,20	0,40	0,30	0,70	0,50
Cu	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Zn	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Ba	0,03	0,05	0,04	0,05	0,04	0,02
Cd	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Cr	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Pb	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
B	<0,05	0,06	<0,05	<0,05	<0,05	0,06
Ni	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Mn	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Al	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,06	0,10
Si	5,90	6,20	7,10	7,10	5,80	4,70

superficiais da bacia do Rio Corumbataí podem ser classificadas como moles, de acordo com a classificação de Sawyer & McCarty (1967), uma vez que o maior valor obtido foi de 72,9 mg/L; a única exceção correspondeu ao Rio Corumbataí, em Santa Terezinha (amostra coletada em 13/08/1998), cuja classificação é moderadamente dura (87,1 mg/L).

De maneira a classificar quimicamente as águas superficiais da bacia do Rio Corumbataí, decidiu-se utilizar o diagrama de Piper (1944) (Fig. 6), o qual fornece a distribuição iônica total, isto é, indica a característica química da água e aponta semelhanças entre várias águas (Bonotto & Mancini, 1992). Quanto aos cátions dissolvidos, as águas fluviais, em sua grande maioria, são classificadas como cálcicas e, em relação aos ânions dissolvidos, uma grande variabilidade foi observada, de maneira que as águas do Rio Passa Cinco, Rio Corumbataí em Analândia, entre Ajapí/Ferraz e em Santa Terezinha, são classificadas, em sua maioria, como mistas e as águas do Rio das Cabeças e

do Ribeirão Claro, em sua maioria, como bicarbonatadas.

Outra classificação química das águas superficiais foi sugerida por Gibbs (1970), com base nos valores dos sólidos totais dissolvidos e na relação $Na/Na+Ca$, sendo representados, esses parâmetros, num diagrama tipo bumerangue. Na Figura 7, estão inseridos os valores médios de Na, Ca e resíduo seco obtidos neste trabalho. As amostras do Rio Passa Cinco, Rio das Cabeças, Ribeirão Claro, Rio Corumbataí, em Analândia, e o Rio Corumbataí, entre Ajapí e Ferraz, indicam que essas águas exibem contribuição predominante das precipitações em sua composição. Já a amostra do Rio Corumbataí, em Santa Terezinha, está posicionada na região central do diagrama, o que poderia sugerir uma maior atuação dos processos de intemperismo químico. Contudo, como influências antropogênicas estão afetando os dados hidroquímicos neste ponto de coleta, conforme anteriormente referido, não é possível assegurar o grau de atuação dos processos intempéricos.

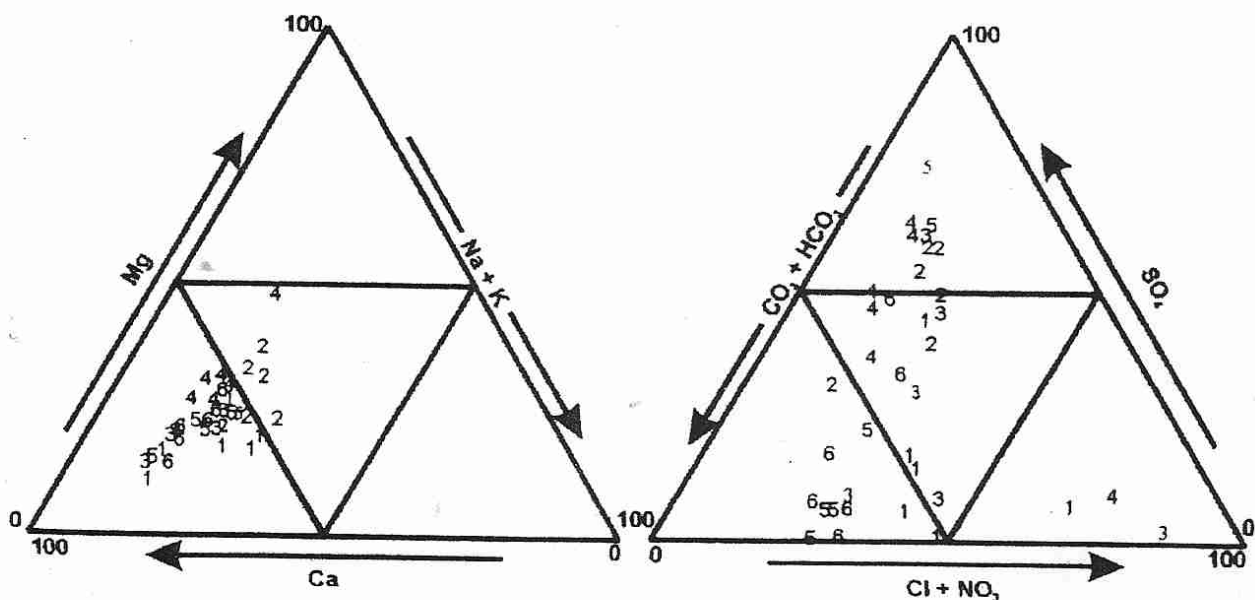


Figura 6 – Classificação das águas superficiais na Bacia do Rio Corumbataí de acordo com o diagrama de Piper (1944). 1 – Rio Corumbataí (Analândia); 2 – Rio Corumbataí (Ajapí/Ferraz); 3 – Rio Corumbataí (Santa Terezinha); 4 – Rio Passa Cinco; 5 – Rio das Cabeças; 6 – Ribeirão Claro.

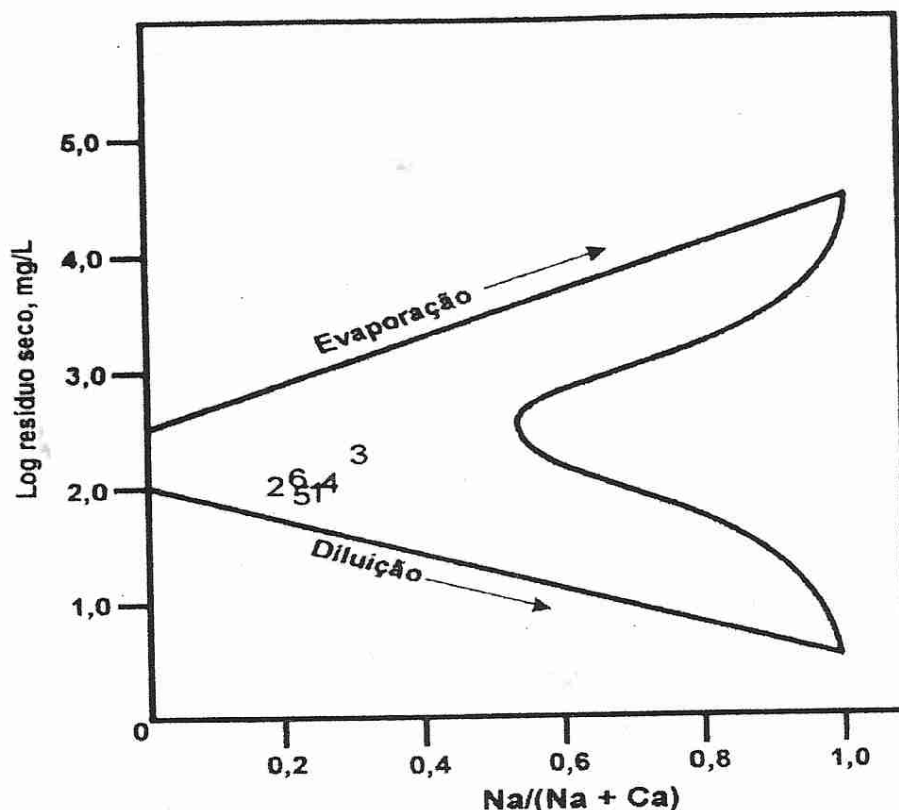


Figura 7 – Classificação das águas superficiais na bacia do Rio Corumbataí de acordo com o diagrama de Gibbs (1970). 1 – Rio Corumbataí (Analândia); 2 – Rio Corumbataí (Ajapí/Ferraz); 3 – Rio Corumbataí (Santa Terezinha); 4 – Rio Passa Cinco; 5 – Rio das Cabeças; 6 – Ribeirão Claro.

Transporte específico dos rios na bacia do Rio Corumbataí

Para se conhecer o transporte específico na bacia do Rio Corumbataí, é necessário relacionar os dados da área drenada pelo Rio Corumbataí e seus afluentes com a vazão média do rio e a concentração média ponderada para cada íon, isto é, deve-se estimar a quantidade total evacuada pelo rio em t/km²/ano (Moreira-Nordemann, 1977). A Tabela 7 apresenta os dados de área

(km²) e vazão média ponderada do período de amostragem (m³/s) para todos os pontos de coleta. A Tabela 8 expressa as médias ponderadas (pela vazão) e o transporte específico para os principais cátions e ânions em todos os pontos de amostragem da bacia do Rio Corumbataí, estando ilustrado, na Figura 8, o transporte específico de cada rio. Com isso, é possível efetuar uma melhor comparação entre todos os pontos de coleta e verificar possíveis entradas antrópicas ocorrendo na bacia do Rio Corumbataí.

Tabela 7 – Área e vazão do Rio Corumbataí e sub-bacias.

Região	Área (km ²)	Vazão (m ³ /s)
Rio Corumbataí - Analândia	96	1,36
Rio Corumbataí - Ajapí/Ferraz	369	5,86
Rio Corumbataí - Santa Terezinha	1581	17,95
Sub-bacia do Rio Passa Cinco	318	4,63
Sub-bacia do Rio das Cabeças	119	1,73
Sub-bacia do Ribeirão Claro	178	1,54

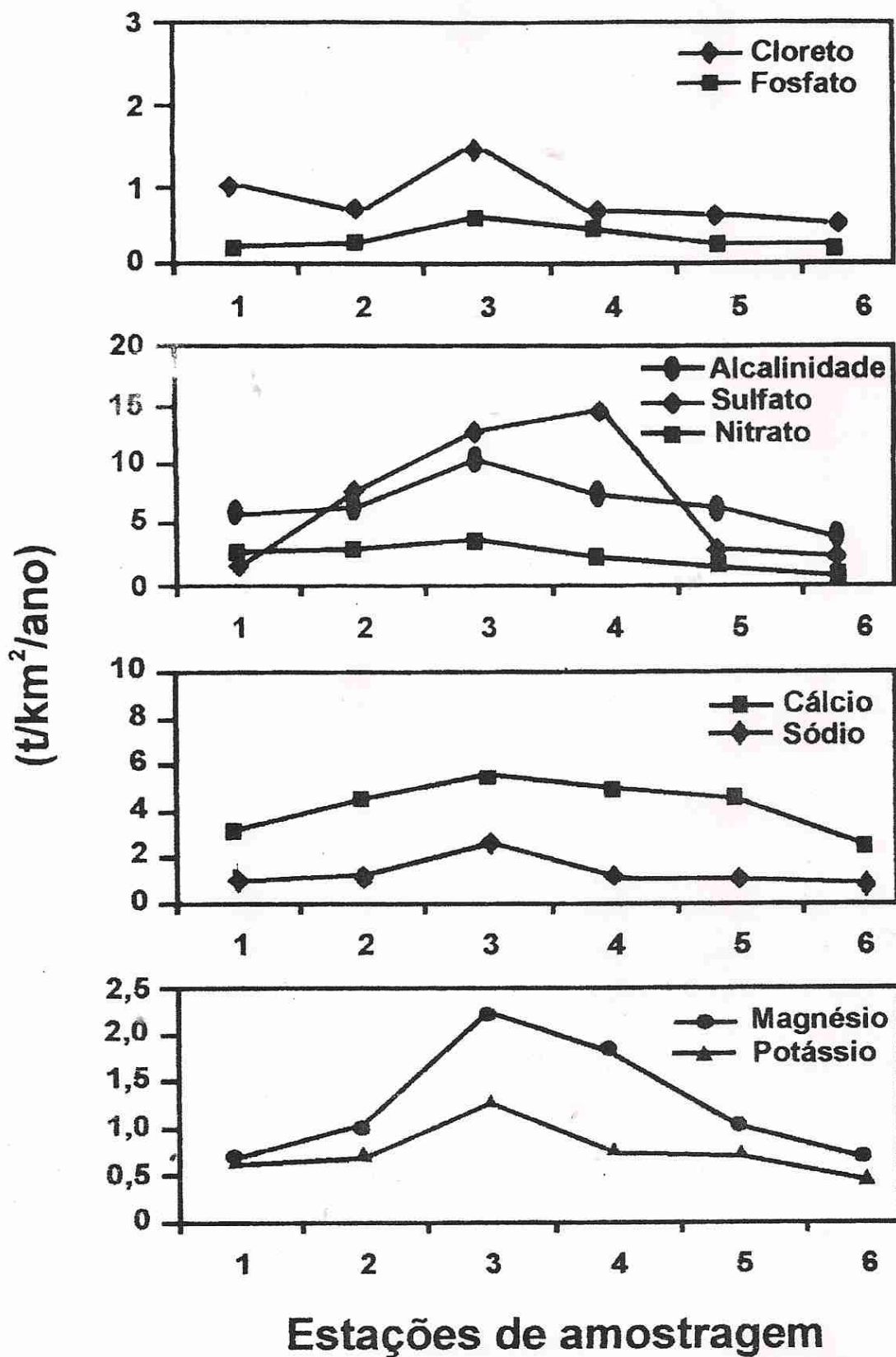


Figura 8 – Transporte específico dos principais cátions e ânions nos seis pontos de amostragem na bacia do Rio Corumbataí. 1 – Rio Corumbataí (Analândia); 2 – Rio Corumbataí (Ajapí/Ferraz); 3 – Rio Corumbataí (Santa Terezinha); 4 – Rio Passa Cinco; 5 – Rio das Cabeças; 6 – Ribeirão Claro.

Tabela 8 – Valores das médias ponderadas e transporte específico para os principais cátions e ânions das águas fluviais da bacia do Rio Corumbataí.

Local de Coleta	Na ⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	
	mg/L									
RC/Analândia	2,54	7,28	1,44	1,53	0,35	3,76	6,00	2,34	13,25	
RC/Ajapi/Ferraz	2,52	8,78	1,41	1,97	0,53	15,25	5,89	1,40	12,52	
RC/Santa Terezinha	7,08	15,84	3,47	6,35	1,49	34,75	10,43	3,99	28,28	
Rio Passa Cinco	2,89	11,38	1,69	4,08	0,96	34,03	4,89	1,47	16,76	
Rio das Cabeças	2,70	9,22	1,54	2,29	0,36	6,38	4,04	1,42	14,48	
Ribeirão Claro	2,71	9,87	1,68	2,48	0,41	8,87	4,19	1,63	15,57	
	t/km ² /ano									
RC/Analândia	1,14	3,25	0,64	0,68	0,16	1,68	2,68	1,01	5,92	
RC/Ajapi/Ferraz	1,26	4,40	0,71	0,99	0,26	7,64	2,95	0,70	6,27	
RC/Santa Terezinha	2,54	5,67	1,24	2,27	0,54	12,44	3,74	1,43	10,12	
Rio Passa Cinco	1,33	5,22	0,78	1,87	0,44	15,62	2,24	0,67	7,69	
Rio das Cabeças	1,24	4,23	0,71	1,05	0,17	2,93	1,85	0,65	6,65	
Ribeirão Claro	0,74	2,69	0,46	0,68	0,12	2,42	0,51	0,45	4,25	

Conforme esperado, os valores de transporte encontrados no Rio Corumbataí, em Santa Terezinha, são superiores aos demais (Tabela 8), os quais não podem ser explicados apenas pela atuação dos processos intempéricos na bacia, de maneira que entradas antrópicas devem estar contribuindo para a elevação dos valores.

A cidade de Analândia está localizada dentro da Área de Proteção Permanente (APA) de Corumbataí, possui poucos habitantes e ainda tem um governo municipal preocupado com a conservação ambiental, que criou um Parque Ecológico Municipal. Analândia utiliza água para abastecimento de sua população através de três poços artesianos e pela retirada de água do Córrego da Fazenda dos Palhares. Seu maior problema está relacionado com as minerações de areia (regularizadas e clandestinas), que causam grandes alterações ambientais, tais como: mudança nas características químicas das águas do Ribeirão das Taipas (que é afluente do Rio Corumbataí) e insucesso no reflorestamento por árvores silvestres em lagoas soterradas (Palma-Silva, 1999). Com isso, esse município interfere pouco na qualidade de água do Rio Corumbataí, que têm suas condições Classe 2, indicando pouca poluição por fontes antropogênicas.

A cidade de Corumbataí também possui poucos habitantes, sua captação de água é feita em mananciais subterrâneos e praticamente todo o esgoto da cidade é tratado por um sistema de Lagoa de Estabilização. Esse municí-

pio também interfere pouco na qualidade de água do Rio Corumbataí, como demonstrado pelos parâmetros químicos aqui analisados, sendo a pouca contribuição de esgotos ainda não tratados, a maior fonte antrópica de poluição. Alguns parâmetros químicos são ligeiramente superiores aos encontrados em Analândia, fazendo com que o Rio Corumbataí, entre Ajapi/Ferraz, permaneça nas condições de Classe 2.

Atualmente, o Rio Corumbataí, após passar pela cidade de Rio Claro, sofre graves impactos ambientais, sendo intensamente alterada sua qualidade de água, devido à desordenada expansão urbana. A cidade de Rio Claro, de Agosto/1998 até Janeiro/1999, quando os parâmetros das amostras de água em Santa Terezinha foram analisados, não possuía estação de tratamento de esgoto, por isso o principal poluente para o Rio Corumbataí era o esgoto doméstico (aumentando os valores de PO₄³⁻ e NO₃⁻, coliformes totais e fecais), fazendo com que ele, principalmente no trecho entre o município de Rio Claro até sua foz em Piracicaba, tenha características de Classe 4, em concordância com outros autores como Salati (1996), Tãuk et al. (1996), Palma-Silva (1999) e Lima (2000). Há também o problema das atividades de mineração de calcário e atividades agro-industriais, que se localizam entre Rio Claro e Piracicaba e contribuem para as entradas antrópicas de alguns elementos (Ca²⁺, Na⁺ e Mg²⁺). Outra importante fonte de poluição, neste trecho, é a atividade agrícola

que, através do uso de fertilizantes e vinhaça em plantações de cana-de-açúcar e queimadas, ocasiona a liberação de grandes quantidades de macronutrientes (nitrogênio, fósforo e potássio). Tais mecanismos reforçam a proposição da ocorrência de eutrofização no Rio Corumbataí, no trecho entre Rio Claro e Piracicaba, gerada como consequência dessas entradas antropogênicas, o que pode prejudicar o sistema de captação de água da cidade de Piracicaba. Os valores de transporte expressos na Tabela 8 claramente evidenciam estes aspectos.

Como visto anteriormente, todos os afluentes possuem condições de Classe 2. As amostras de água do Ribeirão Claro foram coletadas antes da cidade de Rio Claro, com isso suas condições são de Classe 2, fato também evidenciado por Cunha (2000), que ressalta que, após passar por Rio Claro, suas condições são alteradas para Classe 4. O transporte determinado para o Rio Passa Cinco é superior aos dos outros afluentes, devido às atividades agrícolas em suas proximidades e ao fato dele passar pela cidade de Ipeúna, a qual, apesar de ter uma estação de tratamento de esgoto, ainda recebe parte dos esgotos domésticos. O Rio das Cabeças e o Rio Corumbataí, em Ajapí/Ferraz, contribuem de forma relativamente similar para o transporte específico dos elementos analisados e o transporte específico do Ribeirão Claro é menor que de todos os outros pontos analisados (Tabela 8). Assim, os resultados obtidos neste trabalho confirmam as diferentes características propostas por Bacci (1994) e Conceição & Bonotto (2002), para a bacia do Rio Corumbataí.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados da presente investigação hidroquímica, conduzida na bacia do Rio Corumbataí, levaram em conta parâmetros que permitiriam avaliar alterações na qualidade das águas superficiais e identificar possíveis impactos ambientais que acontecem nessa bacia. O Rio Corumbataí e seus afluentes são enquadrados na Classe 2 e, ao longo de seu curso, as características deveriam ser compatíveis com a classe de seu enquadramento. Porém, os parâmetros físico-químicos, químicos e biológicos analisados indicaram que isto não acontece.

O Rio Corumbataí, até a cidade de Rio Claro, permanece nas condições de Classe 2. Os municípios a montante de Rio Claro (Analân-

dia e Corumbataí) interferem pouco na qualidade de água do Rio Corumbataí, sendo, a maior fonte antrópica de poluição, a pouca contribuição de esgotos ainda não tratados. A jusante do município de Rio Claro, o Rio Corumbataí, até a sua foz em Piracicaba, passa a ter características de Classe 4. Isso se deve ao fato de o Rio Corumbataí receber grande carga de vários elementos através de atividades antrópicas, tais como: esgoto doméstico (NO_3^- , PO_4^{3-} , coliformes totais e fecais), mineração e agro-industriais (Ca^{2+} , Na^+ e Mg^{2+}) e atividades agrícolas (NO_3^- , PO_4^{3-} e K^+). Essas entradas antrópicas podem intensificar o processo de eutrofização das águas do Rio Corumbataí. Todos os afluentes do Rio Corumbataí (Rio Passa Cinco, Rio das Cabeças e Ribeirão Claro) estão em condições de Classe 2. O Rio Passa Cinco é o que possui pior qualidade de água, devido ao lançamento de efluentes domésticos (esgotos) pela cidade de Ipeúna e por atividades agrícolas próximas a ela. Outra importante conclusão é que a maior parte do material transportado na bacia do Rio Corumbataí é oriundo das sub-bacias do Rio Passa Cinco e do Rio das Cabeças.

Com isso, verifica-se que a maioria dos problemas ambientais na bacia do Rio Corumbataí, por atividades antrópicas, tem como causas principais a sua má utilização e falta de planejamento. Uma política que engloba como principal prioridade o desenvolvimento sustentável (desenvolvimento sócio-econômico com justiça social e em harmonia com o meio ambiente) deve ser exercida na bacia do Rio Corumbataí, de forma que manter a qualidade de água do Rio Corumbataí e seus afluentes é de extrema importância na integridade do sistema como um todo, protegendo os mananciais de abastecimento de água de Rio Claro e outras cidades.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP (processo nº 98/02217-5) pelo apoio dado durante a realização deste trabalho. Igualmente agradecem Dr. Jairo Roberto Jimenez-Rueda e ao Dr. Jorge Luiz Nepomuceno de Lima por inúmeros auxílios prestados. Também agradecem ao SEMAE (Piracicaba) pelos dados de cor, turbidez, coliformes fecais e coliformes totais, e ao DAEE pelo fornecimento dos dados de vazão do Rio Corumbataí. Finalmente, agradecem a dois revisores anônimos pelas sugestões apresentadas para a melhoria do manuscrito.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BACCI, D.C. (1994) Extração de areia na bacia do Rio Corumbataí (SP). Dissertação de Mestrado. IGCE, UNESP, Rio Claro, 115p.
- BONOTTO, D.M. & MANCINI, L.H. (1992) Estudo hidroquímico e isotópico dos aquíferos de Rio Claro (SP). *Geochim. Brasil.*, 6(2):153-167.
- CONCEIÇÃO, F.T. (2000) O método do desequilíbrio isotópico do urânio aplicado no estudo do intemperismo na bacia do Rio Corumbataí (SP). Dissertação de Mestrado. IGCE, UNESP, Rio Claro, 142p.
- CONCEIÇÃO, F.T. & BONOTTO, D.M. (2000) Anthropogenic influences on the uranium concentration in waters of the Corumbataí river basin (SP), Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, 30:551-553.
- CONCEIÇÃO, F.T. & BONOTTO, D.M. (2002) Weathering rates at Corumbataí river basin, São Paulo, Brazil, by the U-isotopes disequilibrium method. Submitted to *Journal of Geophysical Research*.
- CONCEIÇÃO, F.T.; LIMA, J.L.N.; BONOTTO, D.M. (1999) Hidroquímica elementar na bacia do Rio Corumbataí (SP). In: Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa, V e Congresso Brasileiro de Geoquímica, VII, Porto Seguro, Bahia. Anais, p.72-74.
- CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente (1992) Resolução do CONAMA, 4ª edição, Brasília, 1992, IBAMA.
- CUNHA, M.A.A. (2000) Diagnóstico da qualidade das águas da bacia do Ribeirão Claro (SP), através de diversas análises inclusive multivariadas. Dissertação de Mestrado. IGCE, UNESP, Rio Claro, 168p.
- ESTEVES, F.A. (1988) Fundamentos da Limnologia. Rio de Janeiro: Ed. Interciência/Finep, 575p.
- DAEE (1998) - Departamento de Águas e Energia Elétrica - Regionalização hidrológica no Estado de São Paulo. *Revista Água e Energia Elétrica* 14:4-10.
- DAEE -(1999) - Departamento de Águas e Energia Elétrica - Ofício BMT/049/99 (Autos nº 9800084 - DAEE).
- DAEE (2002) - Departamento de Água e Energia Elétrica - [On line]. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br>
- DREW, D. (1986) Processos interativos homem-meio ambiente. São Paulo: DIFEL, 206p.
- FRANÇA, A.B. & POTTER, P.E. (1988) Estratigrafia, Ambiente Depositional e Análise de Reservatório do Grupo Itararé (Pemocarbonífero), Bacia do Paraná (parte 1). *Boletim de Geociências da Petrobrás*, 2(2/4):147-192.
- GIBBS, R.J. (1970) Mechanisms controlling world water chemistry. *Science*, 170:1088-1090.
- HACH (1992) *Water Analysis Handbook*. 2nd Edition. Hach Company, Loveland, Colorado, USA.
- INÁCIO, A. & SANTOS, M.J.Z. (1988) Características climáticas de Rio Claro. *Boletim de Geografia Teórica*, 18(35-36):87-104.
- IPT - Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo - (1981) Mapa Geológico do Estado de São Paulo. Monografias, São Paulo.
- KÖFFLER, N.F. (1993) Diagnósticos do uso agrícola das terras da Bacia do Rio Corumbataí - SP. IGCE, UNESP, Relatório.
- KÖPPEN, W. (1948) *Climatologia*. México: Fondo de Cultura Económica.
- LIMA, J.L.N. (2000) Hidroquímica pluvial e fluvial na bacia do Rio Corumbataí (SP) e relações com o uso do Pb-210 como Geocronômetro. Tese de Doutorado. IGCE, UNESP, Rio Claro.
- MONTEIRO, C.A.F. (1973) A dinâmica climática e as chuvas no Estado de São Paulo. Instituto de Geografia, USP, São Paulo.
- MOREIRA-NORDEMANN, L.M. (1977) Étude de la vitesse d'alteration des roches au moyen de l'uranium utilisé comme traceur naturel. Application á deux bassins du nord-est du Brésil. These, Univ. Paris VI, 162p.
- NOGUEIRA, V.P. (1991) Qualidade da água em Lagos e Reservatórios. In: S.M. PORTO; R.W. CLEARY; R.M. COIMBRÁ; S. EIGER; S.J. LUCA; V.P.O. NOGUEIRA; M.F.A. PORTO *Hidrologia Ambiental*. São Paulo, EDUSP, 3:165-208.

- PALMA-SILVA, G.M. (1999) Diagnóstico ambiental, qualidade da água e índice de depuração do Rio Corubataí - SP. Dissertação de Mestrado. CEA, UNESP, Rio Claro.
- PENTEADO, M.M. (1976) Geomorfologia do setor centro-ocidental da Depressão Periférica paulista. Série teses e monografias, nº 22. IGEOG/USP, São Paulo.
- PIPER, A.M. (1944) A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses. Trans. Amer. Geophysical Union, 25:914-928.
- PORTO, F.A. (1991) Estabelecimento dos parâmetros de controle da poluição. In: S.M. PORTO; R.W. CLEARY; R.M. COIMBRA; S. EIGER; S.J. LUCA; V.P. NOGUEIRA; M.F.A. PORTO Hidrologia Ambiental. São Paulo, EDUSP, 3:375-390.
- ROTHBAUM, H.P.; MC'GAVESTON, D.A.; WALL, T.; JOHNSTON, A.E.; MATTINGLY, G.E.G. (1979) Uranium accumulation in soils from long-continued applications of superphosphate. Journal of Soil Science, 30(1):147-153.
- SALATI, E. (1996) Diagnóstico Ambiental Sintético e Qualidade de Água como Subsídio para o Planejamento Regional Integrado da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí, SP. Tese de Doutorado. USP, São Carlos.
- SAWYER, C.N. & McCARTY, P.L. (1967) Chemistry for sanitary engineers. McGraw - Hill, New York.
- TODD, D.K. (1980) Groundwater Hydrology. John Wiley & Sons, New York.
- TONETTO, E.M. (1986) O tório em águas subterrâneas de Águas da Prata (SP). Dissertação de mestrado. IGCE, UNESP, Rio Claro.
- TUNDISI, J.G. (1986) Ambiente, represas e barragens. Ciência Hoje, 5(27):48-55.