

## 8. IMPACTOS ANTRÓPICOS E BIODIVERSIDADE AQUÁTICA

---

### **CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DAS COLEÇÕES DE ÁGUA DAS PRINCIPAIS SUB- BACIAS DO MÉDIO RIO DOCE**

**O** estudo limnológico dos ecossistemas lóticos no Brasil encontra-se ainda em fase inicial, não existindo até o momento dados básicos que possam dar suporte à definição de políticas de conservação e manejo desses ambientes.

Até recentemente, o paradigma de Forbes — o lago como um microcosmo (Rigler & Peters, 1995) — constituía a base das pesquisas em limnologia, de tal forma que, apesar do grande crescimento verificado no conhecimento dos ecossistemas aquáticos nas últimas duas décadas, poucos foram os estudos que procuraram correlacionar os processos em andamento nos ambientes aquáticos com as ações antrópicas e os usos da água na bacia de drenagem.

Com a introdução do conceito de *carga* por Vollenweider (1968), o pensamento científico iniciou uma mudança considerável na abordagem dos estudos limnológicos básicos e aplicados, culminando com a introdução recente de um novo paradigma, que considera a bacia de drenagem e as interações bacia de drenagem/ecossistema aquático como a unidade de estudos e intervenção. Nessa nova concepção, os usos da água e os aspectos sócio-econômicos da bacia constituem elementos fundamentais para o entendimento dos processos em andamento nos ecossistemas aquáticos e na definição de políticas e estratégias de conservação e manejo desses ambientes (Tundisi & Barbosa, 1995).

*Francisco A. R. Barbosa (Coord.)*

*Eduardo M. de M. e Souza*

*Fábio Vieira*

*Germana de Paula C. P. Renault*

*Luíz Antônio Rocha*

*Paulina M. Maia-Barbosa*

*Sandra M. Oberdá*

*Sueli A. Mingoti*

O primeiro passo para tal abordagem é a caracterização física e química das principais coleções de água e dos sedimentos em uma bacia hidrográfica, que constitui a matriz básica sobre a qual os componentes da biota constroem suas interações recíprocas, modificando e incorporando os processos em andamento no meio físico-químico.

Tais estudos são de particular importância na bacia do Rio Doce, a terceira maior bacia de Minas Gerais, considerando seu alto grau de ocupação antrópica e o grande número de atividades altamente impactantes, entre as quais mineração/garimpo, siderurgia, monoculturas, principalmente de *Eucalyptus* spp., em grandes extensões, indústria de celulose e aglomerados urbanos, que produzem grandes volumes e tipos de subprodutos freqüentemente lançados, sem qualquer tratamento prévio, nas coleções de água da bacia.

## ÁREAS DE ESTUDO

Em termos gerais, as diferentes coleções de água do trecho médio da bacia do Rio Doce foram agrupadas em sete sub-bacias, assim denominadas: Caraça, Rio Santa Bárbara, Rio Piracicaba, Rio do Peixe, Ribeirão Severo, Ribeirão Ipanema e Rio Doce, as quais foram amostradas nos períodos de seca e chuva dos anos de 1993, 1994 e no período de seca de 1995. Para as amostragens, foram definidas 20 estações escolhidas de modo a representar os possíveis impactos das atividades antrópicas acima listadas.

Uma descrição geral dessas estações por sub-bacia e segundo um gradiente longitudinal a partir das cabeceiras do Rio Piracicaba é fornecida a seguir e sua localização geográfica é mostrada na Figura 8.1.

A estação 1, localizada no Parque Natural do Caraça, apesar de contribuir para a Sub-bacia do Rio Santa Bárbara, é tomada neste estudo como representando a Sub-bacia Ribeirão Caraça, considerada como uma *estação de referência*, onde a quase ausência de impactos antrópicos fornece uma indicação da qualidade do ambiente existente antes da ocupação antrópica da bacia. Está localizada a 1200 m de altitude, possui águas predominantemente ácidas e pobres em nutrientes (oligotróficas), constituindo portanto um ambiente naturalmente diferenciado do restante da bacia.

As estações 3, 4 e 5 representam a Sub-bacia Rio Santa Bárbara, cujos impactos predominantes são atividades de siderurgia (estação 3), descarga de esgotos domésticos e mineração (estação 4), impactos estes provavelmente mitigados pelo *efeito regulador* o reservatório de Peti (estação 5), onde são retidas quantidades consideráveis de sólidos em suspensão e matéria orgânica das regiões de montante, a julgar pela transparência da água e existência de algas bentônicas nessa estação.

A Sub-bacia do Rio Piracicaba, um dos principais afluentes do Rio Doce na margem esquerda, é provavelmente a mais impactada, considerando-se o número e a diversidade de atividades antrópicas ali instaladas. Neste estudo é representada pelas estações 2 (a montante de Santa Rita Durão, município de Mariana), 6A (a montante) e 6 (a jusante da cidade de João Monlevade), 7A (a jusante da cidade de Nova Era), 9A (a montante) e 9 (a jusante da cidade de Coronel Fabriciano), 10 (a jusante dos efluentes da Usiminas). Apesar de localizada no Rio Doce, foi incluída nessa sub-bacia a estação

11A (margem esquerda do Rio Doce, a jusante do município de Ipatinga), por receber, diretamente, todas as contribuições da Sub-bacia do Rio Piracicaba e também aquelas da Sub-bacia Ribeirão Ipanema, concentrando portanto o somatório dos impactos da mineração/garimpo, siderurgia e aporte de esgotos domésticos e industriais.

As Sub-bacias do Rio do Peixe, Ribeirão Severo e Ribeirão Ipanema são representadas respectivamente pelas estações 7, 8 e 10A, as duas primeiras refletindo principalmente os impactos das atividades de mineração (estação 7) e agricultura/pecuária extensiva (estação 8). Destaque-se o fato de que essas estações têm a qualidade de suas águas grandemente melhorada em função dos vários encachoeiramentos ao longo dos cursos d'água, proporcionados pela grande declividade do terreno. Tais contribuições constituem na verdade entrada de água de melhor qualidade, que contribuem de forma significativa, através do processo de diluição, para a melhoria da qualidade da água do Rio Piracicaba. A estação 10A representa a Sub-bacia do Ribeirão Ipanema, que drena desde a nascente até a foz o município de Ipatinga e constitui o principal coletor de esgotos domésticos e industriais da maior cidade do Vale do Aço.

A Sub-bacia do Rio Doce é representada neste estudo por um pequeno trecho do curso médio do Rio Doce, entre os municípios de Rio Casca e Belo Oriente, cuja qualidade das águas foi avaliada através das estações 11B, 11C, 12, 13 e 14. A estação 11B foi escolhida com a finalidade de possibilitar a realização de um balanço de massa entre as contribuições da Sub-bacia do Rio Piracicaba, cujo somatório é a estação 11A, com aquelas do trecho médio do Rio Doce sem receber as contribuições da Sub-bacia do Rio Piracicaba. Essa estação, apesar da existência de atividades antrópicas a montante (agroindústrias, pecuária extensiva, entre outras), mostra uma melhor qualidade da água, provavelmente em função do maior caudal e conseqüentemente da maior capacidade de diluição do Rio Doce, além de uma menor concentração de atividades impactantes. As estações 12, 13 e 14 foram definidas em função principalmente das contribuições da Companhia Celulose Nipo-Brasileira (Cenibra), estando a estação 12 localizada imediatamente a montante da captação de água e portanto representando as condições do Rio Doce anteriores à entrada dos afluentes dessa indústria, a estação 13 localizada na área de lançamento dos seus afluentes e a estação 14 localizada a jusante dos lançamentos de efluentes da empresa, imediatamente abaixo da Cachoeira Escura, elemento natural de importância fundamental para a recuperação da qualidade das águas, a partir da qual se considera o retorno às condições naturais do Rio Doce.

O Quadro 8.1 sintetiza as informações existentes sobre essas estações de amostragem e os impactos principais a que estão sujeitas.

**QUADRO 8.1****ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM NAS SUB-BACIAS DO MÉDIO RIO DOCE E PRINCIPAIS IMPACTOS A QUE ESTÃO SUJEITAS**

<b>ESTAÇÃO</b>	<b>NOME</b>	<b>LOCAL</b>	<b>TIPO DE IMPACTO</b>	<b>OBSERVAÇÕES</b>
1	Caraça	Ribeirão Caraça, na Cascatinha	Ausência de impacto antrópico (Área de referência).	Encontrados vestígios de mercúrio na água
2	Santa Rita	Rio Piracicaba, ME Distrito Santa Rita Durão	Mineração e garimpo	Atuam na área: Samitri, Samarco, Sid. Mogi das Cruzes, Socoimex e MBR
3	Barão de Cocais	Rio Barão de Cocais - ME	Siderurgia e esgoto doméstico	Cosígua
4	Santa Bárbara	Rio Santa Bárbara Município Santa Bárbara	Mineração, siderurgia e esgoto doméstico	Atuam na área: Itajobi, São Bento, Morgan, MBR, Minas da Serra Geral
5	São Gonçalo	Rio Sta. Bárbara - MD Município São Gonçalo do Rio Abaixo	Extração de areia	Atuam na área: Socoimex e Sobremila
6a*	Rio Piracicaba	Rio Piracicaba - ME a montante do Município de João Monlevade	Esgoto urbano e garimpo	Não participou da confecção do índice.
6	João Monlevade	Rio Piracicaba - ME a jusante do Município de João Monlevade	Esgoto urbano e siderurgia	Ponto de coleta a jusante da Cia. Belgo-Mineira
7	Rio do Peixe	Rio do Peixe - ME Município de Nova Era	Esgoto urbano e mineração	Atuam na área: CVRD, Belmont, Coopnera e Coogemig
7a*	Drummond	Rio Piracicaba - ME a jusante do Rio do Peixe	Garimpo e esgoto urbano	Não participou da confecção do índice.
8	Severo	Rio Piracicaba-MD- Município de Antônio Dias	Reflorestamento e pecuária de subsistência	-
9a*	Cachoeira do Vale	Rio Piracicaba - MD a montante da Acesita no Município de Coronel Fabriciano	Pecuária e agricultura	Não participou da confecção do índice.
9	Porto do Bote	Rio Piracicaba - MD a jusante da Acesita Município de Coronel Fabriciano	Esgoto urbano e siderurgia de grande porte	Ponto de coleta a jusante da Acesita
10	Cariru	Rio Piracicaba - ME a jusante da Usiminas Município de Ipatinga	Siderurgia de grande porte, esgoto urbano e industrial	-

10a*	Ipanema	Rib. Ipanema - MD Município de Ipatinga	Esgoto Urbano	Não participou da confecção do índice.
11a**	Porto de Areia	Rio Doce - ME - a jusante Foz do rio Piracicaba - Município de Ipatinga	Esgoto Urbano	Ponto de coleta logo abaixo da foz do Ribeirão Ipanema
11b	Revés do Belém	Rio Doce - MD - a montante da Foz do rio Piracicaba	Reflorestamento	-
11c*	Rio Casca	Rio Doce - MD, a Montante do Parque Estadual do Rio Doce	Pecuária e agricultura	Não participou da confecção do índice.
12	Cenibra I	Rio Doce - ME a montante da Cenibra	Eucalipto e pecuária	-
13	Cenibra II	Rio Doce - ME efluente da Cenibra	Indústria de celulose	-
14	Cachoeira Escura	Rio Doce - ME a jusante da Cenibra	Indústria de celulose	Ponto de coleta a jusante de Cachoeira Escura

Fonte : Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

\*Estações cujos dados não foram utilizados na confecção dos índices de qualidade da água.

\*\*Apesar de estar geograficamente localizada no Rio Doce, a estação 11A foi incluída na Sub-bacia do Rio Piracicaba por expressar o somatório das atividades antrópicas e da qualidade de água desta sub-bacia.

Precisão do altímetro utilizado: 30m

ME: Margem esquerda; MD: Margem Direita

## **METODOLOGIA**

### **PARÂMETROS E VARIÁVEIS MEDIDAS**

A caracterização física e química das coleções de água foi definida utilizando-se as seguintes variáveis, nos períodos de seca e chuva de 1993-1995:

- Temperatura da água, medida *in situ* utilizando-se um termistor com precisão de 1/10°C;
- Oxigênio dissolvido, medido através de titulação colorimétrica utilizando-se a técnica de Winkler, com modificações; comparativamente, utilizou-se um oxímetro dotado de correções para a temperatura da amostra e altitude da estação; resultados expressos em mg/l e percentagem de saturação;
- pH, medido *in situ* com o uso de pHmetro portátil com precisão de 1/100 de unidade de pH;
- Alcalinidade total, medida no laboratório através de titulação potenciométrica até pH 4,35, conforme a técnica descrita em Mackereth *et al.* (1978); resultados expressos em meq.CO<sub>2</sub>/l;
- Condutividade elétrica, medida *in situ* com o uso de condutivímetro portátil com precisão de 1/100 de unidade e compensação automática de temperatura; resultados expressos em µS/cm;
- Clorofila-a, medida no laboratório após extração com acetona 90% e leituras em espectrofotômetro, segundo a técnica descrita em Lorenzen (1967); resultados expressos em µg/l;
- Sílica solúvel *reativa*, amônia, nitrito, nitrato, nitrogênio total, fósforo solúvel *reativo* e fósforo total, medidos no laboratório a partir de amostras fixadas no campo, segundo os procedimentos descritos em Golterman *et al.* (1978) e Mackereth *et al.* (1978); resultados de sílica expressos em mg/l e dos demais nutrientes expressos em µg/l;

## **RESULTADOS**

### **TEMPERATURA DA ÁGUA**

A temperatura da água nas estações de amostragem das sub-bacias do médio Rio Doce é mostrada na Figura 8.2.

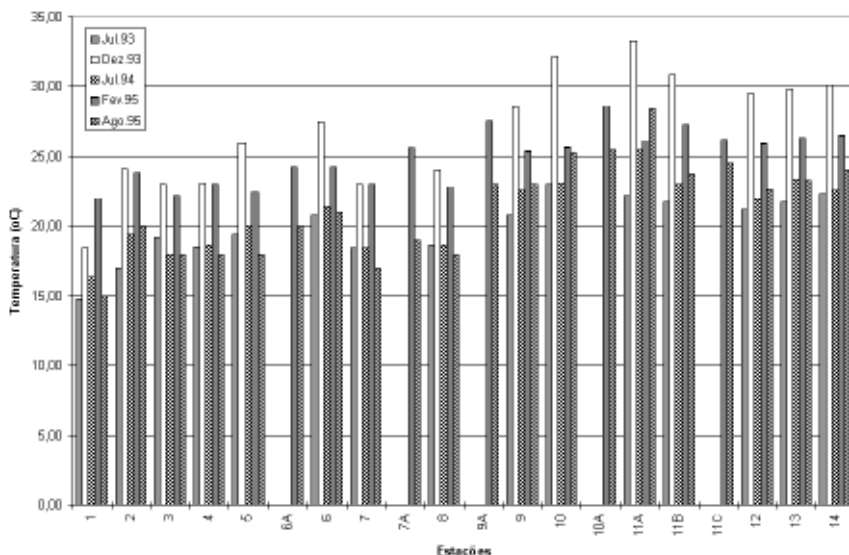
Foi registrada entre as sub-bacias uma amplitude de variação entre 14,8 e 28,5°C nos períodos de seca e entre 18,4 e 33,3°C entre os períodos de chuva nos anos de 1993, 1994 e 1995. A maior amplitude em ambos os períodos foi registrada na Sub-bacia do Rio Piracicaba. Temperaturas mais baixas foram registradas nas Sub-bacias Caraça (estação 1), Rio do Peixe (estação 7) e Ribeirão Severo (estação 8), refletindo, provavelmente, os efeitos da altitude e a existência de mata ciliar; as maiores temperaturas foram registradas nas Sub-bacias Rio Piracicaba e Rio Doce, particularmente nas áreas repre-

sentadas pelas estações 9A, 9, 10, 10A, 11A, 11B, 11C, 12, 13 e 14, características da microrregião denominada Vale do Aço, tradicionalmente reconhecida pelas elevadas temperaturas do ar predominantes na região.

Em termos gerais os resultados obtidos demonstram a existência de uma considerável variação sazonal, sendo as menores temperaturas da água registradas nos períodos de seca (inverno) e as maiores temperaturas características dos períodos de chuvas (verão).

**FIGURA 8.2**

**TEMPERATURA DA ÁGUA (°C) NAS SUB-BACIAS DO MÉDIO RIO DOCE NO PERÍODO DE 1993-1995.**



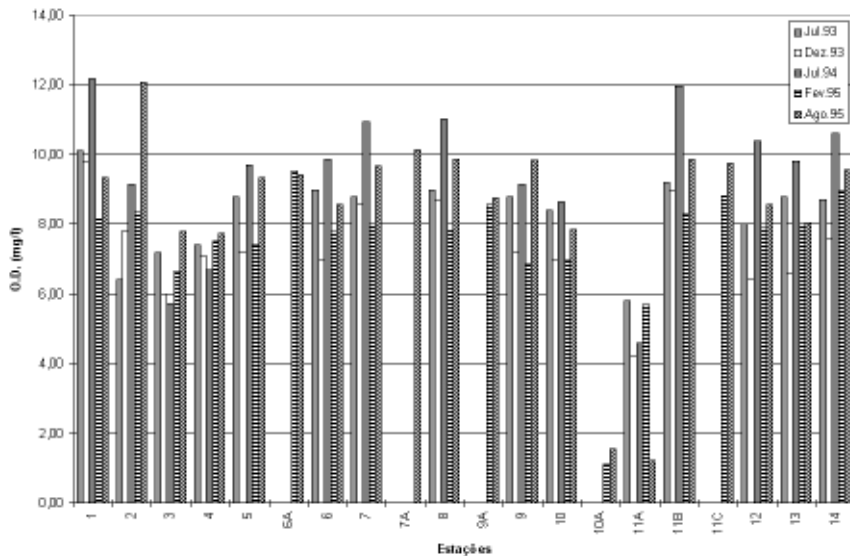
Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

### **OXIGÊNIO DISSOLVIDO**

Como mostra a Figura 8.3, com exceção das estações 10A e 11A, onde foram registradas, respectivamente, concentrações de 1,1 mg/l (chuvas de 1994), 4,2-5,8 mg/l (seca e chuva de 1993 e 1994) e 1,1-2,1 mg/l (seca de 1995), todas as demais estações mostraram concentrações superiores a 5,0 mg/l (> 80% de saturação), valor considerado limite para águas de classe 2, segundo a Resolução 020 do Conama (1984). Os baixos valores registrados nas estações 10A e 11A refletem provavelmente as elevadas cargas de matéria orgânica provenientes dos esgotos domésticos e industriais. Os valores registrados demonstram não haver diferenças significativas tanto entre os períodos de seca e chuva como entre os anos de estudo.

**FIGURA 8.3**

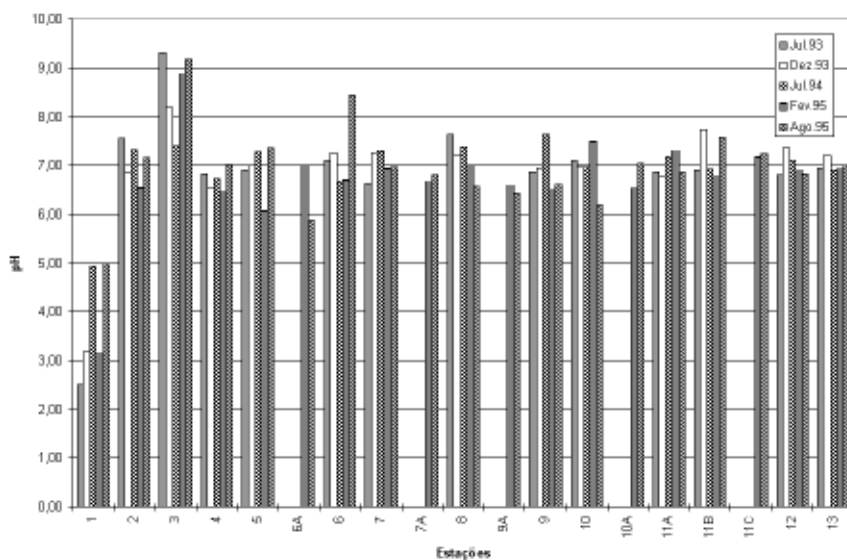
**CONCENTRAÇÃO DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO (MG/L) NAS SUB-BACIAS DO MÉDIO RIO DOCE NO PERÍODO DE 1993-1995.**



Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

**FIGURA 8.4**

**PH DA ÁGUA NAS SUB-BACIAS DO MÉDIO RIO DOCE NO PERÍODO 1993-1995.**



Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.



## **pH**

O pH da água nas estações de amostragem do médio Rio Doce é mostrado na Figura 8.4.

Exceto para a estação 1, onde foram registrados valores entre 2,6 e 5,0 nos períodos de seca e chuva, respectivamente, e para a estação 3, com valores entre 7,2 e 9,3, os valores de pH mantiveram-se próximos da neutralidade, não havendo diferenças significativas entre os períodos de seca e chuva e entre os anos amostrados. A característica ácida da estação 1 reflete, provavelmente, a presença de substâncias húmicas sugerida pela cor escura predominante, enquanto os elevados valores verificados para a estação 3 se devem, provavelmente, a efluentes industriais, de modo particular os oriundos da Cosígua.

Em linhas gerais, as diferenças intra- e interanuais não são elevadas, sugerindo a existência de águas predominantemente neutras nas sub-bacias, à exceção da Sub-bacia do Ribeirão Caraça, caracteristicamente ácida, e a estação 3 (Sub-bacia do Rio Santa Bárbara), caracteristicamente alcalina.

## **ALCALINIDADE TOTAL**

Os valores da alcalinidade total (meq. CO<sub>2</sub>) são mostrados na Figura 8.5. Diferenças significativas tanto entre os períodos de seca e chuva como entre os anos de 1993, 1994 e 1995 foram registradas em praticamente todas as estações amostradas, sendo os maiores valores verificados nas estações 3 (1,75 meqCO<sub>2</sub>/l, no período de chuvas de 1993), 10A (1,49 meqCO<sub>2</sub>/l, durante as chuvas de 1994 e no período de seca de 1995) e 11A (2,38 meqCO<sub>2</sub>/l, no período de seca de 1995), refletindo as elevadas cargas de esgotos domésticos e industriais lançadas rotineiramente nessas estações. Nas demais estações os valores mantiveram-se abaixo de 0,5 meqCO<sub>2</sub>/l nos dois períodos, particularmente no ano de 1994.

Em linhas gerais, os valores foram sempre mais elevados durante os períodos de chuva, evidenciando a contribuição do aporte de material alóctone nessa época do ano.

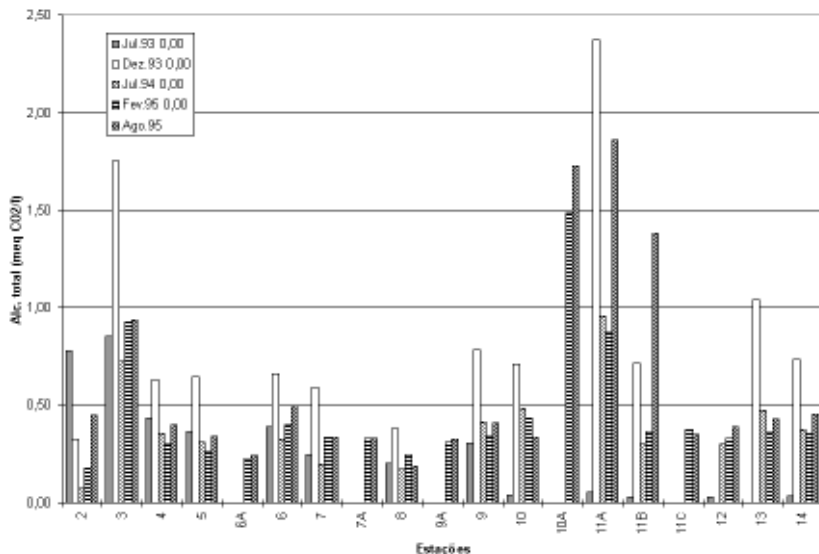
## **CONDUTIVIDADE ELÉTRICA**

Foram registradas grandes variações ao longo das estações amostradas, tanto entre os períodos de seca e chuva como entre os anos amostrados, com valores oscilando desde 2,5 µS/cm (estação 1, no período de seca) até valores superiores a 250 µS/cm (estações 3 e 11A, no período de chuvas), conforme mostrado na Figura 8.6. A existência de um gradiente crescente em direção à foz é particularmente evidente na Sub-bacia do Rio Piracicaba, sendo os maiores valores registrados na estação 11A. A grande contribuição dos esgotos domésticos e industriais é particularmente evidente nas estações 3, 9, 10, 10A, 11A e 13.

Em termos gerais, a Sub-bacia do Rio Piracicaba mostra os maiores valores, refletindo a significativa carga de esgotos lançada em praticamente toda sua extensão.

**FIGURA 8.5**

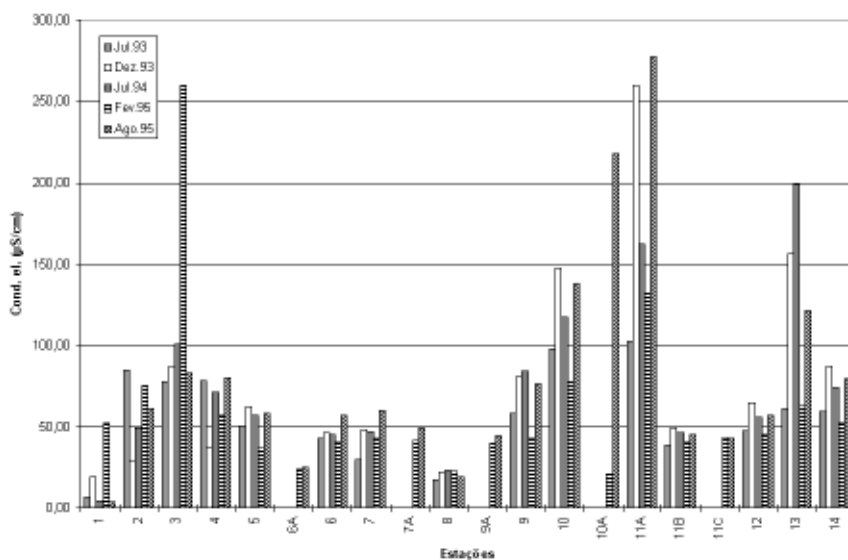
**ALCALINIDADE TOTAL (MEQ. CO<sub>2</sub>) NAS SUB-BACIAS DO MÉDIO RIO DOCE NO PERÍODO 1993-1995.**



Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

**FIGURA 8.6**

**CONDUTIVIDADE ELÉTRICA (µS/CM) DA ÁGUA NAS SUB-BACIAS DO MÉDIO RIO DOCE NO PERÍODO 1993-1995.**



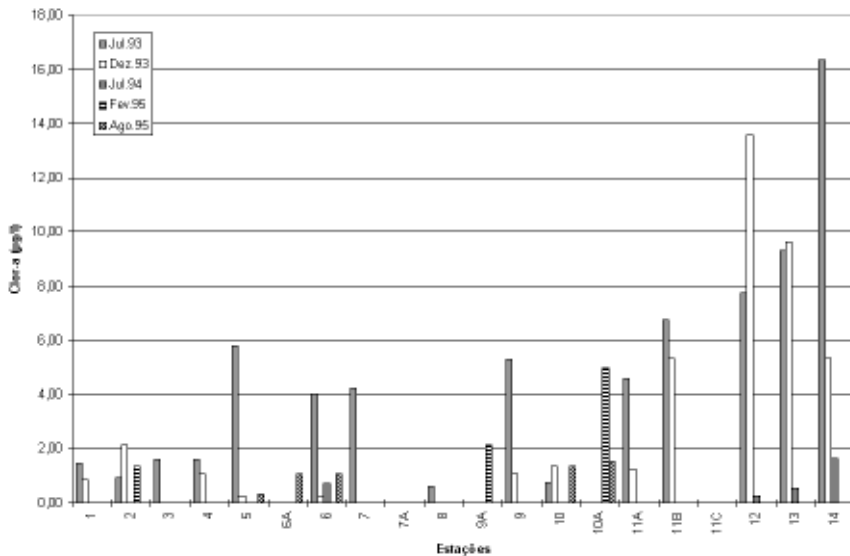
Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

## CLOROFILA-A

A Figura 8.7 mostra as concentrações de clorofila-a nas sub-bacias do médio Rio Doce no período 1993-1995. À exceção da Sub-bacia do Rio Doce em 1993, as concentrações de clorofila-a foram muito baixas em praticamente todas as estações amostradas, mantendo-se abaixo de 2,0 µg/l em 1994 e 1995, exceto na estação 10A, no período de chuvas de 1994. Na Sub-bacia do Rio Doce em 1993, os valores oscilaram entre 4,8 e 16,2 µg/l, refletindo um aumento da concentração de algas nesse ambiente. Baixas concentrações de algas com conseqüente redução nas concentrações de clorofila-a são contudo características de ambientes lóticos, sendo a elevada turbidez e o rápido *flushing out* apontados como as principais causas. Entretanto, a aparente pequena participação de algas em ambientes lóticos deverá ser revista, uma vez que há evidências de sua significativa importância como grupo indicador de qualidade da água (Whitton & Kelly, 1995). Além disso, conforme ressaltado por Prygiel & Coste (1996), as algas exercem um importante papel nesses ambientes, não só porque constituem a característica mais evidente das conseqüências da eutrofização na maioria dos cursos d'água, mas também porque são bons indicadores da qualidade das águas superficiais. Estes mesmos autores concluem que as algas são um grupo indicador de primeira importância. Entretanto, chamam a atenção para o fato de não haver até o momento, na França, programas de monitoramento de âmbito nacional que utilizem algas, embora a concentração de clorofila venha sendo utilizada rotineiramente pela rede nacional de bacias (RNB) desde 1990.

**FIGURA 8.7**

**CONCENTRAÇÃO DE CLOROFILA-A (µG/L) NAS SUB-BACIAS DO MÉDIO RIO DOCE NO PERÍODO 1993-1995.**



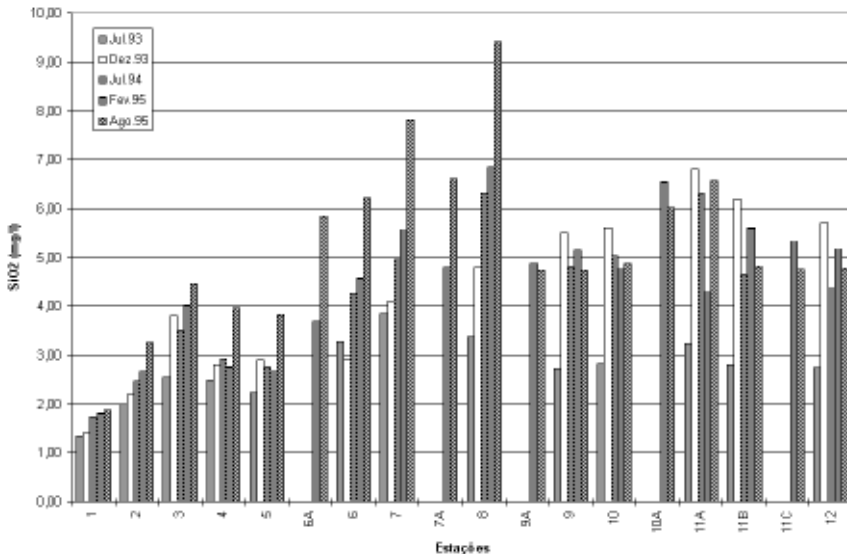
Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

## SÍLICA SOLÚVEL REATIVA

A concentração de sílica solúvel *reativa* é mostrada na Figura 8.8. Exceto para a estação 1, os valores foram superiores a 2,0 mg/l e consideravelmente superiores nos períodos de chuva, particularmente no ano de 1993, refletindo a contribuição alóctone nesse período. Entre as sub-bacias estudadas, a do Rio Santa Bárbara foi a que mostrou as menores concentrações, exceto na estação 4 no período de chuvas de 1994, quando foi registrada uma concentração de 6 mg/l. Como esperado, a existência de um gradiente crescente em direção à foz foi verificada, particularmente na Sub-bacia do Rio Piracicaba, onde se registrou uma concentração de 6,8 mg/l na estação 11A. Uma comparação entre as sub-bacias mostra que as maiores concentrações de sílica solúvel foram registradas nas sub-bacias do Rio do Peixe (estação 7), Ribeirão Severo (estação 8) e Ribeirão Ipanema (estação 10A). Ressalte-se que a maior concentração registrada no período de estudo foi 9,4 mg/l, obtida na estação 8 no período de seca de 1995.

Os resultados obtidos sugerem que, exceto na Sub-bacia do Ribeirão Caraça, não deve existir limitação desse nutriente em ambos os períodos de estudo.

**FIGURA 8.8**  
**CONCENTRAÇÕES DE SÍLICA SOLÚVEL REATIVA(MG/L) NAS SUB-BACIAS DO MÉDIO RIO DOCE NO PERÍODO 1993-1995.**



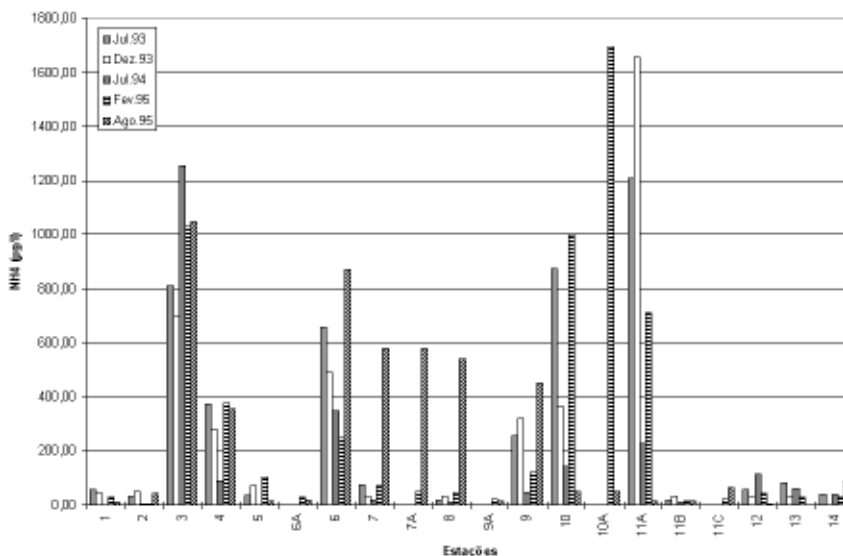
Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

## AMÔNIA

As concentrações de amônia nas estações de amostragem são mostradas na Figura 8.9. Foram registradas diferenças significativas entre as estações e entre os anos amostrados, com valores oscilando entre < 11µg/l (estação 1, por exemplo) e >1.600 µg/l

(estações 10A e 11A). Entre as sub-bacias, a do Rio Piracicaba foi a que apresentou as maiores concentrações, seguida da Sub-bacia do Rio Santa Bárbara, na qual a estação 3 mostrou as maiores concentrações nos dois períodos amostrados. Os valores obtidos para as sub-bacias do Rio do Peixe (estação 7) e Ribeirão Severo (estação 8), assim como para as estações do Rio Doce, foram significativamente mais baixos ( $< 50 \mu\text{g/l}$ ), evidenciando a redução dos aportes de esgotos nessas sub-bacias e os efeitos da diluição do Rio Doce, capaz de reduzir contribuições elevadas como a do Ribeirão Ipanema (estação 10A), onde foram registrados valores superiores a  $1.600 \mu\text{g/l}$ . Os valores obtidos para a Sub-bacia Ribeirão Caraça estiveram abaixo do limite de detecção durante todo o período de estudo.

**FIGURA 8.9**  
**CONCENTRAÇÕES DE AMÔNIA ( $\mu\text{g/L}$ ) NAS SUB-BACIAS DO MÉDIO RIO DOCE**  
**NO PERÍODO 1993-1995.**

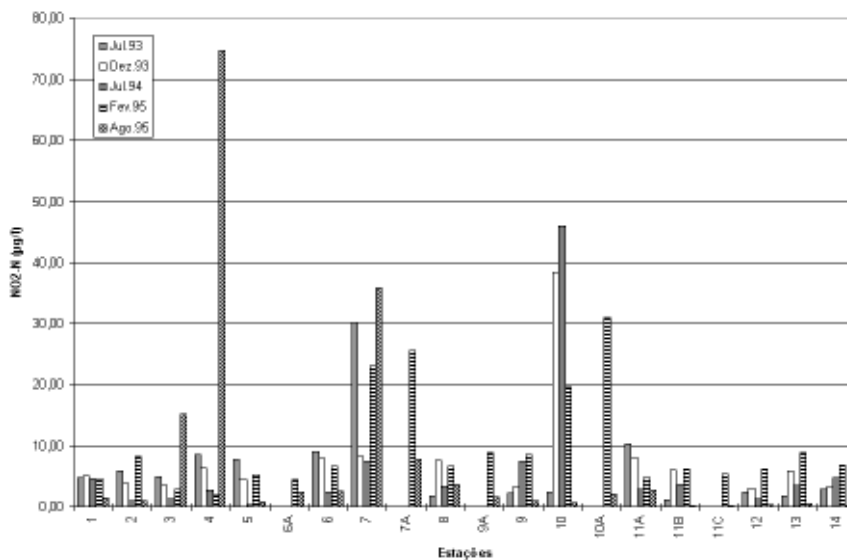


Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo

### NITRITOS

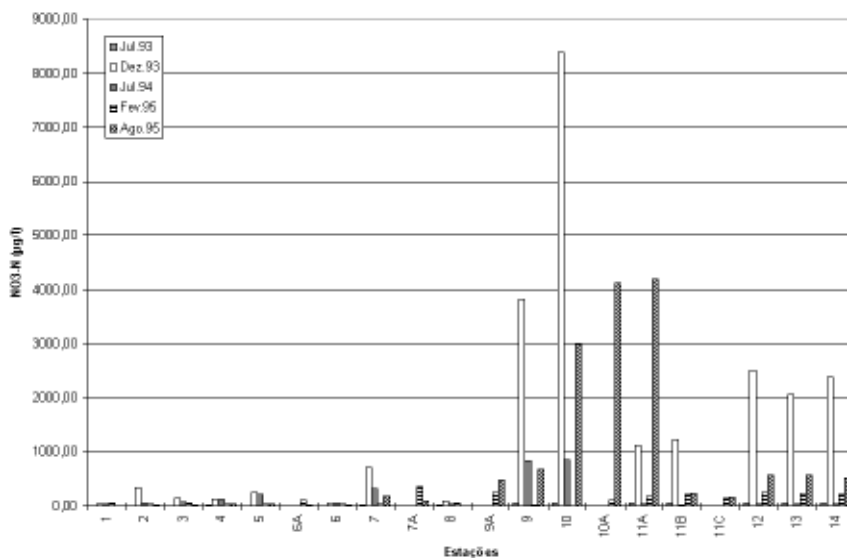
As concentrações de nitritos são mostradas na Figura 8.10. Exceto nas estações 3, 4, 7A, 7, 10A, 10 e 11A, as concentrações mantiveram-se abaixo de  $10 \mu\text{g/l}$  nos períodos amostrados. As maiores concentrações foram registradas nas estações 4, 7, 7A, 10 e 10A, com valores atingindo  $74,8 \text{mg/l}$  na estação 4, em agosto de 1995. As elevadas concentrações verificadas, particularmente para as estações 4, 10 e 10A, refletem os aportes das concentrações de matéria orgânica nessas áreas e a predominância de processos de decomposição.

**FIGURA 8.10**  
**CONCENTRAÇÕES DE NITRITOS ( $\mu\text{g}$ ) NAS SUB-BACIAS DO MÉDIO RIO DOCE**  
**NO PERÍODO 1993-1995.**



Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

**FIGURA 8.11**  
**CONCENTRAÇÕES DE NITRATO ( $\mu\text{g}$ /L) NAS SUB-BACIAS DO MÉDIO RIO DOCE**  
**NO PERÍODO 1993-1995.**

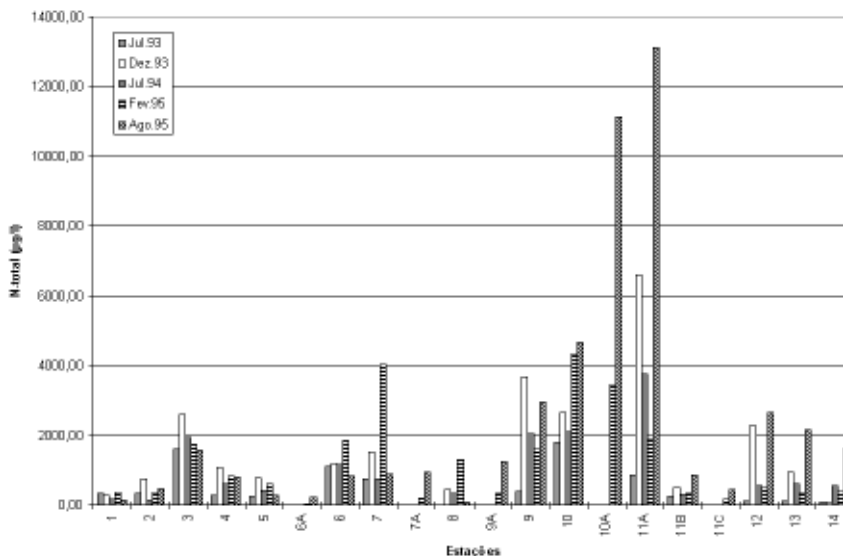


Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

## NITRATOS

A Figura 8.11 mostra as concentrações de nitrato nas sub-bacias do médio Rio Doce. As maiores concentrações ocorreram nas estações 9, 10, 10A e 11A, com valores oscilando entre 850 µg/l (estação 9, período de seca de 1994) e > 8.000 µg/l (estação 10, período de chuvas de 1993), tendo-se registrado diferenças significativas entre os anos de 1993 e 1994. As elevadas concentrações refletem também os aportes de matéria orgânica e a predominância de processos de decomposição.

**FIGURA 8.12**  
**CONCENTRAÇÕES DE NITROGÊNIO TOTAL (µG/L) NAS SUB-BACIAS**  
**DO MÉDIO RIO DOCE NO PERÍODO 1993-1995.**



Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

## NITROGÊNIO TOTAL

As concentrações de nitrogênio total são mostradas na Figura 8.12. Semelhantemente ao padrão verificado para as concentrações de nitrato, foram registradas as maiores concentrações nas estações 10, 10A e 11A. Em sua maioria, os valores oscilaram entre < 11 µg/l e > 6.000 µg/l em 1993 e 1994, mostrando um significativo aumento no período de seca de 1995, quando se registraram concentrações superiores a 13.000 µg/l, refletindo a elevada carga de matéria orgânica nessas áreas.

## FÓSFORO SOLÚVEL REATIVO

As concentrações de fósforo solúvel *reativo* (ortofosfato) são mostradas na Figura 8.13. Foram registradas diferenças significativas entre os períodos de seca e chuva, com os maiores valores sendo verificados neste último período. A Sub-bacia do Rio Piracicaba mostrou as maiores concentrações, particularmente nas estações 7A, 10 e 11A, cujos valo-

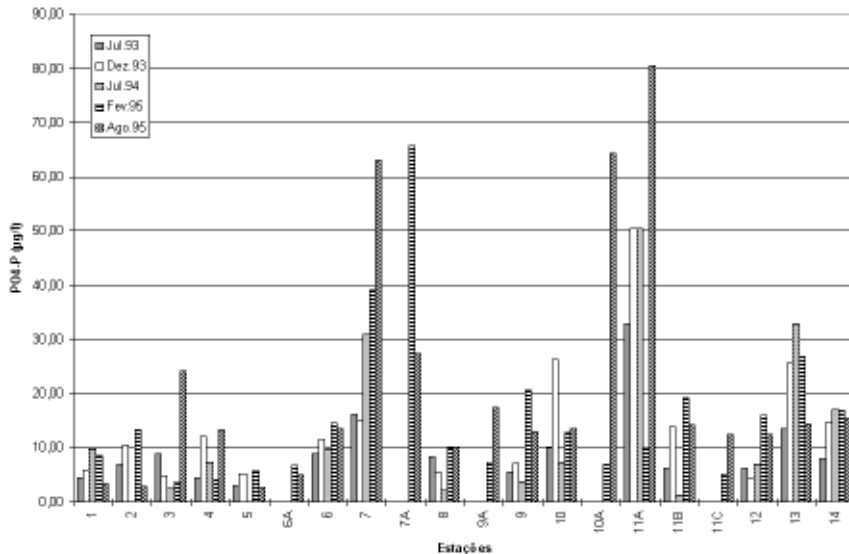
res oscilaram entre 12 e 80  $\mu\text{g/l}$  nos três anos de estudo, seguida das sub-bacias Rio do Peixe (estação 7) e Ribeirão Ipanema (estação 10A), refletindo as contribuições de esgotos domésticos e industriais. Na Sub-bacia do Ribeirão Caraça (estação 1) os valores não ultrapassaram 10  $\mu\text{g/l}$  durante todo o período de estudo, semelhantemente ao verificado para a Sub-bacia do Rio Santa Bárbara, exceto para as estações 3 e 4, onde foram registradas concentrações entre 11 e 22  $\mu\text{g/l}$  no período de seca de 1995. Na Sub-bacia do Rio Doce as concentrações mantiveram-se abaixo de 20  $\mu\text{g/l}$ , exceto na estação 13, onde se registraram concentrações em torno de 30  $\mu\text{g/l}$  nos anos de 1993 e 1994.

### FÓSFORO TOTAL

A Figura 8.14 mostra as concentrações de fósforo total nas sub-bacias do médio Rio Doce. Diferenças significativas foram registradas entre os anos de amostragem. Assim, em 1993, exceto pelas estações 4, 6, 7 e 11A, principalmente no período de chuvas, as concentrações mantiveram-se abaixo de 100  $\mu\text{g/l}$ , aumentando significativamente em 1994 e 1995, quando se registraram valores superiores a 700  $\mu\text{g/l}$ . A Sub-bacia do Rio Piracicaba foi a que mostrou as maiores concentrações, seguida pelas sub-bacias do Rio do Peixe, do Ribeirão Ipanema e do Rio Doce, em 1993 e 1994. Uma significativa redução foi verificada nesta última sub-bacia em 1995, com as concentrações se mantendo abaixo de 100  $\mu\text{g/l}$  em todas as estações de amostragem.

**FIGURA 8.13**

**CONCENTRAÇÕES DE FÓSFORO SOLÚVEL REATIVO ( $\mu\text{g/L}$ ) NAS SUB-BACIAS DO MÉDIO RIO DOCE NO PERÍODO 1993-1995.**

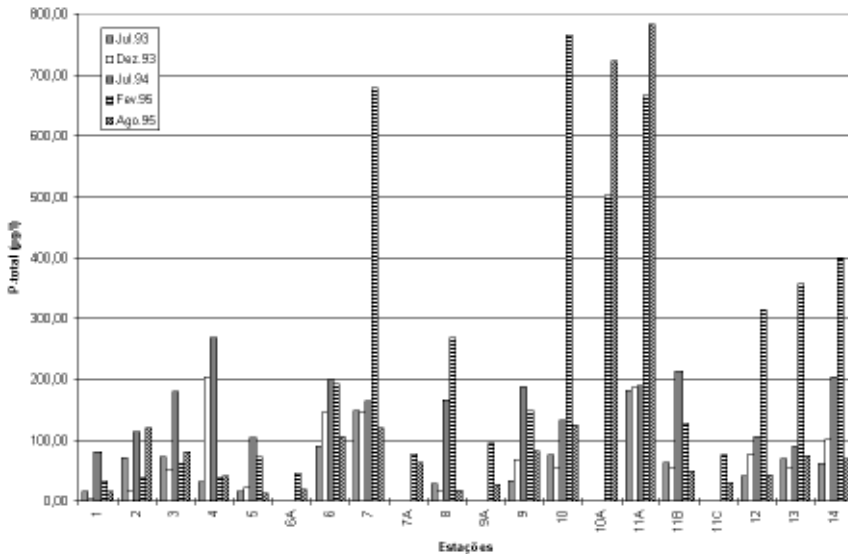


Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.



**FIGURA 8.14**

**CONCENTRAÇÕES DE FÓSFORO TOTAL ( $\mu\text{g/L}$ ) NAS SUB-BACIAS DO MÉDIO RIO DOCE NO PERÍODO 1993-1995.**



Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

### **ANÁLISE DOS RESULTADOS**

As Tabelas 8.1 e 8.2 mostram, respectivamente, a amplitude de variação dos parâmetros acima listados em cada sub-bacia, nos períodos de seca e chuva de 1993 a 1995.

Em linhas gerais, verifica-se que as sub-bacias amostradas se caracterizam por possuir águas bem oxigenadas, com pH próximo da neutralidade; são águas com baixa alcalinidade total, condutividade elétrica média oscilando entre 117 e 123  $\mu\text{S/cm}$  nos dois períodos e significativas diferenças de temperatura nesses períodos, particularmente na Sub-bacia do Rio Piracicaba.

Em termos da concentração de nutrientes, a amônia é a principal forma de nitrogênio no período de seca, exceto nas sub-bacias do Rio Piracicaba e do Ribeirão Ipanema, quando é substituída por nitratos, os quais mostram maiores concentrações também no período de chuvas, nas sub-bacias Ribeirão Caraça, Rio do Peixe, Ribeirão Severo e Rio Doce. Exceto na Sub-bacia do Ribeirão Caraça, o fósforo não deve constituir um elemento limitante, embora concentrações inferiores a 10  $\mu\text{g/l}$  tenham sido registradas, particularmente no período de chuvas, evidenciando os efeitos da diluição, característica desse período. Semelhantemente, a sílica pode ser limitante apenas na Sub-bacia do Ribeirão Caraça. Exceto na Sub-bacia do Rio Doce, as concentrações de clorofila-a são significativamente baixas, refletindo a elevada turbidez característica dessas coleções de água, principalmente nos períodos de chuva.

**TABELA 8.1**

**VALORES MÍNIMOS E MÁXIMOS DAS VARIÁVEIS FÍSICAS E QUÍMICAS DA ÁGUA NA BACIA DO MÉDIO RIO DOCE NO PERÍODO DE SECA NOS ANOS DE 1993, 1994 E 1995.**

<b>VARIÁVEIS</b>		<b>CARAÇA</b>	<b>PIRACICABA</b>	<b>SANTA BÁRBARA</b>	<b>PEIXE</b>	<b>SEVERO</b>	<b>IPANEMA*</b>	<b>DOCE</b>
% sat	min.	107,7	16,3	65,9	100,6	102,0	19,6	92,5
	máx.	143,3	147,6	115,0	122,2	124,8	-	145,0
pH	min.	2,5	5,9	6,8	6,6	6,6	7,1	6,8
	máx.	5,0	8,5	9,3	7,3	7,7	-	7,6
Alcal. (meqCO <sub>2</sub> /l)	min.	0,0	0,0	0,3	0,2	0,2	1,7	0,0
	máx.	0,0	1,9	0,9	0,3	0,2	-	1,4
Cond. (µS/cm)	min.	3,4	24,7	50,5	29,6	17,7	218,0	38,5
	máx.	6,8	278,0	101,0	59,8	23,0	-	199,0
Clor.-a (µg/l)	min.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0
	máx.	1,4	5,3	5,8	4,0	0,6	-	16,4
Sílica(mg/l)	min.	1,3	2,0	2,2	3,8	3,4	6,0	2,6
	máx.	1,9	6,6	4,5	7,8	9,4	-	4,8
Amônia (µg/l)	min.	0,0	3,0	0,0	18,0	10,0	48,9	1,0
	máx.	57,0	1210,0	1252,0	578,0	539,0	-	115,0
Nitrito (µg/l)	min.	1,5	0,7	0,3	7,3	1,8	2,1	0,0
	máx.	4,8	46,0	74,8	35,9	3,7	-	4,9
Nitrato (µg/l)	min.	0,4	3,0	0,0	19,0	5,3	4115,0	23,5
	máx.	27,1	4188,0	207,0	325,0	39,2	-	582,0
N-total (µg/l)	min.	141,5	150,0	261,0	749,0	70,0	11137,0	265,5
	máx.	342	13143,0	1924,0	886,0	338,0	-	2658,0
P-orto(µg/l)	min.	3,5	0,0	0,0	16,0	2,1	64,3	1,2
	máx.	9,8	80,5	24,1	63,0	10,0	-	33,0
P-total (µg/l)\	min.	16,3	19,6	12,7	120,0	18,0	724,0	30,0
	máx.	81,6	782,5	268,0	165,0	167,0	-	213,4

Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

\*Na bacia do Ribeirão Ipanema foi realizada apenas uma coleta no período de seca de 1995, não havendo, portanto, valores mínimos e máximos.

## **ÍNDICES FÍSICO-QUÍMICO (IFQ) E BIOLÓGICO (IB) DE QUALIDADE DA ÁGUA: UMA PROPOSTA METODOLÓGICA**

A bacia do Rio Doce, a terceira em extensão de Minas Gerais (83.000 km<sup>2</sup>), abriga 221 municípios com uma população de 3,1 milhões de habitantes, incluindo parte do Estado do Espírito Santo. Como resultado de um acelerado processo de ocupação urbana e atividades industriais, os corpos d'água da região vêm sofrendo consideráveis impactos com modificações significativas de suas características físicas, químicas e biológicas.

**TABELA 8.2**

**VALORES MÍNIMOS E MÁXIMOS DAS VARIÁVEIS FÍSICAS E QUÍMICAS DA ÁGUA NA BACIA DO MÉDIO RIO DOCE NO PERÍODO DE CHUVAS DOS ANOS DE 1993, 1994 E 1995.**

VARIÁVEIS		CARAÇA	PIRACICABA	SANTA BÁRBARA	PEIXE	SEVERO	IPANEMA*	DOCE
% sat	min.	108,1	61,0	76,3	98,1	95,8	14,6	89,8
	máx.	122,6	123,3	95,8	106,4	108,5	-	125,6
pH	min.	3,1	6,5	6,1,0	6,9	7,0	6,6	6,8
	máx.	3,2	7,5	8,9	7,3	7,2	-	7,8
Alcal. (meqCO <sub>2</sub> /l)	min.	0,0	0,2	0,3	0,3	0,2	1,5	0,3
	máx.	0,0	2,48	1,8	0,6	0,4	-	1,0
Cond. (µS/cm)	min.	19,4	23,5	36,5	42,8	21,9	21,3	41,0
	máx.	52,0	260,0	260,0	48,2	22,3	-	156,6
Clor.-a (µg/l)	min.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	0,0
	máx.	0,9	2,1	1,1	0,0	0,0	-	9,6
Sílica (mg/l)	min.	1,4	2,2	2,7	4,1	4,8	6,6	5,1
	máx.	1,8	6,8	4,0	5,6	6,8	-	6,2
Amônia (µg/l)	min.	29,0	2,0	72,0	32,0	34,0	1695,0	0,0
	máx.	43,0	1656,0	1030,0	70,0	46,8	-	43,0
Nitrito (µg/l)	min.	4,7	3,3	2,2	8,2	6,5	31,0	3,3
	máx.	5,2	38,3	6,2	23,0	7,6	-	8,8
Nitrato (µg/l)	min.	31,7	7,0	41,2	27,0	48,0	113,3	149,0
	máx.	52,0	1123,0	253,0	701,0	86,7	-	251,0
N-total (µg/l)	min.	292,0	323,3	620,0	1513,0	443,0	3431,0	47,0
	máx.	370,6	6608,0	2613,0	4032,0	1279,0	-	2276,0
P-orto (µg/l)	min.	6,0	6,6	3,8	15,0	5,6	6,9	5,2
	máx.	8,4	65,7	12,0	39,0	9,8	-	27,0
P-total (µg/l)	min.	5,3	17,0	23,0	147,0	16,0	502,0	54,0
	máx.	33,0	766,0	203,0	679,0	269,0	-	399,0

Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

\*Na bacia do Ribeirão Ipanema foi realizada apenas uma coleta no período de chuva de 1995, não havendo, portanto, valores mínimos e máximos.

Considerando-se a importância sócio-econômica desses cursos d'água para a região, a definição de ferramentas adequadas para se avaliar e quantificar o grau das alterações ambientais provocadas pelos impactos antrópicos é uma necessidade premente, de modo a permitir o estabelecimento de programas de recuperação efetivos e passíveis de monitoramento adequado.

Com o objetivo de fornecer tal instrumento, esforços têm sido dedicados no desenvolvimento de índices de qualidade de água, utilizando tanto variáveis e parâmetros físicos e químicos como biológicos, utilizados freqüentemente em estudos de rotina de avaliação e monitoramento das condições predominantes na água.

Com essa finalidade, é apresentada e discutida uma metodologia para a criação de um índice físico-químico (IFQ) e um índice biológico (IB) de qualidade da água, utilizando-se técnicas estatísticas. Os índices propostos foram construídos a partir de dados empíricos obtidos nos períodos de seca e chuva dos anos de 1993 e 1994, em 15 estações de amostragem estrategicamente distribuídas, para se avaliar o impacto das principais atividades antrópicas na bacia.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **ÍNDICE FÍSICO-QUÍMICO DE QUALIDADE DE ÁGUA (IFQ)**

#### **VARIÁVEIS UTILIZADAS**

O índice físico-químico de qualidade da água foi construído a partir de medidas *in situ* e de laboratório da temperatura da água, pH, alcalinidade total, condutividade elétrica e das concentrações de oxigênio dissolvido, clorofila-a, sílica solúvel *reativa*, amônia, nitrito, nitrato, fósforo solúvel *reativo*, nitrogênio e fósforo total, obtidas de amostras de água colhidas do Rio Piracicaba e afluentes (10 estações) e Rio Doce (5 estações), segundo as técnicas descritas em Golterman *et al.* (1978) e Mackereth *et al.* (1978).

#### **ESTATÍSTICAS UTILIZADAS**

A partir do conjunto de dados original, procedeu-se a uma análise descritiva das variáveis, com o objetivo de verificar sua distribuição e comportamento, bem como a existência ou não de *outliers*. Essa análise foi feita separadamente para os períodos de seca e chuva. As tabelas 8.3 e 8.4 resumem as estatísticas para esses períodos.

Pelas matrizes de correlação de Pearson, verifica-se não haver fortes correlações entre as variáveis físicas e químicas em nenhuma das épocas do ano (seca e chuva).

A temperatura da água mostrou pequena variação entre os períodos de estudo, sendo contudo mais elevada no período das chuvas (verão); um gradiente crescente a partir da nascente foi observado para essa variável.

As maiores concentrações de oxigênio dissolvido foram encontradas no período de seca, nas estações 1 (Caraça) e 11B (Revés do Belém), enquanto as menores concentrações foram obtidas nas estações 11A (Porto de Arcia) e 3 (Barão de Cocais).

O pH mostrou pequena variação em relação aos períodos de seca e chuva, existindo contudo valores fortemente ácidos na estação 1 (Caraça) e muito básicos na estação 3 (Barão de Cocais).

Como esperado, a condutividade elétrica é mais elevada nos períodos de chuva, estando os maiores valores nas estações 3, 10, 11A e 13, estações que recebem grande quantidade de esgotos domésticos e industriais; os menores valores foram registrados na estação 1.

**TABELA 8.3**  
**ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DAS VARIÁVEIS FÍSICAS E QUÍMICAS NOS**  
**PERÍODOS DE SECA**

<b>VARIÁVEIS</b>	<b>MÍNIMO</b>	<b>MÁXIMO</b>	<b>MÉDIA</b>	<b>DESVIO</b>
Temperatura da água (Temp)	14,80	25,50	20,43	2,42
Oxigênio dissolvido (Oxd)	4,61	12,18	8,83	1,79
pH (pH)	2,50	9,32	6,95	1,06
Condutividade elétrica (Cond)	4,20	199,0	66,25	41,79
Alcalinidade total (Alcal)	0,00	0,96	0,31	0,26
Clorofila-a (Clor-a)	0,00	16,36	2,47	3,74
Silicatos (Silic)	1,33	6,32	3,45	1,25
Amônia (Amon)	0,00	1251,90	232,00	358,20
Nitrito (Nitrito)	0,33	46,00	6,27	9,26
Nitrato (Nitrato)	0,00	842,20	106,20	209,20
Nitrogênio total (Ntot)	72,00	3743,00	817,00	819,00
Ortofosfato (Ortof)	0,00	50,35	10,85	11,51
Fósforo total (Ptot)	16,70	268,30	113,30	68,30

Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

**TABELA 8.4**  
**ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DAS VARIÁVEIS FÍSICAS E QUÍMICAS NOS**  
**PERÍODOS DE CHUVA**

<b>VARIÁVEIS</b>	<b>MÍNIMO</b>	<b>MÁXIMO</b>	<b>MÉDIA</b>	<b>DESVIO</b>
Temperatura da água (Temp)	14,80	33,30	25,29	3,95
Oxigênio dissolvido (Oxd)	4,20	9,80	7,48	1,11
pH (pH)	3,14	8,90	6,82	1,13
Condutividade elétrica (Cond)	19,40	260,00	74,50	60,70
Alcalinidade total (Alcal)	0,00	2,38	0,58	0,48
Clorofila-a (Clor-a)	0,00	13,57	1,45	3,13
Silicatos (Silic)	1,40	6,84	4,42	1,50
Amônia (Amon)	0,00	1656,00	266,60	392,90
Nitrito (Nitrito)	2,15	38,33	7,81	7,24
Nitrato (Nitrato)	7,00	8397,00	823,00	1708,00
Nitrogênio total (Ntot)	47,00	6608,00	1529,00	1496,00
Ortofosfato (Ortof)	3,82	50,40	14,46	10,64
Fósforo total (Ptot)	5,30	765,70	178,80	205,90

Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

Maiores valores de alcalinidade total foram observados nas estações 3 e 11A, principalmente nos períodos de chuva, e os menores valores na estação 1. Em virtude da perda de uma medida na estação 12 (a montante da Cenibra), no terceiro período de

amostragem (seca), estimou-se o referido valor através da média dos períodos de seca, de modo a permitir sua utilização no cálculo do Índice Físico-Químico (IFQ) de qualidade da água. Pela mesma razão e em virtude de mostrar 28 valores iguais a 0 (zero), a concentração de clorofila-a foi retirada da análise para o cálculo do IFQ.

Sílica solúvel *reativa* mostrou maiores concentrações nas estações 8 (Ribeirão Severo) e nas do Rio Doce (11A, 11B, 11C, 12, 13 e 14).

Em relação às concentrações de amônia, os resultados sugerem não haver dependência da época do ano, estando os valores abaixo de 400 µg/l em todas as estações, à exceção das estações 3, 6, 10 e 11A. Semelhantemente, o nitrito mostrou não haver qualquer dependência em relação à época do ano, com concentrações superiores a 15 µg/l somente nas estações 7 (Rio do Peixe) e 10 (Cariru). O nitrato, por sua vez, mostrou concentração média e desvio padrão, na época de chuva, aproximadamente oito vezes maior que no período de seca. Suas concentrações no quarto período de amostragem (chuva) nas estações 10, 11A, 11B, 12, 13 e 14 foram superiores a 1000 µg/l. A concentração média e o desvio padrão para o nitrogênio total no período de chuvas é quase o dobro da obtida no período de seca. Os maiores valores foram registrados nas estações 3, 7, 10 e 11A e os menores nas estações 1 e 11B.

As concentrações de fósforo solúvel *reativo* (ortofosfato) mostraram-se também independentes da época do ano, sendo os maiores valores registrados nas estações 7, 11A e 13. O fósforo total mostrou as maiores concentrações no quarto período de amostragem (chuvas), com valores superiores a 400 µg/l nas estações 7, 10 e 11A.

## ÍNDICE BIOLÓGICO DE QUALIDADE DA ÁGUA (IB)

### VARIÁVEIS UTILIZADAS E O PROCESSO DE AMOSTRAGEM

Para a construção do índice biológico, foram utilizadas variáveis relativas à comunidade bentônica, embora variáveis relativas às comunidades fitoplantônica e zooplantônica possam ser incluídas no índice numa segunda etapa.

A comunidade bentônica foi amostrada qualitativa e quantitativamente, utilizando-se duas metodologias:

- Conchadas: através do uso de conchas de metal com 16 cm de diâmetro. Em cada estação foram dadas 50 conchadas totalizando aproximadamente 1 m de área amostrada.
- Draga (tipo Eckman-Bierge): sendo coletadas três amostras em cada estação.

A densidade de organismos foi calculada através de regra de três simples, com base na área coletada e no número de indivíduos. A amostra foi fixada com solução de formol em sacos plásticos e levada ao laboratório, onde foi feita uma tamização utilizando-se quatro peneiras com 2,0, 1,19, 0,5 e 0,25 mm de abertura de malha, respectivamente.

Com base em observações anteriores, convencionou-se utilizar a presença de organismos das ordens Ephemeroptera, Plecoptera e Tricoptera (EPT) como uma indicação de águas de boa qualidade (limpas) e a presença de organismos da família Chiro-

nomidae e da ordem Oligochaeta, como uma indicação de águas com diferentes níveis de poluição orgânica.

Para a construção do índice biológico, foram utilizadas as seguintes variáveis:

- Número de *Taxa* (NT): número de famílias, em função das limitações taxonômicas;
- Número de *Taxa* de EPT: para expressar o número de *taxa* dos grupos indicadores de água limpa, expresso em org./m<sup>2</sup>;
- Densidade Total (DeT): número de indivíduos presentes nas amostras, expresso em org./m<sup>2</sup>;
- Densidade de EPT (DeE): número de indivíduos indicadores de água limpa, expresso em org./m<sup>2</sup>;
- Densidade de CHI+OLI (DeCO): número de indivíduos indicadores de água poluída, expresso em org./m<sup>2</sup>;
- Dominância Total (DoT): para expressar o quanto uma família está representada num dado ambiente;
- Dominância de EPT (DoE): para expressar a participação dos organismos indicadores de água limpa;
- Dominância de CHI+OLI (DoCO): para expressar a participação de organismos indicadores de águas poluídas em cada ambiente amostrado;
- Percentagem de indivíduos da família dominante (PT): para expressar a participação dos organismos da família com os maiores efetivos e, portanto, a família dominante;
- Percentagem de indivíduos das ordens Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera-EPT (PE): para expressar a participação percentual desses grupos indicadores de águas limpas;
- Percentagem de indivíduos da família Chironomidae e da ordem Oligochaeta-(PCO): para expressar a participação percentual dos organismos indicadores de águas poluídas;
- Índice de Riqueza (IR): como um indicador de equilíbrio dos indivíduos no meio aquático;
- Relação EPT/[CHI+OLI]: (E/CO), para expressar a razão entre os organismos indicadores de água limpa e água poluída;
- Relação Densidade Total/Número de *Taxa* (D/T): para expressar uma medida de quantos indivíduos existem em uma certa área, levando-se em conta o número de *taxa* nela presente.

#### **ESTATÍSTICAS UTILIZADAS**

Da mesma forma que na descrição das variáveis físicas e químicas, foi feita a análise estatística descritiva para as variáveis biológicas por estação do ano (seca e chuva), sintetizada nas tabelas 8.5 e 8.6.

Através das matrizes de correlação de Pearson, verifica-se a existência de altas correlações em ambos os períodos. Assim, após retiradas as variáveis que mostra-

ram altas correlações, foram definidas as seguintes variáveis a serem utilizadas na construção do índice biológico:

- Número de *Taxa*: onde se verificou pequena variação em relação às estações do ano, embora os períodos de seca possuam, em geral, maior número de *taxa*.
- Densidade Total: onde se verificou uma considerável variação, como é o caso da ocorrência de > 60.000 indivíduos da Ordem Oligochaeta na estação 11A (Porto de Arcia), no terceiro período de seca. Para a construção do índice, estimamos seu valor igualando ao valor mais alto encontrado no período. Assim, ao invés de utilizar o valor de densidade total de 62.877,3, utilizou-se o valor de 2.152,4, densidade que pode ainda ser considerada elevada e indicar uma condição de águas poluídas por matéria orgânica.
- Densidade de EPT: que, no período de chuvas, aparece com valores cuja média e desvio padrão estão próximos do dobro em relação ao período de seca.

**TABELA 8.5**

**ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DAS VARIÁVEIS BIOLÓGICAS UTILIZADAS PARA A CONSTRUÇÃO DO ÍNDICE BIOLÓGICO NOS PERÍODOS DE SECA**

VARIÁVEIS	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	DESVIO
Número de <i>Taxa</i> (NT)	2,00	19,00	9,37	4,63
Número de Indivíduos (NI)	26,00	1226,00	248,50	268,30
Densidade Total (DeT)	23,60	1112,00	225,40	243,40
Densidade de EPT(DeE)	0,00	89,79	13,00	23,83
Densidade de CHI+OLI(DeCO)	0,00	691,20	145,90	197,20
Perc. ind. da espécie dominante (PED)	16,44	98,64	59,01	22,42
Perc. de EPT (PE)	0,00	86,67	13,40	21,41
Perc de CHI+OLI (PCO)	0,00	99,34	52,48	32,34
Índice de Riqueza (IR)	0,20	4,29	1,74	0,99
Número de <i>Taxa</i> de EPT (NTE)	0,00	5,00	1,37	1,54
Relação EPT/[CHI+OLI], (E/CO)	0,00	13,00	0,97	2,67
Número de ind. de EPT (NIE)	0,00	99,00	14,33	26,28
Número de ind. de CHI+OLI (NICO)	0,00	762,00	160,80	217,40
Relação Dens. Total/N. <i>Taxa</i> (D/T)	3,30	182,92	31,71	39,55
Dominância Total (DoT)	0,10	1,02	0,48	0,25
Dom. de EPT (DoE)	0,00	0,75	0,05	0,14
Dom. de CHI+OLI (DoCO)	0,00	1,02	0,31	0,30

Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

Com relação à percentagem de indivíduos dominantes no ambiente aquático, para cada estação e época do ano, verificou-se a existência de um *taxon* dominante no ambiente, embora as percentagens registradas não se alterem significativamente com a época do ano. Assim, a percentagem de EPT em relação aos períodos de seca e chuvas, apresenta médias que estão em torno de 12% e desvios padrões de até 20%. Através das



médias dos dois períodos, pôde-se verificar que a percentagem de Chironomidae/Oligochaeta (CHI+OLI) é maior nas águas poluídas no período de seca, com uma variação em torno de 33%. Essa dominância pode chegar a altos valores (> 99,34 %) para o período de seca e dominância total (100%), no período de chuvas.

**TABELA 8.6**  
**ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DAS VARIÁVEIS BIOLÓGICAS UTILIZADAS PARA A**  
**CONSTRUÇÃO DO ÍNDICE BIOLÓGICO NOS PERÍODOS DE CHUVA**

VARIÁVEIS	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	DESVIO
Número de <i>Taxa</i> (NT)	2,00	18,00	7,60	3,64
Número de Indivíduos (NI)	8,00	452,00	78,40	93,40
Densidade Total (DeT)	7,30	410,00	87,60	97,30
Densidade de EPT(DeE)	0,00	55,33	6,31	12,39
Densidade de CHI+OLI(DeCO)	0,90	405,40	58,20	94,60
Perc. ind. da espécie dominante (PED)	23,64	95,37	52,87	21,82
Perc. de EPT (PE)	0,00	84,85	12,47	21,18
Perc de CHI+OLI (PCO)	3,03	100,00	47,11	34,24
Índice de Riqueza (IR)	0,39	3,69	1,74	0,88
Número de <i>Taxa</i> de EPT (NTE)	0,00	6,00	1,20	1,54
Relação EPT/[CHI+OLI], (E/CO)	0,00	28,00	1,63	5,28
Número de ind. de EPT (NIE)	0,00	61,00	7,13	15,63
Número de ind. de CHI+OLI (NICO)	1,00	447,00	51,7	94,80
Relação Dens. Total/N. <i>Taxa</i> (D/T)	1,36	68,33	15,03	20,36
Dominância Total (DoT)	0,14	0,91	0,39	0,23
Dom. de EPT (DoE)	0,00	0,35	0,04	0,08
Dom. de CHI+OLI (DoCO)	0,00	0,91	0,26	0,30

Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

As demais variáveis medidas não foram utilizadas na construção do índice por serem altamente correlacionadas, uma vez que algumas delas foram construídas a partir de outras. Uma descrição dessas variáveis é feita a seguir.

O número de indivíduos mostrou-se significativamente maior nos períodos de seca, resultado semelhante ao observado para a densidade de CHI+OLI. O Índice de Riqueza, por sua vez, mostrou a mesma média em ambos os períodos do ano, sendo o desvio padrão ligeiramente maior na seca. Em relação ao número de *taxa* de EPT, verificou-se que algumas estações não possuem nenhuma família de EPT, sendo seis o maior número de famílias encontradas em uma estação no período da chuva. A relação EPT/(CHI+OLI), variável construída a partir dos número de indivíduos desses indicadores de qualidade da água, possui uma tendência exponencial, e o denominador não poderia ser zero.

Para as variáveis, número de indivíduos de EPT e número de indivíduos de CHI+OLI, verificou-se um número muito maior na seca.

Analisando-se a relação da densidade total com o número de *taxa*, verifica-se que existe, em média, o dobro de indivíduos no período de seca, período que mostrou também os maiores valores de dominância total, dominância de EPT e dominância de CHI+OLI.

## CONSTRUÇÃO DOS ÍNDICES

### ÍNDICE FÍSICO-QUÍMICO DE QUALIDADE DA ÁGUA (IFQ)

Com o objetivo de reduzir o número de variáveis visando uma interpretação mais fácil além de minimizar o processo de coleta dos dados, utilizou-se a técnica de estatística multivariada denominada Análise de Componentes Principais-ACP (Johnson, 1988), aplicada à Matriz de Correlação estimada das variáveis. A igualdade das matrizes de correlação das variáveis físicas e químicas para os períodos de seca e chuva foi testada através do teste de Wilk's, que indicou haver diferença significativa ao nível de 5% de significância. Desse modo, a construção de um índice global sem levar em consideração a diferença natural entre os dois períodos não é adequada e, portanto, foram construídos índices separados para esses períodos, denominados Índice Físico-Químico de Seca (IFQS) e Índice Físico-Químico de Chuva (IFQC)

Essa técnica consiste em encontrar novas variáveis, denominadas  $Y_k$ , sendo  $K = 1, 2, \dots, p$ , que sejam combinações lineares das  $P$ -variáveis originais. Segundo Mingo-ti (1992), a idéia básica é substituir a informação das  $P$ -variáveis originais por  $K$ -componentes principais não-correlacionadas, que expliquem uma grande parte da variabilidade total dos dados. Com isso, a informação contida nas  $P$ -variáveis originais é substituída pela informação contida em  $k$  ( $k < P$ ). Essa técnica permite, portanto, retirar do modelo as variáveis correlacionadas. Contudo, na presença de um grande número de variáveis, deve-se utilizar a técnica da análise de conglomerados (*clusters*), que permite agrupar elementos similares. Para tanto, é necessário decidir *a priori* qual a medida de similaridade a ser utilizada. Tal escolha deve considerar que valores pequenos da distância devem indicar que os elementos são os mais similares. Optou-se pelo método de Ward (Jonhson & Wichern, 1992), que permite agrupar as estações em conglomerados.

### VARIÁVEIS SELECIONADAS

O resultado da Análise de Componentes Principais indicou a utilização de 12 variáveis: temperatura da água, oxigênio dissolvido, pH, condutividade elétrica, alcalinidade total, sílica, amônia, nitrito, nitrato, nitrogênio total, ortofosfato e fósforo total

Através da matriz de correlação, foi definida a seguinte fórmula genérica para o IFQ:

$$IFQ_i = \omega_1 \left[ \frac{(x_1 - \hat{\mu}_1)}{\hat{\sigma}_1} \right] + \omega_2 \left[ \frac{(x_2 - \hat{\mu}_2)}{\hat{\sigma}_2} \right] + \omega_3 \left[ \frac{(x_3 - \hat{\mu}_3)}{\hat{\sigma}_3} \right] + \dots$$

sendo,

= peso da variável  $i$

= estimativa da média da variável  $i$

= estimativa do desvio padrão da variável  $i$

= valores amostrais da variável  $i$

onde  $i = 1, 2, 3, \dots, p$

Para a construção dos índices físico-químico de seca e chuva, foi descartada a variável clorofila-a em virtude da grande incidência de valores zero; também, como os valores das variáveis nitrogênio total da estação 8 no primeiro período de amostragem (seca) e da variável alcalinidade total da estação 12, no terceiro período de amostragem (seca), foram perdidos, esses valores foram estimados pela média dos respectivos períodos, de modo a permitir sua utilização na construção dos índices.

Assim, para a concentração de nitrogênio total, na estação 8, na amostragem de julho de 1993, foi usado o valor 817,0 e, para a alcalinidade total, foi usado o valor 0,58, obtidos pelas médias dos períodos de seca. Após tais modificações e utilizando-se a fórmula geral anteriormente apresentada, foram calculados os valores do IFQ para os períodos de seca (IFQS) e chuva (IFQC) mostrados abaixo:

$$\begin{aligned} IFQS = & -0,308 \left( \frac{T_{temp} - 20,43}{2,42} \right) + 0,267 \left( \frac{Cond - 8,83}{1,79} \right) - 0,250 \left( \frac{pH - 6,95}{1,05} \right) - 0,392 \left( \frac{Cond - 66,25}{41,79} \right) - 0,334 \left( \frac{Alcal - 0,31}{0,26} \right) + \\ & -0,324 \left( \frac{SiO_2 - 3,45}{1,24} \right) - 0,187 \left( \frac{Amom - 232,03}{398,17} \right) - 0,128 \left( \frac{Nitrito - 6,27}{9,26} \right) - 0,177 \left( \frac{Nitrito - 106,16}{209,16} \right) + \\ & -0,410 \left( \frac{Nit - 817,24}{819,00} \right) - 0,292 \left( \frac{Oxof - 10,85}{11,51} \right) - 0,254 \left( \frac{Ptot - 113,29}{68,30} \right) \end{aligned}$$

c

$$\begin{aligned} IFQC = & -0,295 \left( \frac{T_{temp} - 25,29}{3,95} \right) + 0,362 \left( \frac{Cond - 7,48}{1,11} \right) - 0,229 \left( \frac{pH - 6,82}{1,13} \right) - 0,352 \left( \frac{Cond - 74,53}{60,73} \right) - 0,369 \left( \frac{Alcal - 0,58}{0,48} \right) + \\ & -0,267 \left( \frac{SiO_2 - 4,42}{1,50} \right) - 0,343 \left( \frac{Amom - 266,64}{392,88} \right) - 0,159 \left( \frac{Nitrito - 7,81}{7,24} \right) - 0,186 \left( \frac{Nitrito - 823,42}{1708,44} \right) + \\ & -0,366 \left( \frac{Nit - 1528,84}{1495,64} \right) - 0,273 \left( \frac{Oxof - 14,46}{10,64} \right) - 0,113 \left( \frac{Ptot - 178,78}{205,87} \right) \end{aligned}$$

Note-se que, tanto no IFQS como no IFQC, o coeficiente relacionado com oxigênio dissolvido é positivo, enquanto todos os demais coeficientes são negativos, sugerindo que valores elevados de oxigênio dissolvido e reduzidos das demais variáveis estão relacionados com águas de melhor qualidade. O IFQS foi o primeiro componente principal, representando 36% da variância amostral total; por sua vez, o IFQC foi o primeiro componente principal, representando 43% da variância total. Para se obterem os valores dos índices para cada estação de amostragem, basta substituir o valor das variáveis originais de cada estação na equação correspondente.

## CLASSES DE QUALIDADE DA ÁGUA

Com o objetivo de permitir a utilização dos índices acima descritos como uma ferramenta de monitoramento de fácil acesso e compreensão e considerando-se que os índices construídos têm uma distribuição amostral aproximadamente normal com média zero e variância 4,6, foram propostas classes de qualidade da água para as estações de amostragem. A classificação proposta contempla dois níveis de detalhamento. O primeiro, mais abrangente, contempla três classes de qualidade: Ruim (R), Aceitável (A) e Boa (B); o segundo nível, com maior detalhamento, inclui cinco classes: Péssima (P), Ruim (R), Aceitável (A), Boa (B) e Ótima (O).

A Tabela 8.7 mostra os limites de cada classe para cada nível, em função dos índices obtidos.

**TABELA 8.7**  
**LIMITES PARA AS CLASSES DE QUALIDADE DA ÁGUA A PARTIR DOS VALORES DO ÍNDICE FÍSICO-QUÍMICO**

NÚMERO DE CLASSES	CLASSES DE QUALIDADE				
	PÉSSIMA	RUIM	ACEITÁVEL	BOA	ÓTIMA
3	-	$i < -1,0$	$-1,0 \text{ i } 1,0$	$i > 1,0$	-
5	$i < -1,8$	$-1,8 \text{ i } < -0,6$	$-0,6 \text{ i } 0,6$	$0,6 < i < 1,8$	$i > 1,8$

Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

$i$  = Valor observado do índice considerado para a estação.

## ÍNDICE BIOLÓGICO DE QUALIDADE DE ÁGUA (IB)

Utilizando-se a metodologia anteriormente descrita e a partir da análise de variáveis da comunidade bentônica obtidas nas 15 estações de amostragem, propõe-se a definição de um índice de qualidade biológica da água (IB), que é visto como tendo um caráter mais *rigoroso* para a definição das classes de qualidade. Tal afirmativa baseia-se na aceitação de que parâmetros biológicos, por integrar as informações do ambiente refletindo até mesmo situações anteriores às prevalentes durante os períodos amostrais, devem constituir os melhores indicadores da situação do meio ambiente, conforme sugerido por Marvan *et al.* (1976).

Para a construção do IB, foram selecionadas, a partir da Análise de Componentes Principais, as seguintes variáveis da comunidade bentônica:

- Número de *Taxa* (NT)
- Densidade total de organismos (DeT)
- Densidade de EPT (DeE)
- Percentagem de indivíduos do *taxon* dominante (PED)
- Percentagem de Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera (PE)
- Percentagem de Chironomidae + Oligochaeta (PCO)

Utilizando-se a fórmula geral anteriormente descrita, foram calculados os valores do índice biológico (IB).

Os índices para os períodos de seca e chuva foram definidos pelas equações a seguir:

$$\begin{aligned}
 IB_S = & +0,271\left(\frac{NT - 9,37}{4,63}\right) - 0,293\left(\frac{DeT - 225,40}{243,40}\right) + 0,522\left(\frac{DeE - 13,00}{23,83}\right) + \\
 & -0,204\left(\frac{PED - 59,01}{22,42}\right) + 0,535\left(\frac{PE - 13,40}{21,41}\right) - 0,490\left(\frac{PCO - 52,48}{32,34}\right) \\
 IB_C = & +0,436\left(\frac{NT - 7,60}{3,64}\right) - 0,268\left(\frac{DeT - 87,6}{97,3}\right) + 0,427\left(\frac{DeE - 6,31}{12,39}\right) + \\
 & -0,372\left(\frac{PED - 52,87}{21,82}\right) + 0,433\left(\frac{PE - 12,47}{21,18}\right) - 0,478\left(\frac{PCO - 47,11}{34,24}\right)
 \end{aligned}$$

A Tabela 8.8 mostra os limites para as classes de qualidade do Índice Biológico, cuja distribuição amostral é aproximadamente normal, com média zero e variância próxima de dois.

**TABELA 8.8**  
**LIMITES PARA CLASSIFICAÇÃO DOS ÍNDICES BIOLÓGICOS DAS ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM.**

NÚMERO DE CLASSES	CLASSES DE QUALIDADE				
	PÉSSIMA	RUIM	ACEITÁVEL	BOA	ÓTIMA
3	-	$i < -0,6$	$-0,6 \leq i \leq 0,6$	$i > 0,6$	-
5	$i < -1,2$	$-1,2 \leq i < -0,4$	$-0,4 \leq i \leq 0,4$	$0,4 < i \leq 1,2$	$i > 1,2$

Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

## RESULTADOS

### ÍNDICE FÍSICO-QUÍMICO DE QUALIDADE DA ÁGUA (IFQ)

A partir da equação geral apresentada e com os dados obtidos nos períodos de seca (julho) e chuvas (dezembro-fevereiro) de 1993, 1994 e 1995, foram obtidos valores para o índice IFQ nas 15 estações de amostragem ao longo do Rio Piracicaba e seus afluentes e parte do médio Rio Doce.

Os valores do IFQ para os períodos de seca e chuva são mostrados nas tabelas 8.9 e 8.10.

A título de ilustração, apresentamos a seguir uma classificação seguindo os valores da Tabela 8.10, onde as cores abaixo das estações no dendrograma correspondem às cinco classes de qualidade da água, assim como as letras maiúsculas, fora dos parênteses, ou seja, a cor marrom e a letra P significam que aquele grupo é de estações

com uma péssima qualidade de água. A cor vermelha e a letra R correspondem às estações onde a água é de qualidade ruim; a cor verde e a letra A, às estações cujas águas mostraram uma qualidade aceitável; a cor azul escuro e a letra B, às estações com águas de boa qualidade; a cor azul claro e a letra O, às estações com ótima qualidade da água. As letras minúsculas, dentro dos parênteses, referem-se a uma classificação mais abrangente, limitada em três classes, na qual (r) é usado para definir um grupo de estações com uma qualidade de água ruim, (a) para estações com uma qualidade aceitável da água e (b) para estações com água de boa qualidade. Tais resultados podem ser vistos na Figura 8.15.

**TABELA 8.9**  
**ÍNDICE FÍSICO-QUÍMICO E CLASSES DE QUALIDADE DA ÁGUA PARA OS PERÍODOS DE SECA (P1S E P3S)**

ESTAÇÃO DE AMOSTRAGEM	IFQS PARA P1S	CLASSIFICAÇÃO		IFQS PARA P3S	CLASSIFICAÇÃO	
		EM 5 CLASSES	EM 3 CLASSES		EM 5 CLASSES	EM 3 CLASSES
1. Caraça	4,42	O	B	3,59	O	B
2. Santa Rita	0,23	A	A	1,66	B	B
3. Barão	-1,59	R	R	-2,18	P	R
4. Santa Bárbara	0,76	B	A	-0,27	A	A
5. São Gonçalo	1,53	B	B	0,99	B	A
6. João Monlevade	-0,07	A	A	-0,37	A	A
7. Rio do Peixe	0,25	A	A	-0,34	A	A
8. Severo	1,32	B	B	0,77	B	A
9. Porto do Bote	0,97	B	A	-2,3	P	R
10. Cariru	-0,78	R	A	-3,24	P	R
11a. Porto de Areia	-2,01	P	R	-6,43	P	R
11b. Revés do Belém	1,48	B	B	0,37	A	A
12. Cenibra I	1,46	B	B	0,32	A	A
13. Cenibra II	1,06	B	B	-2,15	P	R
14. Cachoeira Escura	1,13	B	B	-0,56	A	A

Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

Considerando-se a existência de cinco classes de qualidade da água, verifica-se que as estações em estudo podem ser agrupadas em três blocos: Bloco 1, incluindo estações cuja qualidade varia de **Aceitável - A (2, 6 e 7)**; **Ruim - R (3 e 10)** e **Péssima - P (11A)**; Bloco 2, incluindo apenas a estação 1, de **ótima (O)** qualidade da água e Bloco 3, com as estações cuja qualidade da água é **Boa - B(4, 5, 8, 9, 11B, 13 e 14)**. Quando se utiliza um sistema com apenas três classes de qualidade, verifica-se que as estações 10, caracterizada como ruim, 4 e 9, caracterizadas como boas, assumem uma categoria aceitável.

Na Figura 8.16 o mesmo exercício mostra a classificação das estações em função do índice físico-químico para o terceiro período de amostragem, também cor-

respondente ao período de seca. Observa-se também a presença de quatro blocos de estações: Bloco 1, formado pelas estações 3, 9, 10, 11A e 13, cuja qualidade da água varia de péssima a aceitável; Bloco 2, formado pela estação 1, cuja qualidade é ótima; Bloco 3, formado pelas estações 2, 5, 8, 11B e 12, com uma boa qualidade da água e Bloco 4, formado pelas estações 4, 6, 7 e 14, cuja qualidade da água varia de ruim a boa. Para um sistema de qualidade baseado em três classes de qualidade, teremos três blocos: Bloco 1, formado pelas estações que têm uma qualidade ruim (3 e 10); Bloco 2, formado pelas estações com água de boa qualidade (1, 2, 4, 5 e 14); e Bloco 3, cuja qualidade é aceitável, formado pelo restante das estações.

Uma comparação da qualidade da água das estações entre os dois períodos de seca é mostrada na Figura 8.17. Verifica-se que apenas na estação 2 (Rio Piracicaba, distrito de Santa Rita Durão) houve melhora da qualidade da água, tendo se verificado maiores diferenças entre os dois períodos nas estações 11A (Porto de Arcia), 10 (Cariru), 9 (Porto do Bote) e 13 (entrada dos efluentes da Cenibra).

A Tabela 8.10 mostra os valores do Índice Físico-Químico de Chuva (IFQC) para os dois períodos de chuva (P2C e P4C) juntamente com as classes de qualidade da água, considerando a utilização de 3 e 5 classes de qualidade. Pelos resultados, observa-se que sete estações se mantiveram nas mesmas classes de qualidade nos dois períodos de chuva ao se utilizar um sistema de cinco classes, ao passo que, se adotado o sistema com três classes, serão oito as estações coincidentes nos dois períodos de chuva.

**TABELA 8.10**  
**ÍNDICE FÍSICO-QUÍMICO E CLASSES DE QUALIDADE DA ÁGUA PARA OS PERÍODOS DE CHUVA (P2C E P4C)**

ESTAÇÃO DE AMOSTRA	IFQC PARA P2C	CLASSIFICAÇÃO		IFQC PARA P4C	CLASSIFICAÇÃO	
		EM 5 CLASSES	EM 3 CLASSES		EM 5 CLASSES	EM 3 CLASSES
1. Caraça	4,26	O	B	3,11	O	B
2. Santa Rita	1,74	B	B	1,77	B	B
3. Barão	-1,6	R	R	-1,91	P	R
4. Santa Bárbara	0,82	B	A	1,47	B	B
5. São Gonçalo	0,92	B	A	1,89	B	B
6. João Monlevade	0,03	A	A	0,55	A	A
7. Rio do Peixe	0,86	B	A	-1,14	R	R
8. Severo	1,67	B	B	0,83	B	A
9. Porto do Bote	-1,29	R	R	0,13	A	A
10. Cariru	-3,53	P	R	-2,08	P	R
11a. Porto de Arcia	-7,95	P	R	-1,76	R	R
11b. Revés do Belém	0,15	A	A	0,8	B	A
12. Cenibra I	0,5	A	A	0,73	B	A
13. Cenibra II	-1,71	R	R	0,23	A	A
14. Cachocira Escura	0,27	A	A	1,77	B	B

Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

Na Figura 8.18 a existência de cinco blocos de estações é bastante clara quando se consideram cinco classes de qualidade: Bloco 1, representado pelas estações de qualidade ruim (3 e 13); Bloco 2, pelas estações cuja qualidade da água é péssima (9, 10, 11A); Bloco 3, formado pela estação 1, cuja qualidade é ótima; Bloco 4, formado pelas estações de água de boa qualidade (2, 8, 4, 7 e 5); Bloco 5, cuja qualidade é aceitável (6, 11B, 14 e 12).

A qualidade da água das estações durante o quarto período de amostragem (chuvas) pode ser vista através do dendrograma mostrado na Figura 8.19, considerando-se a existência de cinco classes de qualidade. Comparando-se os resultados desse período com aqueles do segundo período de amostragem, verifica-se uma melhoria da qualidade da água na maioria das estações de amostragem, particularmente na estação 11A (Porto de Areia).

A comparação do índice físico-químico para os períodos de chuva é mostrada na Figura 8.20. Com exceção das estações 3 e 7, verifica-se uma melhoria na qualidade da água em todas as estações, destacando-se a estação 11A.

Pelos resultados obtidos, verifica-se que a qualidade física e química da água, medida através do IFQ varia consideravelmente entre as estações e nos períodos amostrados. Em termos gerais, a qualidade diminui durante o período de chuvas, evidenciando os impactos do material alóctone carregado para os rios no período. A estação 1 (Cascatinha, Parque Natural do Caraça) foi a que apresentou os maiores valores, resultado esperado uma vez que os efeitos de impactos antrópicos na área são desprezíveis. A estação 11A (desembocadura do Rio Piracicaba e Ribeirão Ipanema) foi a que apresentou os valores mais baixos nos períodos amostrados.

Uma deterioração da qualidade da água segundo um gradiente longitudinal em direção à foz do Rio Piracicaba é evidente. Assim, à exceção da estação 3 (a jusante da Cosígua), as melhores estações são aquelas localizadas nos trechos superior e médio do Rio Piracicaba, com uma sensível deterioração nas estações localizadas no denominado Vale do Aço, região que concentra importantes atividades antrópicas, destacando-se a siderurgia de grande porte (Acesita e Usiminas, entre outras), além dos esgotos e lixo das maiores cidades da região (Coronel Fabriciano, Ipatinga, Timóteo etc.). As quatro últimas estações (11B, 12, 13 e 14), localizadas no médio Rio Doce, apesar de receber uma carga considerável de esgotos domésticos e industriais, mostram uma ligeira melhora da qualidade físico-química da água, provavelmente influenciada pelo maior volume do Rio Doce, capaz de permitir uma diluição mais eficiente da carga poluidora.

### **ÍNDICE BIOLÓGICO DE QUALIDADE DA ÁGUA (IB)**

Os valores do IB para os períodos de seca e chuva são mostrados nas tabelas 8.11 e 8.12, considerando a utilização de três e cinco classes de qualidade.

A Figura 8.21 mostra a distribuição das classes de qualidade da água nas estações amostradas em função dos valores obtidos para o índice biológico no primeiro período de seca. Quando se consideram cinco classes de qualidade, verifica-se a existência de cinco blocos, assim constituídos: Bloco 1, formado pelas estações de boa



qualidade (1 e 14); Bloco 2, formado pelas estações de ótima qualidade da água (5, 12 e 8); Bloco 3, formado pelas estações com uma péssima qualidade da água (2, 3 e 6); Bloco 4, com águas de qualidade ruim (7, 13 e 14); Bloco 5, formado pelas estações com uma qualidade da água aceitável (9, 10, 11A e 11B). Para três classes de qualidade, os agrupamentos obtidos são: águas de boa qualidade (1, 14, 5, 2 e 8), águas com uma qualidade aceitável (9, 10, 11A, 11B e 4) e águas com uma qualidade ruim (2, 3, 6, 7 e 13).

**TABELA 8.11**  
**VALORES DO ÍNDICE BIOLÓGICO OBTIDOS PARA OS PERÍODOS DE SECA**  
**(BP1S E BP3S)**

ESTAÇÃO DE AMOSTRAGEM	IBS PARA BP1S	CLASSIFICAÇÃO		IBS PARA BP3S	CLASSIFICAÇÃO	
		EM 5 CLASSES	EM 3 CLASSES		EM 5 CLASSES	EM 3 CLASSES
1. Caraça	0,9	B	B	-0,42	A	A
2. Santa Rita	-1,83	P	R	0,74	B	B
3. Barão	-2,11	P	R	-1,31	P	R
4. Santa Bárbara	-0,53	R	A	0,05	A	A
5. São Gonçalo	1,61	O	B	1,47	O	B
6. João Monlevade	-1,3	P	R	-0,13	A	A
7. Rio do Peixe	-0,91	R	R	-1,38	P	R
8. Severo	3,29	O	B	0,74	B	B
9. Porto do Bote	-0,2	A	A	0,01	A	A
10. Cariru	-0,28	A	A	-2,04	P	R
11a. Porto de Areia	0,17	A	A	-3,98	P	R
11b. Revés do Belém	0,3	A	A	-0,72	R	R
12. Cenibra I	1,79	O	B	0,79	B	B
13. Cenibra II	-0,98	R	R	3,21	O	B
14. Cachocira Escura	1,18	B	B	1,86	O	B

Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

As classes de qualidade da água das estações obtidas a partir dos valores do índice biológico obtidos para o terceiro período de amostragem (seca) estão na Figura 8.22. Para cinco classes os blocos são os seguintes: Bloco 1, formado pelas estações com água de boa qualidade (2, 8 e 12); Bloco 2, formado pelas estações com água de ótima qualidade (5, 14 e 13); Bloco 3, formado pelas estações com água de péssima qualidade (3, 7, 10 e 11A); Bloco 4, formado pelas estações com água de qualidade ruim (1 e 11B); Bloco 5, formado pelas estações com águas de qualidade aceitável (4, 9 e 6). Para três classes de qualidade, temos os seguintes agrupamentos de estações: águas de boa qualidade (2, 8, 12, 5, 14 e 13); águas de qualidade ruim (3, 7, 10, 11A, 1 e 11B); águas de qualidade aceitável (4, 9 e 6).

A comparação da qualidade das águas entre os dois períodos de seca, medida a partir dos valores do índice biológico, é mostrada na Figura 8.23. Verifica-se que em sete estações a qualidade diminuiu do primeiro para o segundo período de seca, desta-

cando-se as estações 11A (Porto do Bote), 10 (Cariru) e 8 (Severo) como aquelas com os menores valores; das oito estações restantes, verifica-se uma melhora significativa da qualidade da água nas estações 2 (Santa Rita Durão), 13 (junto ao lançamento dos efluentes da Cenibra) e 14 (Cachoeira Escura).

Os valores do índice biológico e as classes de qualidade da água correspondentes para os períodos de chuva estão na Tabela 8.12. Comparando-se os dois períodos e considerando-se a existência de cinco classes de qualidade, verifica-se que nove estações mantiveram-se coincidentes entre esses períodos; uma classificação em três classes de qualidade eleva esse número de estações coincidentes entre os dois períodos para 11.

**TABELA 8.12**

**ÍNDICE BIOLÓGICO E CLASSES DE QUALIDADE DA ÁGUA PARA OS PERÍODOS DE CHUVA (BP2C E BP4C)**

ESTAÇÃO DE AMOSTRAGEM	IBC PARA BP2C	CLASSIFICAÇÃO		IBC PARA BP4C	CLASSIFICAÇÃO	
		EM 5 CLASSES	EM 3 CLASSES		EM 5 CLASSES	EM 3 CLASSES
1. Caraça	2,87	O	B	3,22	O	B
2. Santa Rita	0,58	B	A	-2,25	P	R
3. Barão	-2,19	P	R	-2,73	P	R
4. Santa Bárbara	-0,38	A	A	-0,15	A	A
5. São Gonçalo	0,61	B	B	0,71	B	B
6. João Monlevade	-1,55	P	R	-2,03	P	R
7. Rio do Peixe	0,31	A	A	-0,39	A	A
8. Severo	1,89	O	B	4,43	O	B
9. Porto do Bote	0,82	B	B	1,23	O	B
10. Cariru	-1,71	P	R	-0,16	A	A
11a. Porto de Areia	-2,19	P	R	-2,73	P	R
11b. Revés do Belém	0,08	A	A	-1,58	P	R
12. Cenibra I	0,19	A	A	0,68	B	B
13. Cenibra II	-0,11	A	A	0,5	B	A
14. Cachoeira Escura	1,02	B	B	1,02	B	B

Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

A Figura 8.24 mostra os agrupamentos das estações em função dos valores do índice biológico no segundo período de chuvas. Quando consideramos a existência de cinco classes de qualidade, a distribuição das estações é a seguinte: Bloco 1, estações com água de péssima qualidade (3, 11A, 6 e 10); Bloco 2, estações com águas de ótima qualidade (1 e 8); Bloco 3, estações com água de boa qualidade (2, 5, 9 e 14); Bloco 4, estações com qualidade da água aceitável (4, 13, 7, 11B e 12). Destaque-se a inexistência de estações com água de qualidade ruim. Quando consideramos apenas três classes de qualidade, as estações se agrupam como se segue: Bloco 1, águas de qualidade ruim (3, 11A, 6 e 10); Bloco 2, águas de boa qualidade (1, 8, 2, 5, 9 e 14); Bloco 3, águas de qualidade aceitável (4, 13, 7, 11B e 12).

A situação no quarto período de amostragem (chuvas) é descrita na Figura 8.25. Considerando-se a existência de cinco classes de qualidade, verifica-se que também nesse período não existem estações cujas águas têm qualidade ruim. Os agrupamentos são os seguintes: Bloco 1, formado pelas estações com água de péssima qualidade (2, 6, 11B, 3 e 11A); Bloco 2, formado pelas estações cujas águas têm ótima qualidade (1, 8 e 9); Bloco 3, com as estações com águas de qualidade aceitável (4, 10 e 7); Bloco 4, formado pelas estações com águas de boa qualidade (5, 12, 13 e 14). Para três classes de qualidade, os agrupamentos são: águas de qualidade ruim (2, 6, 11B, 3 e 11A); águas com qualidade aceitável (4, 7 e 10) e águas com boa qualidade (1, 8, 5, 12, 13 e 14).

A evolução da qualidade biológica das águas nos dois períodos de chuva é mostrada na Figura 8.26. Verifica-se que em sete estações houve uma queda na qualidade da água entre os períodos, destacando as estações 2 (Santa Rita) e 11B (Revés do Belém) como aquelas onde se verificaram as maiores perdas de qualidade; nas demais estações verificou-se uma melhora na qualidade da água, principalmente na estação 8 (Severo).

Em termos gerais, a qualidade da água vista através de variáveis biológicas tende a ser mais *rigorosa* do que a obtida de variáveis físicas e químicas. Os resultados obtidos mostram a ocorrência de significativas diferenças sazonais tanto intra-anuais como interanuais. Seu maior mérito, contudo, reside provavelmente no fato de representarem a integração das condições do meio ao longo do tempo, ao contrário das variáveis físicas e químicas, que geralmente expressam as condições prevaletentes no momento da amostragem.

## **COMPARAÇÃO ENTRE OS ÍNDICES**

### **COMPARAÇÃO DOS ÍNDICES FÍSICO-QUÍMICOS EM RELAÇÃO AO PERÍODO DE COLETA**

Através do método de concordância de Kappa (Woolson, 1987), comparamos os índices físico-químicos dos períodos de seca e chuva, obtendo-se os seguintes resultados:

- Período de seca: comparamos o IFQS de P1S com o IFQS de P3S: índices coincidentes=6,  $k=0,12$  ( $Z=0,76 < 1,96$ ).
- Período de chuva: comparamos o IFQC de P2C com o IFQC de P4C: índices coincidentes=8,  $k=0,29$  ( $Z=1,62 < 1,96$ ).

Pelo índice de concordância de Kappa, verificamos que não houve concordância dos valores dos índices IFQS e IFQC entre os períodos de seca e chuva, respectivamente, em anos diferentes, ao nível de significância de 5%.

### **COMPARAÇÃO DOS ÍNDICES BIOLÓGICOS EM RELAÇÃO AO PERÍODO DE COLETA**

A comparação entre os índices biológicos desses períodos, através do método de concordância de Kappa, permitiu a obtenção dos seguintes resultados:

- Período de seca: comparamos o IBS de BP1S com o IBS de BP3S: índices coincidentes=8,  $k=0,30$  ( $Z=1,65 < 1,96$ ).
- Período de chuva: comparamos o IBC de BP2C com o IBC de BP4C: índices coincidentes=11,  $k=0,60$  ( $Z=3,38 > 1,96$ ).

Pelo índice de concordância de Kappa, pode-se concluir que, para o primeiro caso, não há concordância entre os períodos de seca de anos diferentes; no segundo caso, existe a concordância para os períodos de chuva em anos diferentes, ao nível de significância de 5,0%.

### **COMPARAÇÃO DOS ÍNDICES FÍSICO-QUÍMICO E BIOLÓGICO**

Comparando os índices físico-químicos com os biológicos, para cada período, temos:

- para o 1º período (seca), comparamos o índice do período P1S com BP1S: índices coincidentes=9,  $k=0,40$  ( $Z=2,30 > 1,96$ ).
- para o 2º período (seca), comparamos o índice do período P3S com BP3S: índices coincidentes=6,  $k=0,13$  ( $Z=0,84 < 1,96$ ).
- para o 3º período (chuva), comparamos o índice do período P2C com BP2C: índices coincidentes=9,  $k=0,39$  ( $Z=2,19 > 1,96$ ).
- para o 4º período (chuva), comparamos o índice do período P4C com BP4C: índices coincidentes=6,  $k=0,11$  ( $Z=0,59 < 1,96$ ).

Apenas para os períodos de seca e chuva de 1993 o método de Kappa indicou concordância de valores dos índices físico-químicos e biológicos ao nível de significância de 5,0%.

As Figuras 8.27 e 8.28 mostram a relação dos índices físico-químico e biológico, levando-se em conta o período de amostragem. A correlação entre os índices, no período de seca, foi igual a 0,481 e no período de chuva igual a 0,563.

Quando comparamos esses índices nos períodos de seca (Figura 8.27), verifica-se que no terceiro período (seca) existe maior número de estações com índice físico-químico negativo. Nesse mesmo período, a estação 11A (Porto de Arcia) destaca-se por seus valores negativos tanto no índice biológico de seca (IBS) quanto no índice físico-químico de seca (IFQS). Por sua vez, a estação 1 (Caraça) tem os dois maiores valores do índice físico-químicos (destacados à direita no gráfico). Em relação ao índice biológico de seca (IBS), a estação 8 (Severo) é a que tem a melhor qualidade da água no primeiro período, substituída, no terceiro, pela estação 13.

A Figura 8.28 mostra essas comparações para os períodos de chuva. Comparando-se os índices físico-químico e biológico, verifica-se, no segundo período, que a estação 11A (Porto de Arcia) mostra os valores mais negativos. É também do segundo período o valor mais alto do IFQS e o terceiro mais alto valor do índice biológico, referente à estação 1 (Caraça). Apenas os valores das estações 8 (Severo) e 1 (Caraça 1), no quarto período (chuva), são maiores que o valor na seca da estação 1.

Esses resultados sugerem que a estação 1 (Caraça) pode ser considerada uma *estação de referência*, capaz de indicar parâmetros ideais para a caracterização de uma água de boa qualidade em termos físico-químicos, o mesmo não sendo possível a partir dos seus valores do índice biológico, fato que reforça a hipótese de este ter um caráter mais restritivo.

## ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA (IQAG)

Considerando-se que a qualidade da água é, em última instância, o resultado das interações entre o meio físico-químico e a biota ali instalada, um índice capaz de indicar essa qualidade deverá refletir tais interações. Assim, construiu-se um índice de qualidade da água levando-se em consideração os aspectos físicos, químicos e biológicos, de forma combinada. Os índices foram construídos através da técnica de Análise de Componentes Principais aplicada às Matrizes de Correlação Amostral das variáveis físicas, químicas e biológicas para cada período, respectivamente. As equações para o Índice de qualidade da água (IQAg) para os períodos de seca (IQAgS) e chuva (IQAgC) são respectivamente:

$$IQAgS = +0,707 \left( \frac{IPQS - 0}{2,067} \right) + 0,707 \left( \frac{IBS - 0}{2,242} \right)$$

$$IQAgC = +0,707 \left( \frac{IPQC - 0}{1,1582} \right) + 0,707 \left( \frac{IBC - 0}{1,762} \right)$$

Levando-se em consideração que a distribuição amostral dos índices IQAS e IQAC é aproximadamente normal com média 0 e variância 2,7, foram construídas três e cinco classes de qualidade da água para as estações de amostragem, cujos limites são descritos na Tabela 8.13. Na Tabela 8.14 são apresentados os índices de qualidade da água para cinco classes.

**TABELA 8.13**

**LIMITES PARA AS CLASSES DE QUALIDADE DA ÁGUA DAS ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM**

NÚMERO DE CLASSES	CLASSES DE QUALIDADE				
	PÉSSIMA (P)	RUIM (R)	ACEITÁVEL (A)	BOA (B)	ÓTIMA (O)
3	-	$i < -0,7$	$-0,7 \leq i \leq 0,7$	$i > 0,7$	-
5	$i < -1,4$	$-1,4 \leq i < -0,4$	$-0,4 \leq i \leq 0,4$	$0,4 < i \leq 1,4$	$i > 1,4$

Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

Pode-se observar que as estações de amostragem mais estáveis são a 5 e a 6, a primeira mantendo-se na classe **boa** e a segunda, na classe **ruim**. Ligeiramente menos estáveis, mas com qualidade variando de **boa** a **ótima**, temos as estações 1 e 8; variando entre **boa** e **aceitável**, temos as estações 4, 12 e 14 e, variando entre **ruim** e **péssima**, as estações 3 e 11A. Por sua vez, as estações menos estáveis (2, 7, 9, 11B e 13) têm uma

qualidade de água variando entre ruim e boa, enquanto a estação 10 mostrou uma qualidade da água oscilando entre aceitável e péssima.

**TABELA 8.14**

**ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA POR PERÍODO DE AMOSTRAGEM, CONSIDERANDO-SE CINCO CLASSES DE QUALIDADE**

ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM	IQAS P1S	CLASSIFICAÇÃO	IQAC P2C	CLASSIFICAÇÃO	IQAS P3S	CLASSIFICAÇÃO	IQAC P4C	CLASSIFICAÇÃO
1	1,84	O	1,01	B	2,63	O	2,40	O
2	-0,70	R	0,87	B	0,83	B	-0,37	A
3	-1,43	P	-1,28	R	-1,46	P	-1,80	P
4	0,02	A	0,07	A	0,11	A	0,42	B
5	1,19	B	0,95	B	0,57	B	0,93	B
6	-0,58	R	-0,18	R	-0,65	R	-0,68	R
7	-0,31	A	-0,70	B	0,42	B	-0,55	R
8	1,84	O	0,57	B	1,36	B	2,16	O
9	0,24	A	-0,76	R	-0,08	A	0,57	B
10	-0,37	A	-1,94	P	-1,89	P	-0,76	R
11a	-0,59	R	-3,82	P	-3,56	P	-1,74	P
11b	0,62	B	-0,18	A	0,08	A	-0,41	R
12	1,25	B	0,44	B	-0,08	A	0,53	B
13	-0,07	A	0,66	B	-0,61	R	0,29	A
14	0,88	B	0,61	B	0,34	A	1,02	B

Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

Em termos gerais, os índices de qualidade da água obtidos neste estudo sugerem que as estações de amostragem com melhor qualidade são: 1 (Caraça), 5 (São Gonçalo), 8 (Severo), 4 (Santa Bárbara), 12 (a montante da Cenibra) e 14 (Cachoeira Escura). As estações com a pior qualidade de água são a 11A (Porto de Arcia) e 10 (Cariru), ambas localizadas no município de Ipatinga, seguidas pela estação 3 (Barão de Cocais).

## DISCUSSÃO

Embora o índice físico-químico obtido no presente estudo forneça uma ferramenta de uso relativamente simples para se avaliar a qualidade da água e que pode ser utilizada em programas de monitoramento, deve ser enfatizado que tal indicador oferece uma informação de uso limitado, uma vez que retrata, geralmente, uma situação instantânea, além de estar sujeito a rápidas e profundas modificações. Além disso, índices físico-químicos geralmente não oferecem respostas integradas das reais condições do meio, uma vez que não incluem as variáveis biológicas, retratando portanto uma parte apenas das condições do meio.

As variáveis biológicas, por sua vez, constituem certamente melhores indicadores dos processos em andamento num dado ambiente, pois têm a capacidade de in-

tegrar a influência de todos os fatores do meio, até mesmo os não detectados pelos métodos analíticos convencionais, como salientado por Marvan (1979) em relação ao potencial de informações de bio-ensaios algais em relação às informações obtidas de variáveis físico-químicas.

Vale ressaltar, no entanto, que a utilização de variáveis e parâmetros biológicos requer conhecimento básico dos organismos e seu funcionamento, para o que são imprescindíveis a existência de especialistas e amostras representativas. Assim, a idéia central quanto à utilização de índices de qualidade deve basear-se no pressuposto de que índices físico-químicos e biológicos são necessariamente complementares e não exclusivos e que só sua utilização conjunta poderá fornecer indicações seguras da qualidade da água e do ambiente em estudo.

A busca de indicadores satisfatórios da qualidade da água passa necessariamente pela combinação das características físicas, químicas e biológicas, o que pode ser resumido no seguinte modelo teórico:  $IQA_g = (IFQ + IB)$ , sendo:

$IQA_g$  = Índice de Qualidade da Água

$IFQ$  = Índice Físico-Químico

$IB$  = Índice Biológico

Particularmente no caso da qualidade das águas da bacia do médio Rio Doce, os índices obtidos retratam, de modo razoavelmente acurado, as condições existentes na bacia, podendo provavelmente ser utilizados em programas de monitoramento e na definição de políticas de recuperação e conservação das condições de água da bacia. A inclusão de outros grupos de organismos aquáticos na definição do índice biológico (plâncton e peixes, por exemplo) deve ser considerada, com o objetivo de se definirem índices mais *robustos* e que melhor representem as reais condições das águas da bacia.

Um exemplo da utilização de tais índices com finalidades de monitoramento é a confecção de mapas de qualidade da água, nos quais podem ser destacadas a qualidade físico-química, a qualidade biológica e a integração de ambas. As Figuras 8.29, 8.30 e 8.31 ilustram tais possibilidades.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Este trabalho teve como objetivo construir índices de qualidade da água que quantificassem os efeitos físicos, químicos e biológicos em diversas estações de amostragem em sete sub-bacias do médio Rio Doce, medindo-se desse modo as mudanças das estações no que se refere aos tipos e quantidades de poluentes na água, decorrentes das diversas atividades antrópicas presentes na área.

Os índices foram construídos pela técnica de Análise de Componentes Principais para os períodos de seca e chuva separadamente. Os resultados encontrados mostram que os índices construídos conseguem captar as mudanças na qualidade da água nas estações de amostragem consideradas. Entretanto, este trabalho ainda não está concluído, uma vez que a metodologia aqui sugerida deverá ser aperfeiçoada, possibilitando uma melhor descrição da qualidade da água dos rios amostrados.

## **METAIS PESADOS NAS SUB-BACIAS DO MÉDIO RIO DOCE**

A principal fonte artificial de introdução de metais pesados no ambiente aquático é a poluição por descargas de efluentes industriais, principalmente através de efluentes sólidos lançados diretamente na atmosfera, pequenos córregos ou mesmo rios e lagos, como resultado de atividades tais como mineração, esgotos domésticos e cultivos onde são utilizados defensivos agrícolas.

Na área de estudo tais atividades estão amplamente distribuídas em praticamente toda sua extensão, tornando os metais pesados um dos principais elementos de preocupação nos estudos ambientais e planos de recuperação e manejo.

São apresentados a seguir os resultados de uma primeira avaliação qualitativa e quantitativa de alguns metais pesados na água e sedimentos de áreas representativas da bacia, com ênfase em estações de amostragem da Sub-bacia Rio Piracicaba, pela sua importância econômica para a região.

Uma primeira avaliação dos níveis de metais pesados em peixes foi também realizada, cujos resultados são apresentados e discutidos juntamente com aspectos tais como a possível influência de agentes conservantes de amostras nos níveis de metais pesados encontrados.

Sugestões para a mitigação dos impactos por metais pesados são apresentadas, juntamente com uma proposta biotecnológica de descontaminação para essa região. Deve-se ressaltar também o fato de tais resultados serem os primeiros dados sobre metais pesados para a região.

O presente estudo teve como objetivo fornecer um panorama da distribuição e concentração dos principais metais pesados nas sub-bacias do médio Rio Doce, além de contribuir com subsídios para o diagnóstico da qualidade dos ambientes amostrados, constituindo assim uma fonte importante de dados para planos de recuperação e manejo das principais coleções de água do trecho médio da bacia do Rio Doce, em Minas Gerais.

### **MATERIAL E MÉTODOS**

Para as determinações das concentrações de Cu, Cr, Ni, Pb e Zn nas amostras de água, sedimentos e peixes, utilizou-se um espectrofotômetro de absorção atômica, aspirando-se as soluções em chama de ar/acetileno ou óxido nitroso/acetileno.

As amostras de água e sedimento foram colhidas em todas as estações de amostragem, nos períodos de seca e chuva, enquanto amostras de peixes foram colhidas em apenas cinco estações de amostragem<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>As estações de amostragem mencionadas neste item são as mesmas utilizadas para a avaliação da qualidade da água, anteriormente referidas, exceto para as estações de 11 a 15, que obedecem à seguinte relação:

Estação 11 = 11b

Estação 12 = 11a

Estação 13 = 12

Estação 14 = 13

Estação 15 = 14



As amostras de sedimento foram divididas em dois grupos, submetidos a tratamentos distintos:

- para análise de Cr, Cu, Ni, Zn e Pb, o sedimento foi seco em estufa a 100 °C durante 24 horas, após o que foi triturado e tamisado em malha de 100 mesh;
- para análise de Hg, o sedimento foi seco a 40°C durante 72 horas, triturado em banho de gelo e tamisado em malha de 200 mesh.

Para as amostras de peixes, foram retirados filés no sentido da cabeça para a cauda, após terem sido descartados cabeça, cauda e tubo digestivo. Após homogeneização dos filés de diferentes exemplares, o material foi triturado em gral de porcelana e as amostras submetidas à digestão ácida.

## **RESULTADOS**

### **NÍVEIS DE CR, PB, ZN, CU, NI E HG NA ÁGUA**

As tabelas 8.15, 8.16, 8.17, 8.18 e 8.19 mostram os resultados obtidos a partir de amostras de água, os quais foram comparados com os limites máximos permitidos, segundo Conama (1986) para águas de classe 2. Destaque-se a ausência de mercúrio, uma vez que sua concentração em todas as amostras se manteve abaixo do limite de detecção do espectrofotômetro utilizado ( $LD = 0,0004 \text{ g/ml}$ )<sup>1</sup>.

Os resultados mostram uma grande variação entre as estações amostradas, oscilando desde concentrações inferiores ao limite de detecção do aparelho utilizado até valores superiores ao limite máximo permissível, como verificado para o cromo nos períodos de chuva de 1993/94 na estação 11a e o chumbo nas estações 9 e 11a, respectivamente (tabelas 8.15 e 8.16).

Para o cromo os valores obtidos variaram de 0,005 a 0,060 mg/L nos períodos de seca e de 0,002 a 0,090 mg/L nos períodos de chuva, como pode ser verificado na Tabela 8.15. Os maiores valores foram registrados nas amostras das estação 11a (0,060 mg/L) no período de seca e (0,090 mg/L) no período de chuva.

O chumbo esteve presente em um número maior de estações no período de seca. Do período de seca ao período de chuva, houve uma queda significativa nas concentrações desse elemento da estação 1 a 8. Os teores obtidos variaram de 0,005 a 0,027 mg/L no período de seca e de 0,020 a 0,039 mg/L no período de chuva (Tabela 8.16).

Em termos gerais, os teores de chumbo obtidos no período de seca foram maiores em relação aos obtidos no período de chuva, com exceção das estações 9, 10 e 11a, onde houve uma inversão dos mesmos. Os maiores valores foram registrados nas amostras das estações 6 (0,027mg/L) nos períodos de seca e 9 (0,039) no período de chuva.

Para o zinco todas as amostras apresentaram valores abaixo da concentração máxima permitida para águas de classe 2. Os resultados obtidos variaram de 0,011 a 0,100 mg/L no período de seca e de 0,002 a 0,110 mg/L no período de chuva (Tabela 8.17). Os maiores valores foram registrados na estação 10. Exceto as estações 10 e 13, todas as demais apresentaram teores maiores no período de seca.

As concentrações de cobre variaram de 0,004 a 0,009 mg/L em ambos os períodos de estudo (Tabela 8.18). Os maiores valores foram registrados nas estações 5 (0,009 mg/L), 10 (0,009 mg/L), 11a (0,009 mg/L) e 14 (0,009 mg/L). Até a estação 8 não foi detectado teor de cobre no período de chuvas. Até a estação 9 o período de seca apresentou teores maiores em relação aos de chuva, ocorrendo uma inversão a partir da estação 10.

Para o níquel todas as amostras analisadas estavam abaixo da concentração máxima permitida. Os valores oscilaram de 0,003 a 0,018 mg/L no período de seca e de 0,004 mg/L no período de chuva (Tabela 8.19). O maior teor foi encontrado na amostra da estação 12. Em todas as estações de amostragem o período de seca apresentou teores de níquel maiores em relação aos de chuva, com exceção da estação 11b, onde ocorreu uma inversão.

**TABELA 8.15**  
**CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE CROMO TOTAL (MG.L<sup>-1</sup>) NA ÁGUA NO PERÍODO 1993-1995**  
**(CR = 0,05 MG.L<sup>-1</sup>)\***

ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM	SECA	CHUVA
1	ND	ND
2	0,008 ± 0,001	ND
3	0,005 ± 0,001	ND
4	0,009 ± 0,001	ND
5	ND	0,003 ± 0,001
6	ND	ND
7	0,011 ± 0,001	0,003 ± 0,001
8	ND	0,002 ± 0,001
9	0,027 ± 0,001	0,020 ± 0,001
10	0,017 ± 0,001	0,019 ± 0,001
11	ND	0,007 ± 0,001
12	0,060 ± 0,001	0,090 ± 0,001
13	0,007 ± 0,001	0,009 ± 0,001
14	0,020 ± 0,001	0,009 ± 0,001
15	0,008 ± 0,001	0,009 ± 0,001

Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

\*Limite máximo permitido; ND - Não detectado

**TABELA 8.16**  
**CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE CHUMBO TOTAL (MG.L<sup>-1</sup>) NA ÁGUA NO PERÍODO 1993-1995**  
**(PB = 0,03 MG.L<sup>-1</sup>)\***

ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM	SECA	CHUVA
1	0,010 ± 0,001	ND
2	0,018 ± 0,001	ND
3	0,016 ± 0,001	ND
4	0,009 ± 0,001	ND
5	0,006 ± 0,001	ND
6	0,027 ± 0,001	ND
7	0,005 ± 0,001	ND
8	ND	ND
9	0,007 ± 0,001	0,039 ± 0,001
10	0,012 ± 0,001	0,020 ± 0,001
11	ND	ND
12	0,006 ± 0,001	0,031 ± 0,001
13	ND	ND
14	ND	ND
15	ND	ND

Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

\*Limite máximo permitido; ND - Não detectado

**TABELA 8.17**  
**CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE ZINCO TOTAL (MG.L<sup>-1</sup>) NA ÁGUA NO PERÍODO 1993-1995**  
**(ZN = 0,18 MG.L<sup>-1</sup>)\***

ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM	SECA	CHUVA
1	0,025 ± 0,001	ND
2	0,030 ± 0,001	ND
3	0,060 ± 0,001	ND
4	0,020 ± 0,001	0,002 ± 0,001
5	0,011 ± 0,001	ND
6	0,060 ± 0,001	0,006 ± 0,001
7	0,020 ± 0,001	0,003 ± 0,001
8	0,020 ± 0,001	0,002 ± 0,001
9	0,016 ± 0,001	0,010 ± 0,001
10	0,100 ± 0,001	0,110 ± 0,001
11	0,027 ± 0,001	0,019 ± 0,001
12	0,050 ± 0,001	0,050 ± 0,001
13	0,030 ± 0,001	0,027 ± 0,001
14	0,021 ± 0,001	0,030 ± 0,001
15	0,032 ± 0,001	0,026 ± 0,001

Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

\*Limite máximo permitido; ND - Não detectado

**TABELA 8.18**  
**CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE COBRE TOTAL (MG.L<sup>-1</sup>) NA ÁGUA NO PERÍODO 1993-1995**  
**(Cu = 0,02 MG.L<sup>-1</sup>)\***

ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM	SECA	CHUVA
1	0,006 ± 0,001	ND
2	0,005 ± 0,001	ND
3	0,007 ± 0,001	ND
4	0,008 ± 0,001	ND
5	0,009 ± 0,001	ND
6	0,007 ± 0,001	ND
7	0,006 ± 0,001	ND
8	0,007 ± 0,001	ND
9	0,008 ± 0,001	0,004 ± 0,001
10	0,005 ± 0,001	0,009 ± 0,001
11	ND	0,005 ± 0,001
12	0,007 ± 0,001	0,009 ± 0,001
13	0,005 ± 0,001	0,008 ± 0,001
14	0,006 ± 0,001	0,008 ± 0,001
15	0,004 ± 0,001	0,009 ± 0,001

Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

\*Limite máximo permitido; ND - Não detectado

**TABELA 8.19**  
**CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE NÍQUEL TOTAL (MG.L<sup>-1</sup>) NA ÁGUA NO PERÍODO 1993-1995**  
**(Ni = 0,025 MG.L<sup>-1</sup>)\***

ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM	SECA	CHUVA
1	0,008 ± 0,001	ND
2	0,005 ± 0,001	ND
3	0,007 ± 0,001	ND
4	0,008 ± 0,001	0,004 ± 0,001
5	0,009 ± 0,001	ND
6	0,006 ± 0,001	ND
7	0,005 ± 0,001	0,004 ± 0,001
8	0,005 ± 0,001	ND
9	0,007 ± 0,001	ND
10	0,008 ± 0,001	0,004 ± 0,001
11	0,003 ± 0,001	0,004 ± 0,001
12	0,007 ± 0,001	0,004 ± 0,001
13	0,018 ± 0,001	0,004 ± 0,001
14	0,005 ± 0,001	0,004 ± 0,001
15	0,004 ± 0,001	0,004 ± 0,001

Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

\*Limite máximo permitido; ND - Não detectado

## METAIS PESADOS NO SEDIMENTO

### PERDA AO FOGO POR CALCINAÇÃO

Os resultados obtidos da análise de perda ao fogo por calcinação no sedimento são apresentados na Tabela 8.20. Os valores oscilaram entre 0,15 e 14,80% nos períodos de seca e 0,16 e 15,60% nos períodos de chuva. Os maiores valores foram encontrados nas amostras das estações 3 (14,80%), 7 (14,30%), 9 (14,40%), nos períodos de seca e 7 (15,60%) nos períodos de chuva. Comparando-se os resultados de seca e chuva de 1993, observa-se uma queda em quase todas as estações de amostragem, com exceção das estações 1 (0,15 - 0,32%), 7 (14,30 - 15,60%), 11b (4,06 - 9,59%), 11a (1,13 - 2,15%) e 13 (0,55 - 1,91%), que sofreram um aumento significativo. Já com relação aos períodos de seca e chuva de 1994-95, verifica-se um aumento nas concentrações das estações 2 (2,07 - 3,12%), 10 (4,14 - 6,01%), 11b (5,56 - 7,07%), 11a (7,08 - 12,90%) e 13 (4,96 - 12,40%).

No período de 1993 a 1994-95, houve um aumento significativo nas estações 4, 6, 8, 11a e 13 e um decréscimo nas estações 7, 9 e 10. As estações mais críticas em relação aos materiais voláteis são 3, 7, 9, 11a e 13.

**TABELA 8.20**  
**PERDA AO FOGO (%) NOS SEDIMENTOS NO PERÍODO 1993-1995**

ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM	1993		1994-1995	
	SECA	CHUVA	SECA	CHUVA
1	0,15	0,32	0,35	0,16
2	5,91	2,99	2,07	3,12
3	14,80	9,88	10,64	1,93
4*	8,58	6,39	0,17	7,12
5	2,14	1,64	2,26	1,71
6	NA	3,58	8,56	4,36
7	14,30	15,60	1,37	NA
8	8,82	1,58	9,44	1,17
9	14,40	3,43	6,56	0,59
10	12,80	1,83	4,14	6,01
11*	4,06	9,59	5,55	7,07
12	1,13	2,15	7,08	12,90
13*	7,22	8,00	11,43	9,45
14*	0,55	1,91	4,96	12,40
15	8,50	6,94	7,46	5,35

Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

NA - Não analisado

\*Sedimento de fundo (dragado)

## CROMO TOTAL

Os resultados da análise de cromo em amostras de sedimento são apresentados na Tabela 8.21. De acordo com Torres (1992), o valor médio de cromo em áreas não poluídas é de 53 g/g. Observando-se a Tabela 8.21, conclui-se que a maioria das estações mostra resultados acima desse valor. A concentração de cromo apresentou diferenças significativas em todas as estações, considerando-se os períodos de seca e chuva. Os valores oscilaram de 24,6 a 1076,6 g/g nos períodos de seca e de 21,2 a 223,9 g/g nos períodos de chuva. Os maiores valores foram registrados nas estações 7 (399,7 g/g), 9 (1076,6 g/g), 11a (278,4 g/g), nos períodos de seca, e nas estações 7 (183,4 g/g) e 9 (223,9g/g) nos períodos de chuva. Não foi detectado teor de cromo na estação 1.

**TABELA 8.21**

**CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE CROMO TOTAL (G.G<sup>-1</sup>) NO SEDIMENTO NO PERÍODO 1993-1995  
(Cr = 53 G.G<sup>-1</sup> )\*\***

ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM	1993		1994-1995	
	SECA	CHUVA	SECA	CHUVA
1	ND	ND	ND	ND
2	119,9 ± 0,3	132,0 ± 0,1	55,7 ± 0,3	83,3 ± 0,4
3	31,8 ± 0,4	36,0 ± 0,3	24,6 ± 0,1	21,2 ± 0,3
4*	155,9 ± 0,3	140,2 ± 0,3	179,4 ± 0,4	182,9 ± 0,4
5	71,8 ± 0,1	95,8 ± 0,3	84,4 ± 0,3	64,9 ± 0,1
6	NA	36,0 ± 0,3	46,1 ± 0,3	44,2 ± 0,1
7	399,7 ± 0,3	183,4 ± 0,3	79,8 ± 0,2	55,8 ± 0,2
8	51,9 ± 0,4	108,0 ± 0,3	90,2 ± 0,4	104,6 ± 0,4
9	1076,6 ± 0,5	223,9 ± 0,3	40,1 ± 0,2	32,2 ± 0,3
10	108,5 ± 0,1	32,1 ± 0,1	48,1 ± 0,3	NA
11*	67,9 ± 0,3	31,9 ± 0,1	72,3 ± 0,3	64,5 ± 0,5
12	278,4 ± 0,1	28,0 ± 0,4	48,7 ± 0,3	41,3 ± 0,3
13*	68,7 ± 0,3	107,9 ± 0,1	120,8 ± 0,3	112,9 ± 0,1
14*	ND	28,0 ± 0,4	50,5 ± 0,3	21,2 ± 0,3
15	103,9 ± 0,4	35,9 ± 0,1	90,3 ± 0,4	104,6 ± 0,1

Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

NA - Não analisado ND - Não detectado

\*Sedimento de fundo (dragado)

\*\*Concentração de controle para sedimentos fluviais (Torres, 1992)

## CHUMBO TOTAL

Para o chumbo foram feitos, em todas as amostras, dois ataques ácidos, a quente e a frio. Os resultados das duas análises de chumbo em sedimento estão apresentados nas tabelas 8.22 e 8.23, respectivamente.

De acordo com Pfeiffer *et al.* (1985), o valor médio de chumbo em áreas não poluídas é de 19 g/g. De acordo com a Tabela 8.22, a maioria das amostras apresentou resultados acima desse valor. Os valores obtidos variaram de 21,0 a 125,2 g/g nos períodos de seca e de 2,2 a 87,9 g/g nos períodos de chuva. Os maiores valores foram registrados nas amostras das estações 3 (125,2 g/g) e 9 (91,7 g/g), no período de seca, e na estação 3 (87,9 g/g) no período de chuva.

Houve uma queda acentuada nos teores de chumbo no período de 1993 a 1994-95 em quase todas as amostras. Já em relação à estação 13, houve um aumento significativo nos teores. Não foi detectado teor de chumbo na estação 1.

No ataque a frio, ao contrário do ataque a quente, a maior parte das estações apresentou concentrações de chumbo abaixo dos valores encontrados em regiões Não poluídas e abaixo dos valores obtidos no ataque a quente. Os valores oscilaram de 4,6 a 75,7 g/g nos períodos de seca e de 2,2 a 47,3 g/g nos períodos de chuva (Tabela 8.23). Os maiores valores foram registrados nas amostras das estações 3 (75,7 g/g) e 9 (70,8 g/g).

As estações 3 e 9 mostram um decréscimo acentuado do período de 1993 para 1994-95. Foi detectado teor de chumbo na estação 1 somente no período de chuva de 1994-95.

**TABELA 8.22**

**CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE CHUMBO TOTAL (G.G<sup>-1</sup>) NO SEDIMENTO NO PERÍODO 1993-1995  
ATAQUE A QUENTE (PB = 19 G.G<sup>-1</sup>)\*\***

ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM	1993		1994-1995	
	SECA	CHUVA	SECA	CHUVA
1	ND	ND	ND	ND
2	28,0 ± 0,3	22,0 ± 0,1	ND	5,2 ± 0,3
3	125,2 ± 0,6	87,9 ± 0,1	110,0 ± 0,4	3,0 ± 0,1
4*	28,0 ± 0,3	36,1 ± 0,1	22,2 ± 0,3	10,6 ± 0,3
5	21,9 ± 0,3	26,0 ± 0,6	ND	7,6 ± 0,3
6	NA	28,0 ± 0,3	20,0 ± 0,6	9,8 ± 0,3
7	44,0 ± 0,1	39,9 ± 0,3	ND	NA
8	41,9 ± 0,1	64,0 ± 0,3	28,6 ± 0,3	2,2 ± 0,3
9	91,7 ± 0,3	32,0 ± 0,1	ND	3,8 ± 0,1
10	64,3 ± 0,4	35,1 ± 0,1	30,0 ± 0,6	26,0 ± 0,3
11*	23,9 ± 0,1	29,9 ± 0,3	ND	19,2 ± 0,3
12	67,6 ± 0,1	28,0 ± 0,1	28,0 ± 0,6	47,3 ± 0,4
13*	36,4 ± 0,3	44,0 ± 0,4	32,5 ± 0,3	28,3 ± 0,1
14*	ND	18,0 ± 0,3	27,9 ± 0,1	38,9 ± 0,3
15	34,0 ± 0,3	27,9 ± 0,3	21,0 ± 0,4	29,8 ± 0,3

Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

NA - Não analisado ND - Não detectado

\*Sedimento de fundo (dragado)

\*\*Concentração de controle para sedimentos fluviais (Pfeiffer *et al.*, 1985)

**TABELA 8.23**

**CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE CHUMBO TOTAL (G.G<sup>-1</sup>) NO SEDIMENTO NO PERÍODO 1993-1995  
ATAQUE A FRIO.(PB = 19 G.G<sup>-1</sup> )\*\***

ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM	1993		1994-1995	
	SECA	CHUVA	SECA	CHUVA
1	ND	ND	ND	2,2 ± 0,1
2	5,1 ± 0,5	ND	ND	3,6 ± 0,1
3	75,7 ± 0,7	47,3 ± 0,6	38,3 ± 0,8	7,8 ± 0,2
4*	7,7 ± 0,6	4,3 ± 0,2	8,7 ± 0,7	3,8 ± 0,1
5	8,8 ± 0,8	ND	4,8 ± 0,9	ND
6	NA	15,7 ± 0,5	10,1 ± 1,1	12,2 ± 0,2
7	30,0 ± 0,4	16,6 ± 0,3	14,7 ± 1,5	NA
8	21,3 ± 0,7	22,3 ± 0,3	18,4 ± 0,1	9,9 ± 0,2
9	70,8 ± 0,6	21,9 ± 0,2	12,8 ± 1,2	8,0 ± 0,2
10	37,5 ± 0,5	20,4 ± 0,2	44,7 ± 1,3	28,9 ± 0,1
11*	7,9 ± 0,3	6,9 ± 0,3	6,6 ± 0,2	9,4 ± 0,2
12	20,6 ± 0,4	14,2 ± 0,3	17,1 ± 1,7	28,5 ± 0,4
13*	18,2 ± 0,6	16,9 ± 0,4	16,5 ± 0,9	14,5 ± 0,3
14*	4,6 ± 0,5	7,6 ± 0,1	11,2 ± 0,9	19,8 ± 0,8
15	16,0 ± 0,4	9,9 ± 0,4	16,0 ± 1,1	12,4 ± 0,4

Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

NA - Não analisado ND - Não detectado

\*Sedimento de fundo (dragado)

\*\*Concentração de controle para sedimentos fluviais (Pfeiffer *et al.*, 1985)

### ZINCO TOTAL

Os resultados das análises de zinco são apresentados na Tabela 8.24. De acordo com Pfeiffer *et al.* (1985), o valor médio de zinco em áreas não poluídas é de 95 g/g. De acordo com a Tabela 8.24, grande parte das estações de amostragem apresentou resultados acima desse valor. Os valores oscilaram de 12,0 a 300,0 g/g nos períodos de seca e de 16,3 a 455,4 g/g nos períodos de chuva. Os maiores teores foram registrados nas amostras das estações 3 (300,0 g/g) e 11a (284,4 g/g), nos períodos de seca, 3 (455,4 g/g) e 14 (315,3 g/g) nos períodos de chuva.

No período de chuvas de 1993, foram registrados teores mais elevados que os da estação seca em todas as estações de amostragem, com exceção das estações 1, 10 e 11a, onde ocorreu uma inversão. No período de 1994-95, houve um decréscimo da estação seca para chuvosa até a estação 10, invertendo a partir da estação 11b.



**TABELA 8.24**

**CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE ZINCO TOTAL (G.G<sup>-1</sup>) NO SEDIMENTO NO PERÍODO 1993-1995  
(ZN = 95 G.G<sup>-1</sup> )\*\***

ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM	1993		1994-1995	
	SECA	CHUVA	SECA	CHUVA
1	120,1 ± 0,1	87,8 ± 0,3	ND	ND
2	67,9 ± 0,3	130,0 ± 0,4	ND	ND
3	300,0 ± 0,1	455,4 ± 0,3	204,2 ± 0,6	ND
4*	36,0 ± 0,4	190,3 ± 0,4	59,1 ± 0,1	11,6 ± 0,3
5	12,0 ± 0,4	139,7 ± 0,3	16,3 ± 0,3	ND
6	NA	89,9 ± 0,1	76,8 ± 0,4	19,8 ± 0,4
7	91,9 ± 0,1	199,4 ± 0,6	62,8 ± 0,2	NA
8	65,9 ± 0,3	285,9 ± 0,1	56,8 ± 0,2	ND
9	133,9 ± 0,4	201,9 ± 0,1	19,5 ± 0,2	ND
10	241,1 ± 0,1	230,6 ± 0,6	106,1 ± 0,3	91,0 ± 0,3
11*	53,9 ± 0,3	207,5 ± 0,7	55,1 ± 0,2	70,7 ± 0,3
12	284,4 ± 0,1	256,3 ± 0,4	78,9 ± 0,3	99,1 ± 0,1
13*	117,2 ± 0,3	193,9 ± 0,4	120,4 ± 0,3	147,5 ± 0,1
14*	52,1 ± 0,1	74,0 ± 0,3	51,3 ± 0,4	78,3 ± 0,4
15	67,9 ± 0,1	315,3 ± 0,1	97,0 ± 0,2	30,2 ± 0,3

Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

NA - Não analisado ND - Não detectado

\*Sedimento de fundo (dragado)

\*\*Concentração de controle para sedimentos fluviais (Pfeiffer *et al.*, 1985)

### COBRE TOTAL

Os resultados da análise de cobre são apresentados na Tabela 8.25. De acordo com Pfeiffer *et al.* (1985), o valor médio de cobre em áreas não poluídas é de 33 g/g. De acordo com a Tabela 8.25, todas as estações de amostragem apresentaram resultados abaixo desse valor, com exceção das estações 4 (seca 1994-95), 8 (chuva 1993), 10 (seca 1993), 12 (seca e chuva 1994-95) e 13 (chuva 1994-95), cujos valores estão acima desse limite. Os teores oscilaram de 12 a 44,0 g/g nos períodos de seca e de 3,4 a 46,0 g/g nos períodos de chuva. Os maiores teores foram registrados nas amostras das estações 4 (44,0 g/g), nos períodos de seca, e 8 (46,0 g/g) nos períodos de chuva. Não foi detectado teor de cobre na estação 1. No ano de 1993, houve um decréscimo nos teores de cobre do período de seca para chuva em todas as estações de amostragem, com exceção das estações 5, 8 e 12, onde ocorreu uma inversão. Nos anos de 1994-95 houve um decréscimo acentuado na estação 8.

**TABELA 8.25**

**CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE COBRE TOTAL (G.G<sup>-1</sup>) NO SEDIMENTO NO PERÍODO 1993-1995  
(Cu = 33 G.G<sup>-1</sup>)\*\***

ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM	1993		1994-1995	
	SECA	CHUVA	SECA	CHUVA
1	ND	ND	ND	ND
2	12,0 ± 0,1	ND	ND	3,4 ± 0,3
3	16,0 ± 0,3	12,0 ± 0,1	12,0 ± 0,4	4,4 ± 0,3
4*	30,0 ± 0,1	20,0 ± 0,3	44,0 ± 0,2	25,0 ± 0,4
5	16,0 ± 0,1	18,0 ± 0,1	14,0 ± 0,3	10,0 ± 0,1
6	NA	14,0 ± 0,1	ND	9,0 ± 0,3
7	30,0 ± 0,4	16,0 ± 0,6	ND	NA
8	16,0 ± 0,1	46,0 ± 0,7	21,0 ± 0,3	ND
9	29,9 ± 0,3	ND	ND	ND
10	34,2 ± 0,3	ND	ND	17,4 ± 0,3
11*	16,0 ± 0,1	ND	22,0 ± 0,2	29,7 ± 0,3
12	29,8 ± 0,4	ND	12,0 ± 0,1	28,8 ± 0,4
13*	20,2 ± 0,3	24,0 ± 0,3	36,1 ± 0,1	36,1 ± 0,1
14*	ND	ND	22,0 ± 0,1	44,1 ± 0,1
15	22,0 ± 0,4	ND	25,0 ± 0,3	22,4 ± 0,6

Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

NA - Não analisado ND - Não detectado

\*Sedimento de fundo (dragado)

\*\*Concentração de controle para sedimentos fluviais (Pfeiffer *et al.*, 1985)

### **NÍQUEL TOTAL**

Os resultados da análise de níquel são apresentados na Tabela 8.26. De acordo com Torres (1992), o valor médio de níquel em áreas não poluídas é de 29 g/g. Pela Tabela 8.26, vê-se que grande parte das amostras apresentou resultados acima desse valor. Os valores variaram de 20,1 a 309,0 g.g<sup>-1</sup> nos períodos de seca e de 13,4 a 123,9 g.g<sup>-1</sup> nos períodos de chuva. Os maiores teores foram registrados nas amostras da estação 9 (309,0 g.g<sup>-1</sup>), nos períodos de seca, e 9 (123,9g.g<sup>-1</sup>) nos períodos de chuva. Não foi detectada concentração de níquel nas estações de amostragem de 1 a 5 no período de 1993. Também não foi detectada concentração desse metal nas estações de 9 a 11a no período de seca nos anos de 1994-95. Do período de seca ao de chuva de 1994-95 as estações 10, 11b, 11a e 13 sofreram um aumento significativo nos valores de concentração de níquel. Houve um decréscimo significativo na estação 9 no período de 1993 a 1994-95.

**TABELA 8.26**  
**CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE NÍQUEL TOTAL (G.G<sup>-1</sup>) NO SEDIMENTO NO PERÍODO 1993-1995**  
**(Ni = 29 G.G<sup>-1</sup> )\*\***

ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM	1993		1994-1995	
	SECA	CHUVA	SECA	CHUVA
1	ND	ND	ND	ND
2	ND	ND	44,1 ± 0,1	25,4 ± 0,1
3	ND	ND	20,0 ± 0,1	ND
4*	ND	ND	87,9 ± 0,3	27,6 ± 0,3
5	ND	ND	28,0 ± 0,1	15,8 ± 0,4
6	NA	43,9 ± 0,1	24,0 ± 0,1	ND
7	38,0 ± 0,1	74,0 ± 0,3	20,1 ± 0,1	NA
8	69,8 ± 0,3	48,0 ± 0,1	68,1 ± 0,1	ND
9	309,0 ± 0,1	123,9 ± 0,1	ND	ND
10	ND	ND	ND	27,4 ± 0,4
11*	37,9 ± 0,1	88,0 ± 0,3	ND	27,8 ± 0,4
12	ND	28,0 ± 0,1	ND	26,4 ± 0,6
13*	ND	44,0 ± 0,1	52,0 ± 0,1	41,7 ± 0,3
14*	24,0 ± 0,3	ND	ND	50,5 ± 0,6
15	ND	ND	52,0 ± 0,1	13,4 ± 0,6

Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

NA - Não analisado ND - Não detectado

\*Sedimento de fundo (dragado)

\*\*Concentração de controle para sedimentos fluviais (Torres, 1992)

### MERCÚRIO TOTAL

Os resultados das análises de mercúrio no sedimento, apresentados na Tabela 8.27, foram comparados com valores obtidos da literatura (Silva *et al.*, 1989), os quais definem um limite máximo de 0,1 g Hg/g. Todas as estações de amostragem estavam acima desse limite, com exceção da estação 1, que apresentou valores abaixo desse limite no período de 1993 a 1994-95.

As concentrações variaram de 0,015 a 4,930 g/g nos períodos de seca e de 0,024 a 0,565 g/g nos períodos de chuva. Os maiores valores foram registrados nas estações 5 (4,930 g/g), 11a (0,964 g/g) e 12 (0,745 g/g), nos períodos de seca, e 10 (0,491 g/g) e 11a (0,565 g/g). A estação 5 apresentou um decréscimo significativo do período de seca de 1993 a chuva de 1993.

**TABELA 8.27**

**CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE MERCÚRIO TOTAL (G.G<sup>-1</sup>) NO SEDIMENTO NO PERÍODO 1993-1995  
(HG = 0,1G.G<sup>-1</sup>)\*\***

ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM	1993		1994-1995	
	SECA	CHUVA	SECA	CHUVA
1	0,097 ± 0,003	0,024 ± 0,001	0,038 ± 0,002	0,058 ± 0,006
2	0,171 ± 0,001	0,361 ± 0,001	0,148 ± 0,003	0,270 ± 0,003
3	0,596 ± 0,001	0,367 ± 0,003	0,507 ± 0,003	0,115 ± 0,003
4*	0,465 ± 0,001	0,177 ± 0,003	0,317 ± 0,003	0,311 ± 0,006
5	4,930 ± 0,003	0,312 ± 0,003	0,336 ± 0,004	0,159 ± 0,001
6	NA	0,391 ± 0,001	0,274 ± 0,001	0,168 ± 0,004
7	0,557 ± 0,003	0,373 ± 0,004	0,132 ± 0,003	NA
8	0,150 ± 0,001	0,189 ± 0,003	0,188 ± 0,002	0,145 ± 0,004
9	0,257 ± 0,003	0,214 ± 0,001	0,068 ± 0,003	0,084 ± 0,004
10	0,267 ± 0,003	0,318 ± 0,001	0,329 ± 0,001	0,491 ± 0,001
11*	0,067 ± 0,003	0,318 ± 0,004	0,280 ± 0,001	0,311 ± 0,001
12	0,141 ± 0,001	0,565 ± 0,004	0,964 ± 0,006	0,362 ± 0,003
13*	0,282 ± 0,003	0,287 ± 0,003	0,745 ± 0,004	0,260 ± 0,001
14*	0,015 ± 0,001	0,232 ± 0,003	0,125 ± 0,004	0,362 ± 0,003
15	0,238 ± 0,004	0,330 ± 0,004	0,261 ± 0,005	0,227 ± 0,001

Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

NA - Não analisado

\*Sedimento de fundo (dragado)

\*\*Limite máximo tolerável de mercúrio em sedimento (Silva *et al.*, 1989)

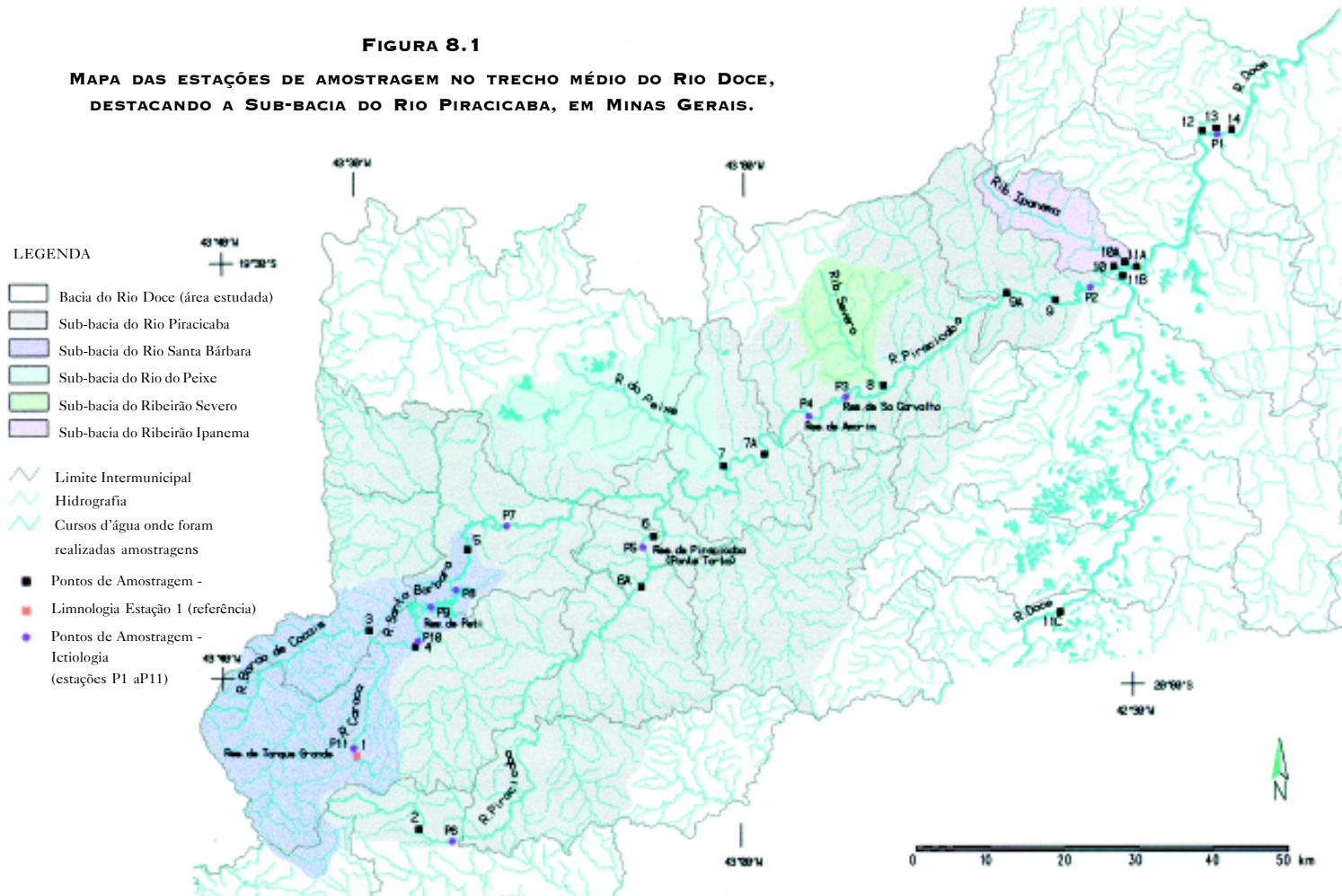
## METAIS PESADOS EM PEIXES

A Tabela 8.28 apresenta as concentrações totais de Hg e Zn em peixes e as correspondentes concentrações máximas permitidas segundo alguns autores, sem especificação das espécies. Os valores encontrados para zinco estavam abaixo da concentração máxima permitida e variaram de 1,9 a 18,7 g.g<sup>-1</sup>. O maior valor foi encontrado na amostra A4, tomada do Reservatório de Sá Carvalho, e o menor valor na amostra A6, colhida em frente à estação de captação de água da Cenibra.

A Tabela 8.29 apresenta a concentração total de mercúrio para os três tipos de conservantes de espécimens de peixes. Em geral, os valores encontrados para o mercúrio nas amostras de peixe estavam abaixo da concentração máxima permitida, com exceção da amostra A1. Os valores obtidos variaram de 0,14 a 1,05 g.g<sup>-1</sup>. O menor valor foi encontrado na amostra A5, colhida no Reservatório de Ponte Torta, e o maior foi encontrado na amostra A1, colhida no Tanque Grande (Parque Natural do Caraça).

**FIGURA 8.1**

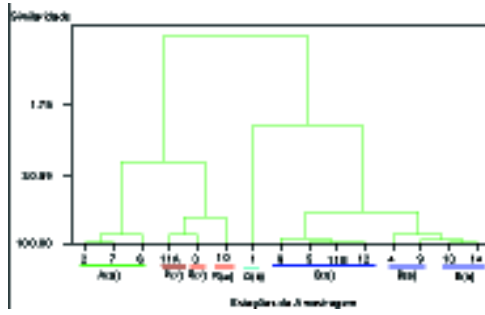
**MAPA DAS ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM NO TRECHO MÉDIO DO RIO DOCE, DESTACANDO A SUB-BACIA DO RIO PIRACICABA, EM MINAS GERAIS.**



Fonte: Mapas de Cobertura Vegetal e Uso do Solo do Estado de Minas Gerais, elaborados pela Funcate/INPE em 1994, a partir da interpretação de imagens do Satélite LANDSAT TM-5 de setembro de 1993. Programa Pró-Floresta/ Instituto Estadual de Florestas - IEF/MG  
Escala Original: 1:100.000 - Geoprocessamento: Biol. Elena Charlotte Landau / Colaboração: Geog. Alexandre A. de Oliveira - Data: abril/1997

**FIGURA 8.15**

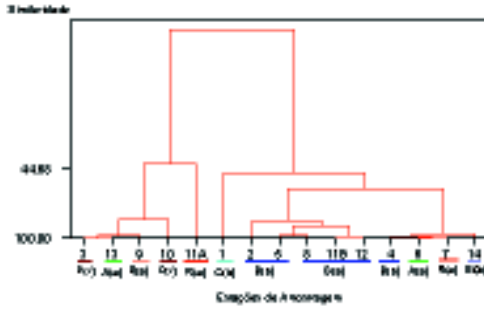
**DENDROGRAMA DO ÍNDICE FÍSICO-QUÍMICO PARA O 1º PERÍODO (SECA) - P1S.**



Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

**FIGURA 8.16**

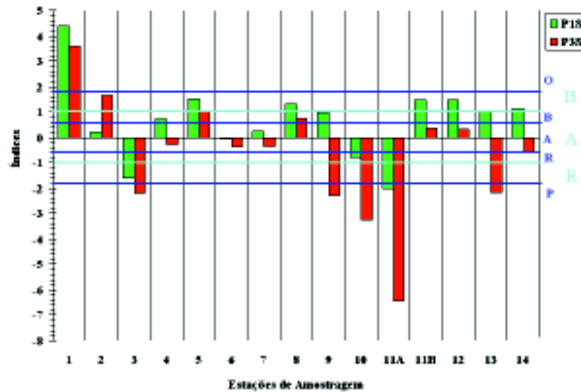
**DENDROGRAMA DO ÍNDICE FÍSICO-QUÍMICO PARA O 3º PERÍODO (SECA) - P3S.**



Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

**FIGURA 8.17**

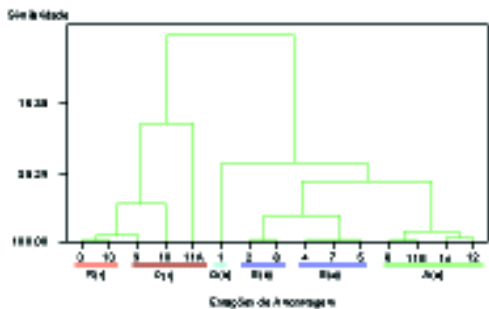
**COMPARAÇÃO DO ÍNDICE FÍSICO-QUÍMICO NOS PERÍODOS DE SECA.**



Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

**FIGURA 8.18**

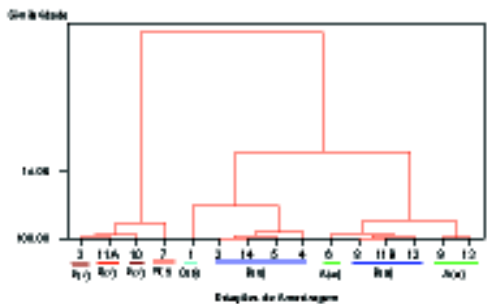
**DENDROGRAMA DO ÍNDICE FÍSICO-QUÍMICO PARA O 2º PERÍODO (CHUVA) - P2C.**



Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

**FIGURA 8.19**

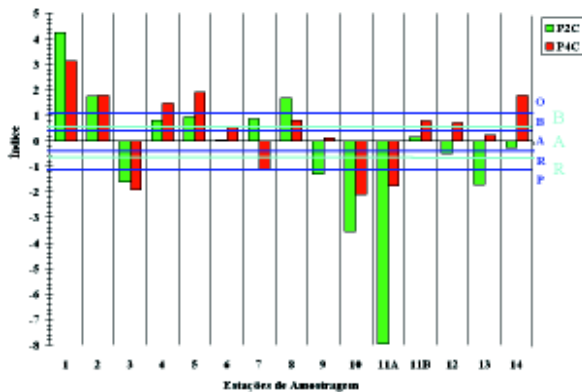
**DENDROGRAMA DO ÍNDICE FÍSICO-QUÍMICO PARA O 4º PERÍODO (CHUVA) - P4C.**



Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

**FIGURA 8.20**

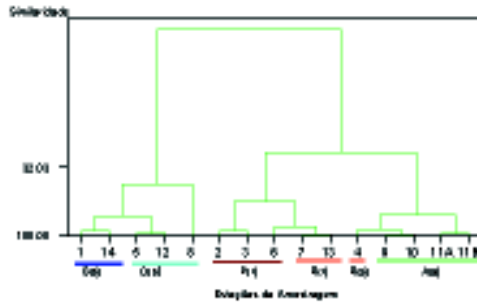
**COMPARAÇÃO DO ÍNDICE FÍSICO-QUÍMICO NOS PERÍODOS DE CHUVA.**



Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

**FIGURA 8.21**

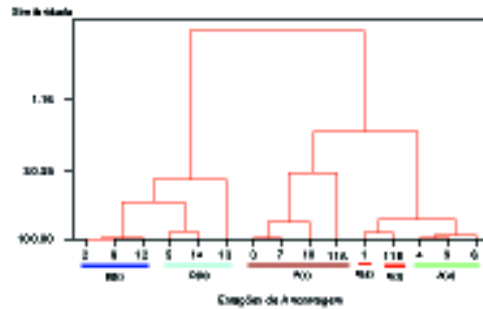
**DENDROGRAMA DO ÍNDICE BIOLÓGICO DO 1º PERÍODO (SECA) - BP1S.**



Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

**FIGURA 8.22**

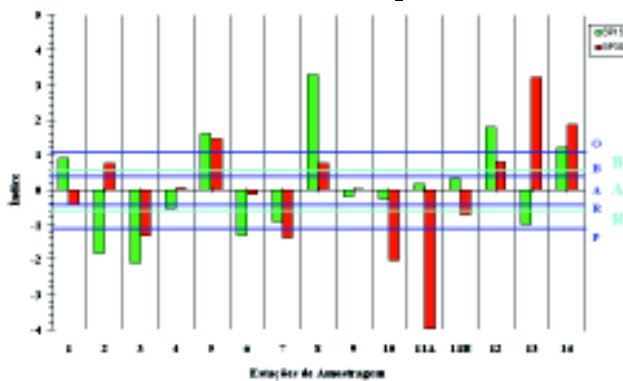
**DENDROGRAMA DO ÍNDICE BIOLÓGICO DO 3º PERÍODO (SECA) - BP3S.**



Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

**FIGURA 8.23**

**EVOLUÇÃO DO ÍNDICE BIOLÓGICO NOS PERÍODOS DE SECA.**

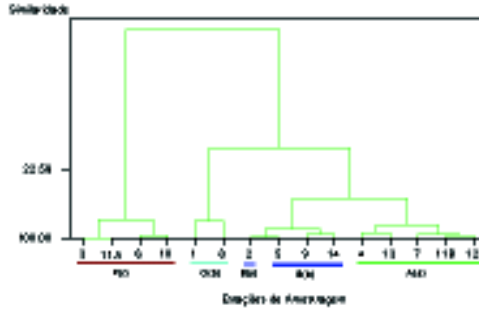


Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.



**FIGURA 8.24**

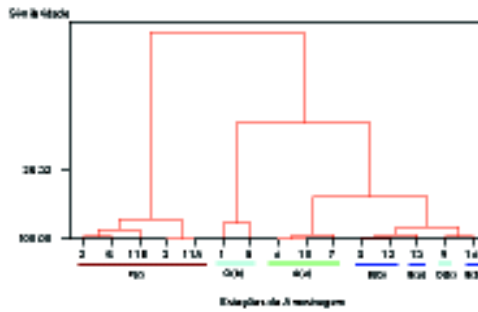
**DENDROGRAMA DO ÍNDICE BIOLÓGICO DO 2º PERÍODO (CHUVA) - BP2C.**



Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

**FIGURA 8.25**

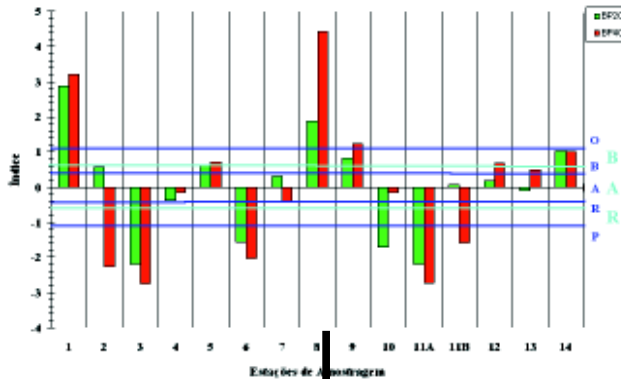
**DENDROGRAMA DO ÍNDICE BIOLÓGICO PARA O 4º PERÍODO DE AMOSTRAGEM (CHUVA) - BP4C.**



Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

**FIGURA 8.26**

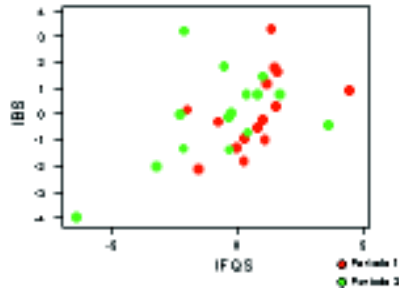
**EVOLUÇÃO DO ÍNDICE BIOLÓGICO NOS PERÍODOS DE CHUVA.**



Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

**FIGURA 8.27**

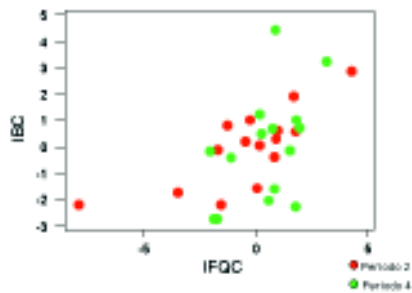
**DISPERSÃO ENTRE OS ÍNDICES FÍSICO-QUÍMICO E BIOLÓGICO NOS PERÍODOS DE SECA.**



Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

**FIGURA 8.28**

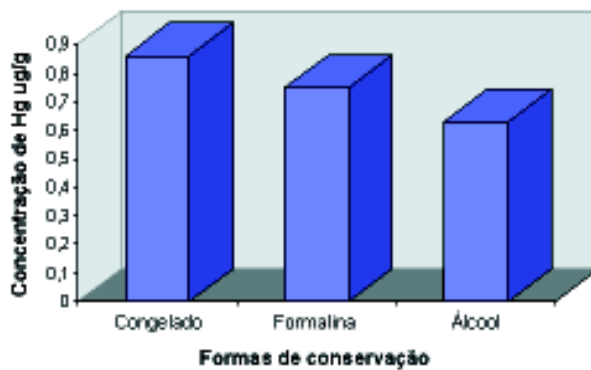
**DISPERSÃO ENTRE OS ÍNDICES FÍSICO-QUÍMICO E BIOLÓGICO NOS PERÍODOS DE CHUVA.**



Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

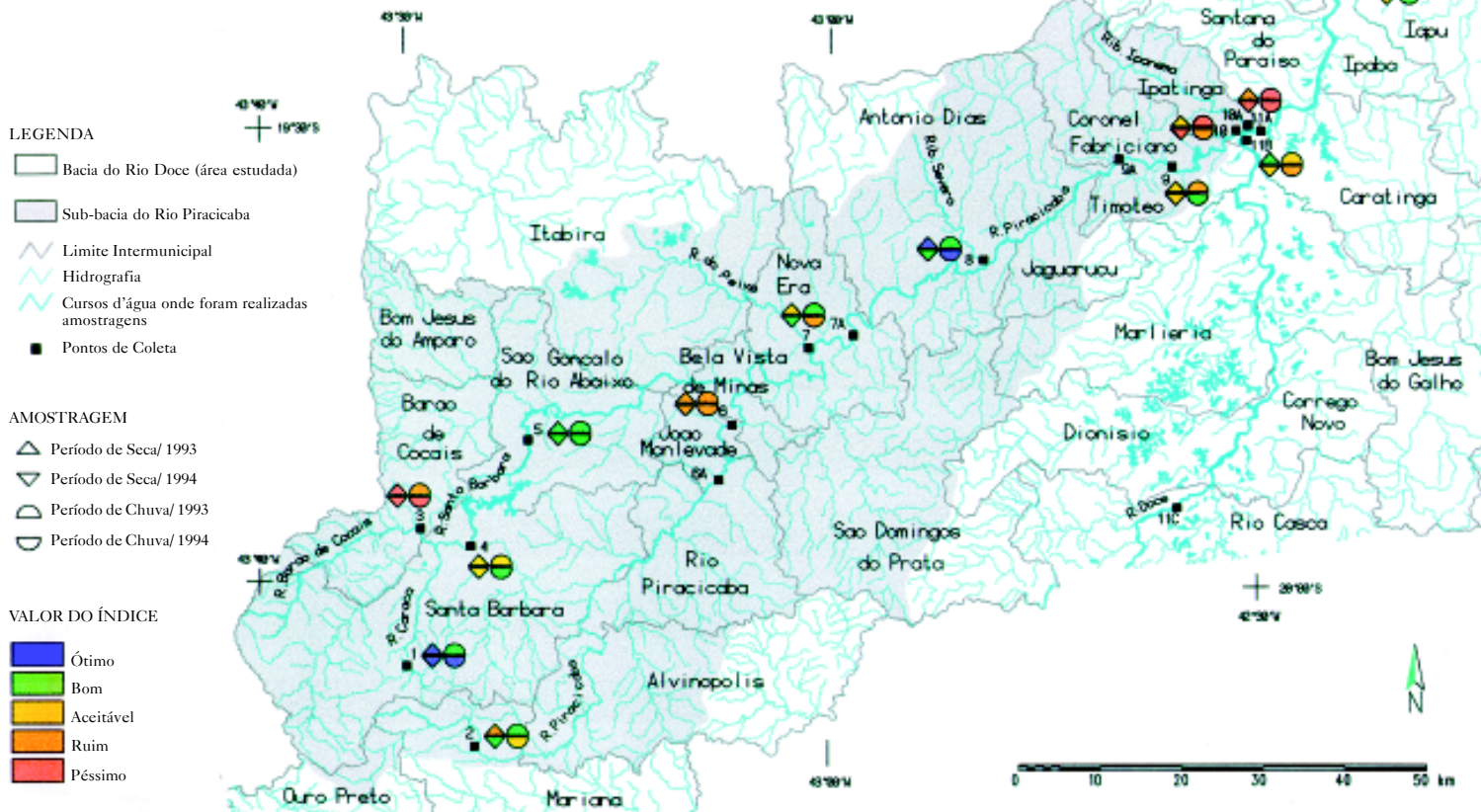
**FIGURA 8.32**

**CONCENTRAÇÃO TOTAL DE MERCÚRIO ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  PESO ÚMIDO)  
NA AMOSTRA DE PEIXE A7 EM TRÊS TIPOS DE CONSERVAÇÃO.**



**FIGURA 8.29**

**ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA POR PERÍODO DE AMOSTRAGEM  
NA BACIA DO RIO DOCE, MG - BRASIL**

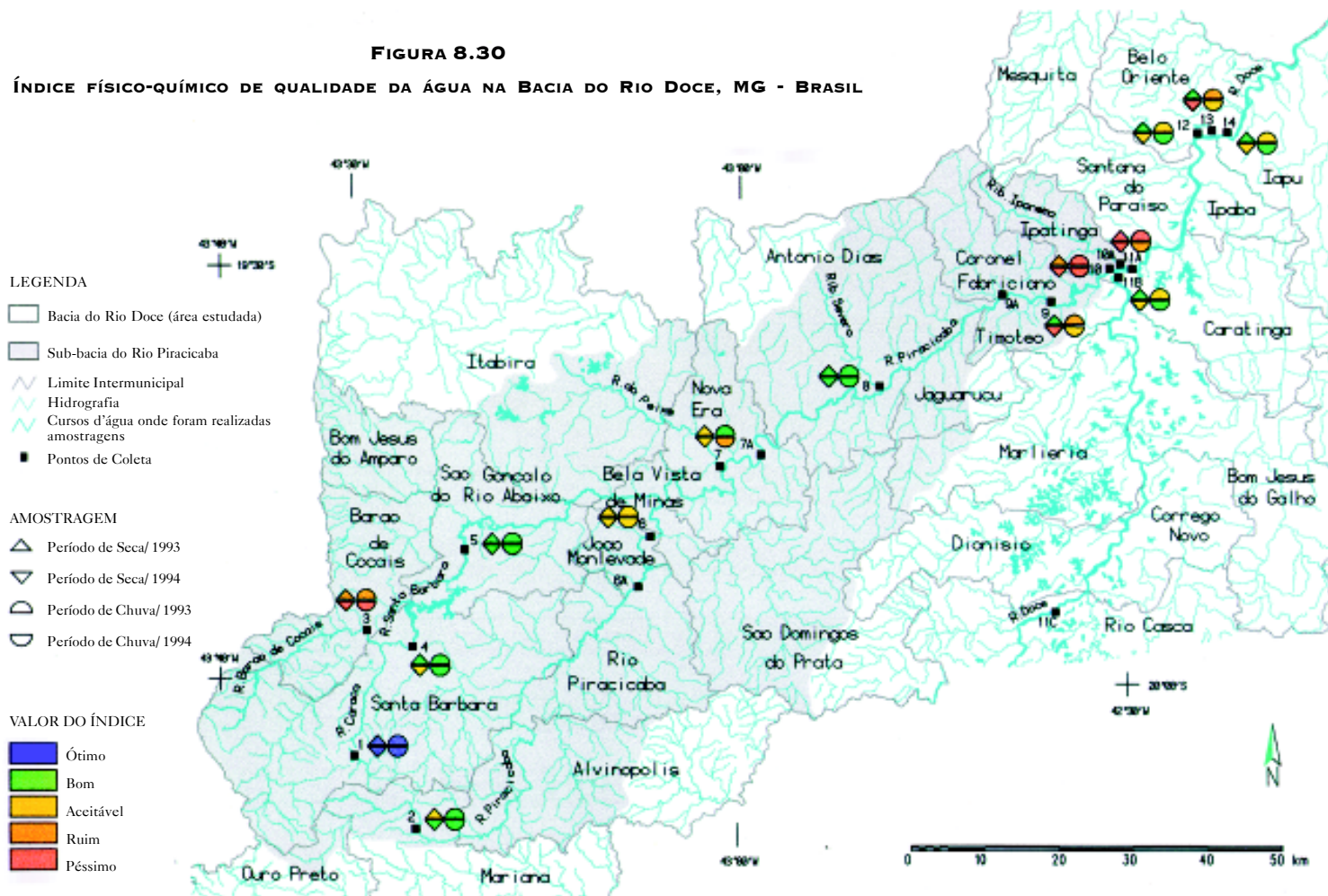


Fonte: Mapas de Cobertura Vegetal e Uso do Solo do Estado de Minas Gerais, elaborados pela Funceat/INPE em 1994, a partir da interpretação de imagens do Satélite LANDSAT TM-5 de setembro de 1993. Programa Pró-Floresta/ Instituto Estadual de Florestas - IEF/MG

Escala Original: 1:100.000 - Geoprocessamento: Biol. Elena Charlotte Landau / Colaboração: Geog. Alexandre A. de Oliveira - Data: abril/1997

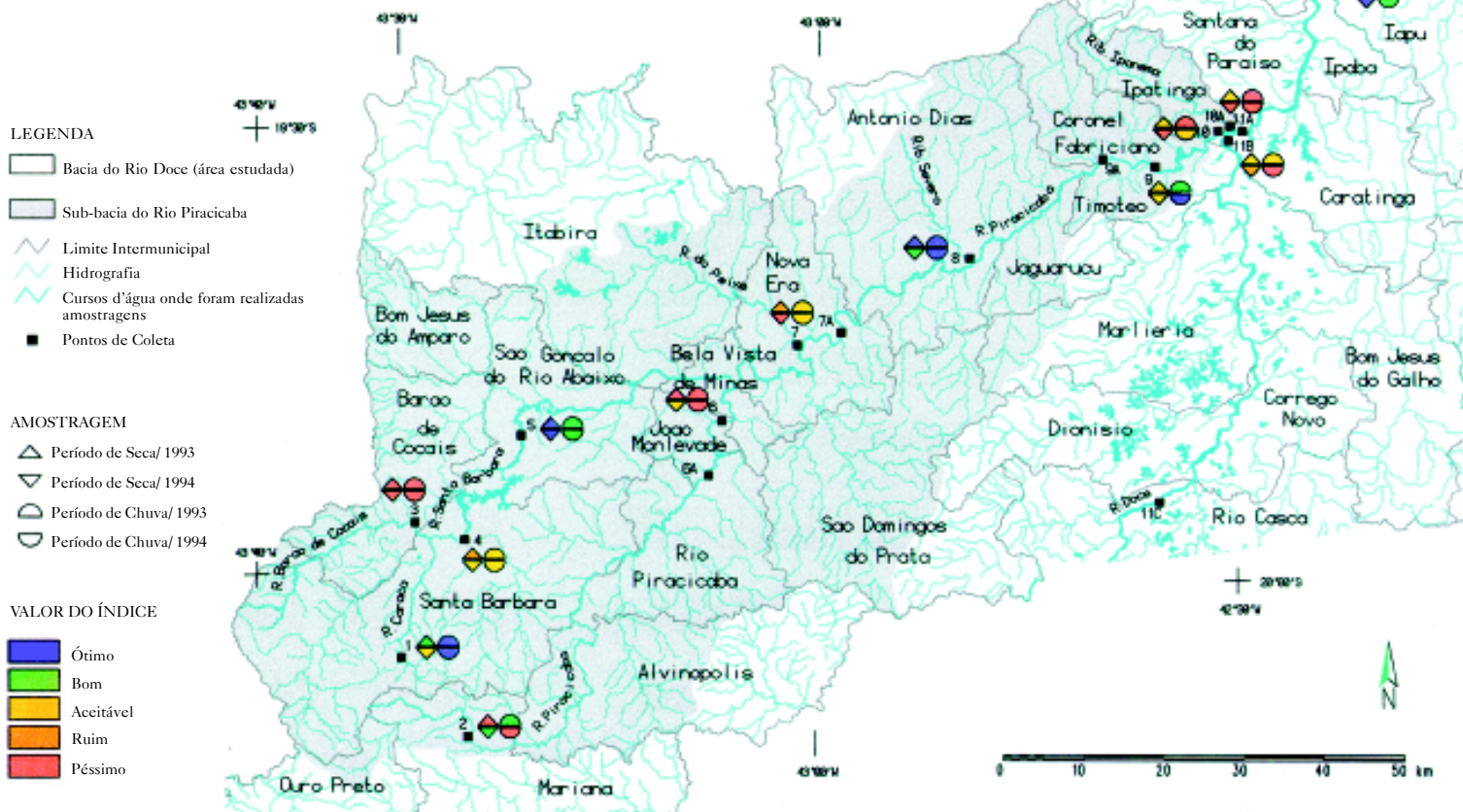
FIGURA 8.30

ÍNDICE FÍSICO-QUÍMICO DE QUALIDADE DA ÁGUA NA BACIA DO RIO DOCE, MG - BRASIL



**FIGURA 8.31**

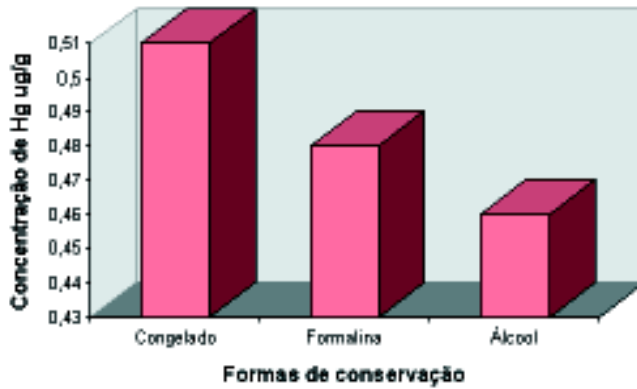
**ÍNDICE BIOLÓGICO DE QUALIDADE DA ÁGUA NA BACIA DO RIO DOCE, MG - BRASIL**



Fonte: Mapas de Cobertura Vegetal e Uso do Solo do Estado de Minas Gerais, elaborados pela Funcate/INPE em 1994, a partir da interpretação de imagens do Satélite LANDSAT TM-5 de setembro de 1993. Programa Pró-Floresta/ Instituto Estadual de Florestas - IEF/MG  
 Escala Original: 1:100.000 - Geoprocessamento: Biol. Elena Charlotte Landau / Colaboração: Geog. Alexandre A. de Oliveira - Data: abril/1997

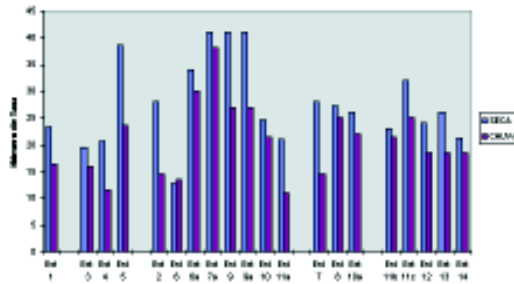
**FIGURA 8.33**

**CONCENTRAÇÃO TOTAL DE MERCÚRIO ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  PESO ÚMIDO)  
NA AMOSTRA DE PEIXE A8 EM TRÊS TIPOS DE CONSERVAÇÃO.**



**FIGURA 8.34**

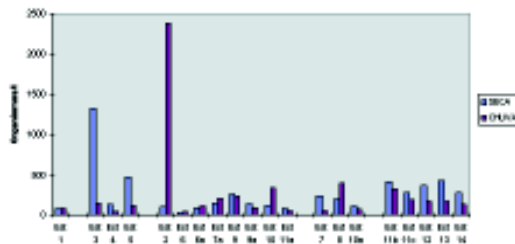
**MÉDIA DO NÚMERO DE TAXA DE ORGANISMOS FITOPLANCTÔNICOS NAS SUB-BACIAS DO  
MÉDIO RIO DOCE NO PERÍODO 1993-1995.**



Fonte : Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo

**FIGURA 8.35**

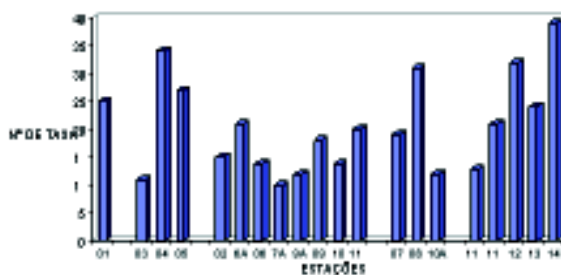
**DENSIDADE MÉDIA DE ORGANISMOS FITOPLANCTÔNICOS NAS SUB-BACIAS DO MÉDIO  
RIO DOCE NO PERÍODO 1993-1995.**



Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

**FIGURA 8.42**

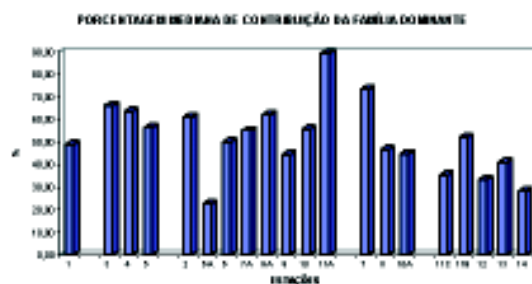
**NÚMERO ACUMULADO DE TAXA DA BENTONOFAUNA NAS SUB-BACIAS DO MÉDIO RIO DOCE NO PERÍODO 1993-1995.**



Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

**FIGURA 8.43**

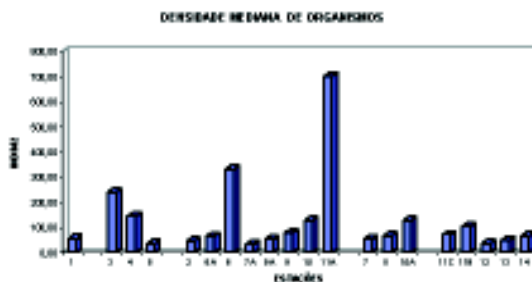
**PERCENTAGEM (MEDIANA) DA CONTRIBUIÇÃO DA FAMÍLIA DOMINANTE NAS SUB-BACIAS DO MÉDIO RIO DOCE NO PERÍODO 1993-1995.**



Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

**FIGURA 8.44**

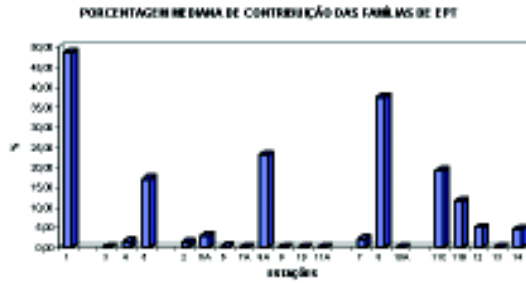
**DENSIDADE MEDIANA (ORG./M<sup>2</sup>) DE ORGANISMOS DA BENTONOFAUNA NAS SUB-BACIAS DO MÉDIO RIO DOCE, NO PERÍODO 1993-1995.**



Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

**FIGURA 8.45**

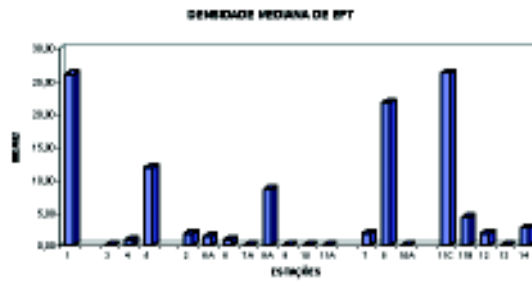
**PERCENTAGEM MEDIANA DE CONTRIBUIÇÃO DAS FAMÍLIAS DE EPHEMEROPTERA, PLECOPTERA E TRICHOPTERA-EPT NAS SUB-BACIAS DO MÉDIO RIO DOCE, NO PERÍODO 1993-1995.**



Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

**FIGURA 8.46**

**DENSIDADE MEDIANA DAS FAMÍLIAS EPHEMEROPTERA, PLECOPTERA E TRICHOPTERA-EPT NAS SUB-BACIAS DO MÉDIO RIO DOCE, NO PERÍODO 1993-1995.**



Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

**FIGURA 8.47**

**PERCENTAGEM MEDIANA DOS GRUPOS CHIRONOMIDAE E OLIGOCHAETA NAS SUB-BACIAS DO MÉDIO RIO DOCE, NO PERÍODO 1993-1995.**



Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.



## EFEITO DO CONSERVANTE DA AMOSTRA NA CONCENTRAÇÃO DE MERCÚRIO

As concentrações de mercúrio encontradas nas amostras A7 e A8, congeladas, foram de 0,86 e 0,51g/g, respectivamente. As amostras conservadas em formalina 10% apresentaram teores de 0,75 e 0,48 g/g e aquelas preservadas em álcool, 0,63 e 0,46 g/g. Os maiores valores foram registrados para as amostras congeladas, e os menores para as amostras conservadas em álcool (figuras 8.32 e 8.33). A amostra A7 apresentou teores acima do limite máximo permitido.

Na amostra A7 houve uma perda de 12,8% de mercúrio quando fixada com formalina 10%, e de 26,7% quando fixada com álcool absoluto. Já na amostra A8 as perdas foram de 5,9% e 9,8% respectivamente.

**TABELA 8.28**

**CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE ZINCO E MERCÚRIO TOTAIS (G.G<sup>-1</sup> PESO ÚMIDO) EM AMOSTRAS DE PEIXE COLHIDAS NAS SUB-BACIAS DO MÉDIO RIO DOCE NO PERÍODO 1993-1995**

AMOSTRAS	CÓDIGOS	LOCAL DE COLETA	ZN*	Hg**
A1 (P)	RP 465 e RP 466	Tanque Grande	6,9 ± 1,1	1,05 ± 0,02
A2 (P)	RP 361, 366 e 367	Reserv. de Ponte Torta	9,8 ± 1,2	0,27 ± 0,03
A3 (A)	RP 369 e RP 370	Reserv. de Ponte Torta	6,1 ± 0,6	0,06 ± 0,02
A4 (P)	RP 215	Reserv. de Sá Carvalho	18,7 ± 1,1	0,34 ± 0,04
A5 (P)	RP 131 e RP 134	Cenibra	8,0 ± 1,13	0,14 ± 0,03
A6 (A)	RP 145 e RP 146	Cenibra	1,9 ± 1,4	0,17 ± 0,07

Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

Concentrações máximas permitidas:

\*100 g.g<sup>-1</sup> (Pfeiffer, 1985 e Pereira, 1979)

\*\*0,5 g.g<sup>-1</sup> (Lacerda, 1991).<sup>[41]</sup>

P - Piscívoro

A - Algívoro

**TABELA 8.29**

**CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE MERCÚRIO TOTAL (µG/G PESO ÚMIDO) EM AMOSTRAS DE PEIXE CONSERVADAS DE MANEIRAS DIFERENTES NO PERÍODO 1993-1995**

AMOSTRAS	CÓDIGOS	FORMAS DE CONSERVAÇÃO	LOCAL DE COLETA	Hg* (µG.G <sup>-1</sup> )
A7 (P)	RP840	Congelado	Reserv. de Peti	0,86 ± 0,04
A8 (P)	RP922	Congelado	idem	0,51 ± 0,03
A7 (P)	RP840	Formalina 10%	idem	0,75 ± 0,03
A8 (P)	RP922	Formalina 10%	idem	0,48 ± 0,02
A7 (P)	RP840	Álcool	idem	0,63 ± 0,05
A8 (P)	RP922	Álcool	idem	0,46 ± 0,04

Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

\*Concentração máxima permitida: 0,5 g.g<sup>-1</sup> (Lacerda, 1991)<sup>[41]</sup>

P - Piscívoro

## **DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

### **METAIS PESADOS NA ÁGUA**

Os resultados obtidos para os metais (Cr, Pb, Zn, Cu e Ni) apresentaram teores abaixo da concentração máxima permitida para águas de classe 2, com exceção daqueles obtidos para as estações 9 e 11a. A estação 11a também apresentou teores elevados de cromo. Esses teores elevados de cromo na estação 11a e de chumbo nas estações 9 e 11a devem-se provavelmente à qualidade dos efluentes recebidos por elas.

A estação 9 recebe efluentes de siderurgia e esgoto doméstico, e a estação 11a recebe efluentes de curtumes e esgotos doméstico e hospitalar carregados pelo Ribeirão Ipanema e mais os efluentes das estações anteriores.

Para o zinco e cobre a estação 10, onde as concentrações foram maiores, recebe efluentes de siderurgia e esgoto doméstico. A estação 12, que apresentou teor de níquel maior, recebe efluentes da Cenibra.

O fato de o período de seca apresentar, em geral, teores mais elevados de metais pode estar relacionado a um menor volume de água, sugerindo maior retenção de metais e possivelmente um carreamento dos mesmos a jusante do rio.

### **METAIS PESADOS NO SEDIMENTO**

#### **PERDA AO FOGO POR CALCINAÇÃO**

Em geral os valores obtidos nos períodos de seca são maiores que nos períodos de chuva, provavelmente em função do menor volume de água no período de seca, o que possibilita maior concentração de materiais voláteis nos sedimentos. Nos períodos de chuva, parte do sedimento é carregado para a água do rio, diluindo o sedimento de margem.

A estação 1 (Parque Natural do Caraça), por ser livre de atividades antrópicas, apresentou o menor teor de materiais voláteis. As estações que apresentaram maiores teores de matéria orgânica são aquelas que recebem descargas de efluentes de siderúrgicas, mineração, agricultura, pecuária, curtume e esgoto doméstico.

Os teores de materiais voláteis foram considerados altos (média = 5,61%, para 60 amostras). Lacerda *et al.* (1982) encontraram valor médio de 1% de matéria orgânica para sedimentos arenosos marítimos da costa do sudeste brasileiro. Os autores consideram o valor de 1% como controle, ou seja, que caracteriza uma região não poluída.

#### **CROMO TOTAL**

O cromo apresentou concentrações acima das máximas permitidas em praticamente todas as amostras, destacando-se altas concentrações nas estações 7, 9 e 11a, que recebem efluentes de mineração, agricultura, pecuária, siderúrgicas, curtume e esgoto doméstico.

Em várias estações de amostragem o período de seca registrou valores mais acentuados que o período de chuva, o que pode ser explicado por uma maior retenção do metal em razão de um menor volume de água.

Na estação 1 (Parque Natural do Caraça) não foi detectada concentração de cromo em nenhum dos períodos de coleta.

### **CHUMBO TOTAL**

De maneira geral, o chumbo apresentou concentrações acima das máximas permitidas em praticamente todas as amostras analisadas, destacando-se altas concentrações nas estações 3 e 9 no ano de 1993. No período de 1994-95, a estação 9 está entre as menos poluídas por esse metal, e a estação 1 (Parque Natural do Caraça) apresentou valores abaixo do limite de detecção do aparelho.

As estações que apresentam as maiores concentrações de chumbo recebem efluentes de siderúrgicas e esgoto doméstico. De forma similar ao mercúrio, foram feitos dois tipos de abertura das amostras: a quente e a frio. Comparando-se os resultados dos dois ataques, observa-se uma diferença significativa, sendo que algumas estações apresentaram teores de chumbo mais baixos no ataque a frio, provavelmente em virtude de uma abertura incompleta da amostra. Em algumas estações, entretanto, o tratamento a frio resultou em um aumento nas concentrações, o que pode ser explicado por uma provável formação de complexos voláteis entre o chumbo e os compostos orgânicos que se perdem durante o ataque a quente por volatilização.

### **ZINCO TOTAL**

Em termos gerais o zinco apresentou um baixo grau de toxicidade, sendo, como o cobre, essencial para a maioria dos organismos vivos. As concentrações encontradas permaneceram acima das concentrações máximas permitidas, destacando-se as estações 3, 11a e 14.

Observando-se os resultados obtidos nas amostras de 1993, nota-se que esses foram maiores no período de chuva. Padrão oposto foi verificado para o ano de 1994, quando os valores encontrados no período de chuvas foram ainda menores que os registrados para o período de seca de 1995.

Em relação a 1993, as estações 1 e 2 apresentaram queda acentuada nas concentrações de zinco para os períodos de 1994-95.

### **COBRE TOTAL**

De modo geral o cobre não apresentou nas amostras analisadas concentrações superiores às máximas permitidas. As estações que registraram as maiores concentrações são as que recebem efluentes de mineração, siderurgia, esgotos domésticos, agropecuária, monocultura de eucalipto e curtume. Em praticamente todas as estações os teores foram mais elevados nos períodos de seca.

### **NÍQUEL TOTAL**

O níquel, de modo geral, apresentou concentrações superiores às máximas permitidas, particularmente na estação 9. No ano de 1993 o período de chuva registrou concentrações maiores que as de seca em quase todas as estações de amostragem. Padrão oposto foi verificado para os anos de 1994-95. Na estação 1 não foi detectada concentração de níquel em nenhum dos períodos de coleta. As estações onde foram registrados as maiores concentrações de níquel recebem efluentes de mineração, siderúrgicas, monocultura de eucalipto e esgoto doméstico.

## **MERCÚRIO TOTAL**

De maneira geral, o mercúrio apresentou concentrações acima das máximas permitidas em praticamente todas as amostras analisadas, destacando-se as estações 5, 10, 11a e 12. No ano de 1993 o período de seca registrou valores mais baixos que o período de chuva em grande parte das estações de amostragem. Padrão oposto foi verificado para os anos de 1994-95. Os teores obtidos podem estar relacionados à atuação de garimpeiros que utilizam esse elemento no processo de amalgamação para obter ouro aluvionar, como também de efluentes de mineração, esgoto doméstico e siderúrgicas.

## **METAIS PESADOS EM PEIXES**

Dos elementos pesquisados, foram encontrados apenas mercúrio e zinco, cujas concentrações foram comparadas com valores máximos permitidos descritos na literatura.

A biota aquática é o principal caminho de transferência do mercúrio do meio ambiente contaminado para o homem, através da biomagnificação via cadeia alimentar, apresentando concentração mais elevada em organismos de nível trófico mais elevado, como os peixes carnívoros. Em todos os estudos realizados, as concentrações de mercúrio são significativamente mais elevadas em peixes carnívoros e, dentro de uma mesma espécie, em indivíduos de maior tamanho. Essa distribuição é típica da forma metilada.

Foram coletadas amostras de espécies com distintos hábitos alimentares. As espécies piscívoras revelaram teores mais elevados de mercúrio e zinco que as espécies algívoras, demonstrando assim o efeito da bioacumulação nas cadeias tróficas.

O fato de se ter uma concentração de mercúrio mais elevada na amostra A1, coletada no reservatório Tanque Grande, provavelmente se deve às condições do local: pH da água ácido, presença de matéria orgânica, águas escuras e paradas, que favorecem a metilação desse elemento. Sabe-se que o aumento das concentrações de mercúrio em reservatórios é atribuído às elevadas taxas de metilação microbiológica desse elemento.

Segundo Lacerda & Meneses (1995), os principais fatores responsáveis pelo aumento da concentração de mercúrio em peixes de reservatórios são: presença de farto suprimento para a atividade microbiana, constituído pela biomassa inundada; prevalência de condições anaeróbicas resultantes da própria oxidação microbiológica da matéria orgânica; baixa diversidade biológica, que proporciona a transferência de metil-mercúrio para os níveis tróficos superiores da cadeia alimentar.

O mercúrio encontrado no reservatório Tanque Grande pode ter como fonte garimpos de ouro clandestinos ou remanescentes de antigos garimpos na região, uma vez que essa estação está localizada em área de preservação, não existindo quaisquer atividades antrópicas potencialmente impactantes.

As amostras A7 e A8, coletadas no reservatório de Peti, também apresentaram concentrações acima do máximo permitido, e o mercúrio encontrado no local tem como fonte garimpos de ouro e atividades de mineração.

## **EFEITO DO CONSERVANTE DAS AMOSTRAS NA CONCENTRAÇÃO DE MERCÚRIO**

Os resultados da Tabela 8.29 mostram que a conservação das amostras por congelamento é mais eficaz na preservação do material pesquisado e que os valores obtidos pela amostra A7 são superiores ao limite máximo permitido, que é de 0,5 g/g de peixe.

As amostras congeladas apresentaram maiores teores de mercúrio em relação às amostras conservadas em solventes, o que era de se esperar, já que o álcool é mais volátil que o fenol.

## **CONCLUSÕES E SUGESTÕES**

A contaminação por metais pesados das sub-bacias do médio Rio Doce pôde ser confirmada através da análise de água, sedimentos e um grupo de organismos (peixes). A água representa o corpo receptor dos poluentes metálicos, mas, em razão das variações das condições ambientais, a concentração do metal apresenta também um alto grau de variação, que implica resultados de confiabilidade limitada.

A quantidade de metais na água não corresponde necessariamente às reais proporções da contaminação. Sabe-se que nos sedimentos de rios e lagos o conteúdo de metais pesados pode ser de 1.000 a 10.000 vezes maior que o das águas. Os teores de metais em sedimentos foram mais elevados que os encontrados em água.

O presente estudo mostrou que de uma estação de amostragem a outra ocorre uma considerável variação na concentração de metais pesados, que pode estar relacionada à variação da qualidade de resíduos industriais e urbanos.

A partir da estação 2 (águas de cabeceira), já se observa um aumento nas concentrações de todos os metais estudados, evidenciando os impactos de atividades antrópicas como garimpo, minerações, siderurgia, esgotos doméstico e hospitalar, pesticidas agrícolas, formicidas e herbicidas. As estações mais críticas com relação aos metais em água são: 5, 9, 10, 11a, 12 e 14.

Os diversos metais analisados apresentaram-se distribuídos ao longo dos rios Piracicaba e Doce nas estações seca e chuvosa. Os elementos Cr, Pb, Zn, Ni e Hg apresentaram teores mais elevados que em áreas de controle para sedimentos fluviais. O zinco é o metal que apresentou teores mais elevados ao longo da bacia.

Em geral, na estação seca as concentrações dos diversos metais apresentaram valores mais acentuados. Entretanto, observou-se uma situação oposta em algumas estações de amostragem e para alguns metais. Os resultados obtidos indicam que os metais que podem comprometer as comunidades aquáticas, por estar acima do limite máximo permitido, são: Cr, Pb, Zn, Ni e Hg.

Os resultados obtidos permitem concluir que, em termos gerais, a situação da qualidade das águas nas sub-bacias do médio Rio Doce, particularmente na sub-bacia do Rio Piracicaba, apresenta poluição hídrica de forma distinta ao longo das estações de amostragem. A contaminação das águas deve-se provavelmente à qualidade de efluentes industriais e urbanos.

De acordo com a média obtida para os teores de matéria orgânica, a região em estudo caracteriza-se como poluída por matéria orgânica. Por meio dos resultados obtidos para os dois ataques feitos para o chumbo, observa-se que o ataque a quente é melhor para as estações de amostragem que possuem detritos orgânicos.

Nas estações 5, 7, 10 e 11a, onde há pastagens, esgoto a céu aberto e, portanto, grande concentração de detritos orgânicos, observa-se que o ataque a frio é mais eficiente por evitar a perda de compostos organometálicos por volatilização.

Os teores de mercúrio ao longo da bacia podem estar relacionados às mineadoras que o utilizam sob a forma de cloreto mercúrico nas análises de minério de ferro, além da atuação de garimpeiros que o utilizam durante o processo de amalgamação para a obtenção do ouro aluvionar. Em relação às amostras de sedimento as estações críticas são: Cr - 3 e 9; Pb - 3 e 9; Zn - 3 e 14; Cu - 4, 8 e 13; Ni - 9 e Hg - 5. As concentrações totais de mercúrio e zinco em amostras de peixe variaram de acordo com a espécie, tamanho e local de captura. Os peixes piscívoros apresentaram teores mais elevados de mercúrio e zinco que os algívoros. O zinco, por ser um micronutriente de baixo grau de toxicidade e por estar bem abaixo da concentração máxima permitida, não oferece nenhum risco à comunidade aquática. Por outro lado, o mercúrio, por ser um elemento muito tóxico, cumulativo e por se encontrar acima do limite máximo permitido em dois locais de captura (reservatórios Tanque Grande e Peti), inspira cuidados, uma vez que esse elemento penetra na cadeia alimentar, podendo alcançar o homem.

A melhor maneira de conservar amostras de peixe é congelá-las no local da captura. Baseando-se nos resultados obtidos para os três tipos de conservação de peixes, pode-se concluir que os resultados dos metais nas outras amostras deveriam ser maiores, uma vez que foi constatado que há perda de até 12,8% quando se conserva com formalina.

Como sugestões biotecnológicas para a mitigação dos impactos observados nas sub-bacias do médio Rio Roco, recomenda-se o uso de retortas em garimpos de ouro, o que é de fundamental importância na redução de emissão de mercúrio durante a queima do amálgama. De acordo com Farid *et al.* (1991), o uso da retorta reduziria as emissões atmosféricas de 70% a valores que variam de 1% a 49%, dependendo da retorta, com uma média de redução de 20% entre todos os locais. É preciso conscientizar os garimpeiros dos perigos a que estão expostos e da importância de usar retortas. Programas de educação ambiental na área devem incluir tais aspectos.

Torna-se importante o estudo dos efeitos dos metais pesados em outros organismos além dos peixes, uma vez que mercúrio e chumbo, por exemplo, por serem altamente tóxicos e cumulativos, penetram na cadeia alimentar, podendo atingir o homem, seu último elo, que se alimenta desses organismos.

De acordo com Jardim (1983), é importante que se faça um estudo de metais pesados em organismos planctônicos por serem um dos primeiros elos da cadeia alimentar. Dizimada essa população, desaparecem as populações que deles se alimentam e assim por diante.

Uma fiscalização periódica e eficaz da qualidade dos efluentes industriais é fundamental, já que é considerado como a fonte mais poluidora do meio aquático com relação a metais pesados.

De acordo com Serril (1994), um esforço para o controle do mercúrio importado é imprescindível, já que 40% a 50% do que é importado saem do controle legal e vão para as mãos dos garimpeiros.

É importante que se estabeleçam alternativas tecnológicas para o controle de metais pesados no meio ambiente, o que deve envolver monitoramento e controle rigorosos dos sistemas aquáticos. Novos estudos usando extratores, que poderão indicar se os metais estão disponíveis ou adsorvidos/complexados nas estruturas do sedimento, também são necessários.

## **COMPOSIÇÃO, ABUNDÂNCIA, DISTRIBUIÇÃO E DIVERSIDADE DE ALGUMAS COMUNIDADES AQUÁTICAS**

### **FITOPLÂNCTON**

O interesse pelas comunidades aquáticas tem aumentado consideravelmente nos programas de monitoramento da qualidade de água e do ecossistema aquático em geral, principalmente pelo fato de essas comunidades representarem as reais condições do meio, constituindo na verdade o resultado das interações entre os elementos físicos, químicos e do clima regional, além de integrarem as ações antrópicas e os usos da água na bacia.

Entre as comunidades aquáticas, a constituída pelas algas planctônicas (fitoplâncton) é de grande importância na avaliação da integridade biótica de ecossistemas aquáticos, principalmente por reunir grupos em sua maioria cosmopolitas e com amplo espectro de adaptações, existindo em praticamente todos os tipos de água, até mesmo em ambientes *extremos*, como fontes termais e crateras de vulcões extintos.

Considerando-se o grande número de atividades potencialmente impactantes na bacia (mineração/garimpo, siderurgia, produção de celulose, reflorestamento de grandes áreas, despejos de esgotos domésticos e industriais), a expectativa de uma significativa redução da biodiversidade aquática é bastante razoável. Nesse particular, a comunidade fitoplantônica pode render informações básicas, principalmente por tratar-se de um grupo de organismos constituintes da base das cadeias tróficas e reunir organismos em sua maioria cosmopolitas e dotados de grande capacidade de adaptação. Acrescente-se que, apesar da correnteza e da elevada turbidez, características da maioria dos ecossistemas lóticos tropicais, esses organismos são freqüentemente abundantes e diversificados. Assim, a avaliação da composição em espécies fornece bons indicadores não só da grande capacidade de adaptação desses organismos como também das condições gerais do ambiente.

A comunidade fitoplantônica foi utilizada neste estudo como um dos parâmetros biológicos para se avaliar a diversidade biótica, considerando os diferentes tipos de atividades antrópicas potencialmente capazes de causar impactos irreversíveis, até mesmo uma diminuição da diversidade biótica.

## MATERIAL E MÉTODOS

Amostras de água foram colhidas em cada uma das 20 estações de amostragem nos períodos de seca e chuva dos anos de 1993, 1994 e 1995. Para a avaliação quantitativa do fitoplâncton, foram filtrados 40 litros de água em rede de 20 m de abertura de malha. O material filtrado foi estocado em frascos de polietileno, corado e fixado com lugol acético. Deve ser ressaltado que a dificuldade no transporte do fitoplâncton vivo dificultou a identificação de alguns organismos ao nível específico.

No laboratório, os organismos foram identificados e contados sob microscópio óptico binocular. Foram utilizadas câmaras de Sedgewick-Rafter para as contagens. Os organismos foram listados em tabelas e classificados segundo Bourrelly (1974).

Como parâmetros para avaliar a participação dessa comunidade foram escolhidos o Índice de Riqueza de Espécies (Simpson, 1949) e o Índice de Diversidade de Espécies (Shannon & Weaver, 1949), calculados através das seguintes fórmulas:

- Índice de Riqueza de Espécies

$$d = (S-1)/\log N$$

onde:

S = número de espécies

N = número de indivíduos

- Índice de Diversidade de Espécies

$$H = - \sum (n_i/N) \cdot \log (n_i/N)$$

onde:

$n_i$  = valor de importância de cada espécie

N = total dos valores de importância

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram identificados 194 *taxa* distribuídos em nove grandes classes: Cyanophyceae (28 *taxa*), Euchlorophyceae (45 *taxa*), Zygothryxaceae (67 *taxa*), Ulothricophyceae (8 *taxa*), Centrophycideae (3 *taxa*), Pennatophycideae (27 *taxa*), Dinophyceae (2 *taxa*), Euglenophyceae (10 *taxa*) e Chrysophyceae (3 *taxa*), listados na Tabela 8.30 (Anexo 1).

Em termos qualitativos, Zygothryxaceae é o grupo dominante, seguido por Euchlorophyceae. Segundo Komarek (1983), quando o pH das águas tende a ácido, como ocorre na estação 1, há o favorecimento de condições propícias ao desenvolvimento das algas desmidiáceas (Zygothryxaceae), que mostram, principalmente nessa estação, maior riqueza de *taxa* em relação aos demais grandes grupos. Contrariamente, em pH neutro tendendo a alcalino, as espécies do grupo Chlorococcales (Euchlorophyceae) são normalmente favorecidas em relação às demais, como mostrado pela estação 3, em virtude do pH mais elevado da água.

Normalmente, nos ambientes aquáticos encontra-se, no período de seca, maior número de *taxa* e densidade mais elevada, em razão da maior concentração de nutrientes e, conseqüentemente, maior presença de organismos. Assim, à exceção das



estações 2, 6A, 7A, 8 e 10, a média da densidade no período seco foi sempre maior que no período chuvoso.

As figuras 8.34 e 8.35 apresentam, respectivamente, em termos médios, o número de *taxa* e os valores de densidade para os períodos de seca e chuva. Destaque-se que para o período de seca foram realizadas três amostragens e no período chuvoso apenas duas, razão pela qual se utilizaram valores médios para esses períodos. Destaque-se ainda que, em virtude de ter sido realizada apenas uma amostragem em cada um dos períodos nas estações 6A, 7A, 9A, 10A e 11C, foram utilizados os valores absolutos de cada período.

Quantitativamente, com raras exceções, Pennatophycidae é o grupo dominante. Tal fato corresponde ao esperado para ambientes lóticos, pois esse grupo engloba as diatomáceas, algas dotadas de carapaça de sílica, que resistem mais em ambientes lóticos graças à proteção contra injúrias físicas.

Apesar de ser considerada como *estação de referência*, a estação 01 (Caraça) não mostrou grande diversidade fitoplanctônica, pois as características geológicas e físico-químicas da água, principalmente no que diz respeito ao pH e à temperatura, apresentaram resultados extremos, provavelmente limitando o desenvolvimento ótimo das algas. Mesmo o grupo das desmidiáceas não apresentou densidade e diversidade significativas nessa estação, apesar de serem algas normalmente encontradas em condições extremas, principalmente em pHs mais ácidos. Isso mostra que nem sempre a poluição, seja de origem orgânica (cujo principal efeito é o desenvolvimento excessivo de organismos) ou tóxica ou física (excesso de material sólido, alteração da condição física da água ou presença de compostos tóxicos), é determinante de condições ambientais que podem ser evidenciadas sem uma análise mais profunda de todas as variáveis ambientais, pois ambientes naturalmente sob condições de estresse não podem ser confundidos com ambientes poluídos, como é o caso da estação 1. Entretanto, em uma análise parcial, essa estação de amostragem pode ser confundida com um ambiente poluído fisicamente por exemplo, como corpos hídricos sob o impacto de garimpos.

As estações de amostragem 3, 4 e 5, pertencentes à sub-bacia do Rio Santa Bárbara, e portanto localizadas numa mesma região, comportaram-se diferentemente em termos de densidade, número de *taxa* e diversidade. Assim, a estação 3 apresentou baixos valores de número de *taxa* e de diversidade. Em julho de 1993 essa estação apresentou altas densidades de *Synedra ulna*, uma diatomácea encontrada na lista de Palmer (1969), que relaciona algas normalmente encontradas em condições de poluição orgânica. Certamente, essa estação é a que apresentou as piores condições ambientais para o desenvolvimento da comunidade fitoplanctônica.

A estação 4 apresentou uma comunidade fitoplanctônica em termos de densidade, número de *taxa* e diversidade em condições intermediárias entre as estações 3 e 5. Os maiores valores foram encontrados em agosto de 1995. A estação 5 foi a que apresentou os maiores valores em relação ao número de *taxa*, densidade e riqueza de organismos, provavelmente em função de sua localização, a jusante da represa de Peti. Assim, a presença desse ambiente lêntico na sub-bacia funciona como uma *reserva natu-*

ral de organismos para o rio, uma vez que em função do maior tempo de residência da água aumenta a disponibilidade de nutrientes para a biota, possibilitando maior riqueza e diversidade de organismos, favorecendo até mesmo o desenvolvimento de organismos pouco comuns em ambientes lóticos, que passam a incorporar a comunidade comumente encontrada nos rios.

As estações 2, 6, 6A, 7A, 9, 9A, 10 e 11A pertencem à sub-bacia Rio Piracicaba. A estação 2 mostrou baixos valores para número de *taxa* e densidade, exceto em dezembro de 1993, quando ocorreram altas densidades da diatomácea *Navicula* sp. Esse gênero também está presente na lista de Palmer (1969) como uma alga comum em condições de poluição orgânica. Semelhantemente à estação 3, essa estação também apresentou um ambiente com elevadas cargas de matéria orgânica, o que favorece a dominância de organismos adaptados a elevadas concentrações de nutrientes.

As demais estações da sub-bacia do Rio Piracicaba apresentaram baixos valores de densidade, número de *taxa*, índice de riqueza e diversidade, à exceção das estações 6A, 7A e 9A, que mostram índices de riqueza e diversidade mais elevados (próximo de 3), característicos de águas limpas.

As estações 7, 8 e 10A, embora sejam sub-bacias independentes, mostraram resultados semelhantes àqueles obtidos na Bacia do Rio Piracicaba.

As estações 11B, 11C, 12, 13 e 14 representam a sub-bacia do Rio Doce, na qual os valores de densidade, número de *taxa* e dos índices de riqueza e diversidade foram caracteristicamente mais elevados do que os valores obtidos para a sub-bacia do Rio Piracicaba, refletindo uma melhoria das condições gerais do ambiente, provavelmente em função do maior caudal do Rio Doce.

## ZOOPLÂNCTON

A comunidade zooplânctônica de ambientes lênticos tem sido profundamente estudada em diferentes regiões e sobre os mais diversos aspectos. Entretanto, o mesmo não se observa com relação à comunidade planctônica de ambientes lóticos. Particularmente no Brasil, país dotado de importante malha fluvial, poucos rios foram intensivamente estudados, destacando-se alguns da bacia Amazônica, outros do médio e alto Paraná e poucos do Pantanal Mato-Grossense.

Apesar das dificuldades metodológicas de amostragem, utilizadas durante algum tempo para justificar a escassez de dados, o maior interesse pela dinâmica dos rios foi acelerado a partir do momento em que as atividades humanas, desenvolvidas ao longo de toda a bacia, provocaram alterações nas características físicas, químicas e biológicas das águas, resultando, na maioria das vezes, em perda da biodiversidade e queda na produção pesqueira.

A composição do plâncton de rios difere daquela de lagos, principalmente porque parte do potamoplâncton tem origem alóctone, sendo derivada das cabeceiras e tributários, e parte autóctone, ou seja, desenvolve-se no próprio rio. A distribuição vertical e horizontal do plâncton é geralmente irregular, e a composição é determinada principalmente por fatores como temperatura, turbidez, velocidade da corrente e químico-

ca da água. As respostas do plâncton à variação desses fatores pode ser de valor para o monitoramento biológico das águas.

Visando à caracterização de mais um parâmetro biológico importante no monitoramento da qualidade das águas de ecossistemas lóticos da bacia, foram identificados os seguintes objetivos:

- Caracterizar a comunidade zooplanctônica em termos de sua composição, densidade e distribuição de espécies nos períodos de seca e chuva;
- Identificar os prováveis fatores determinantes da estruturação das comunidades nas estações analisadas;
- Identificar organismos zooplanctônicos a serem utilizados como indicadores de qualidade da água.

## **MATERIAL E MÉTODOS:**

### **AMOSTRAGEM DO ZOOPLÂNCTON E ANÁLISE DAS AMOSTRAS**

As amostras para análise qualitativa e quantitativa do zooplâncton foram coletadas nas margens dos rios, por meio de arrastos horizontais e filtração de 40 litros de água, em rede de plâncton de 68  $\mu\text{m}$  de abertura de malha. Após as coletas, as amostras foram coradas com reagente vital Rosa de Bengala e fixadas com solução de formaldeído a 4%.

Para a análise quantitativa, as amostras foram concentradas para um volume conhecido e, após homogeneização, foram retiradas subamostras de 1 ml e efetuadas contagens em câmara de Sedgwick-Rafter sob microscópio óptico, sendo a densidade expressa em organismos/l (org./l). As amostras com baixa densidade de organismos foram contadas na sua totalidade. A identificação dos organismos foi feita, sempre que possível, a nível específico, utilizando-se bibliografia específica. O grupo Protozoa foi incluído por ser abundante em algumas estações e períodos, apesar de não ter sido utilizada uma metodologia específica de coleta e coloração.

Para a análise dos dados, as estações de amostragem foram agrupadas nas mesmas sub-bacias referidas anteriormente, utilizando-se a estação 1 (Caraça) como *referência*. As densidades de organismos apresentadas para sub-bacias foram calculadas utilizando-se a mediana em função das diferenças observadas entre os meses amostrados.

A partir do número total de *taxa* e densidade dos organismos presentes em cada estação, durante as quatro amostragens, calculou-se o índice de diversidade (Shannon & Weaver, 1949).

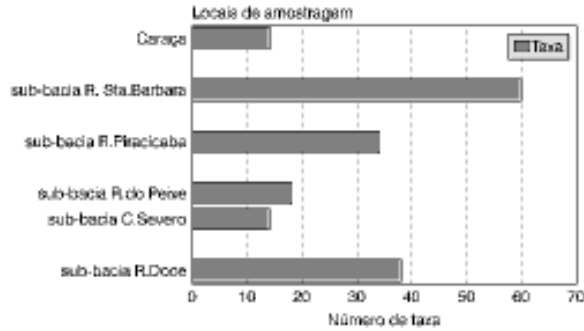
## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Foi identificado um total de 73 *taxa*, dos quais 22 ocorreram apenas no período de seca, 16 apenas no período de chuvas e 35 em ambos os períodos. A maior riqueza de *taxa* foi observada na Sub-bacia do Rio Santa Bárbara (60), seguida pelas sub-bacias Rio Doce (38) e Rio Piracicaba (34). As sub-bacias Ribeirão Severo, Rio do Peixe e Ribeirão Caraça apresentaram significativa redução na riqueza de espécies (14,18 e 15 respectivamente). À exceção das estações 5, 12 e 14, as maiores riquezas foram obtidas no período de seca, sendo as maiores diferenças observadas para as estações 4, 6 e 11B.

A Figura 8.36 apresenta o número total de *taxa* obtido nas diferentes sub-bacias, durante o período estudado.

**FIGURA 8.36**

**NÚMERO TOTAL DE TAXA DA COMUNIDADE ZOOPLANCTÔNICA NAS SUB-BACIAS DO MÉDIO RIO DOCE DURANTE O PERÍODO DE 1993/95.**

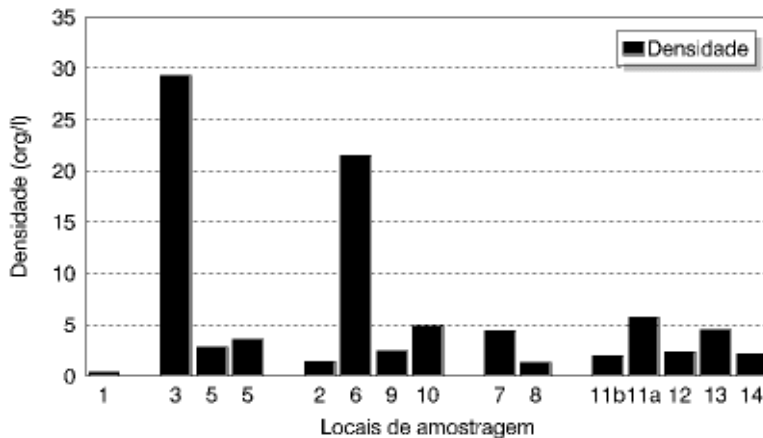


Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

Em termos da densidade de espécies (Figura 8.37), destaca-se a sub-bacia Rio Santa Bárbara (densidade mediana total de 35,7 org/l), principalmente pela maior contribuição da estação 3 (Barão de Cocais), com 29,3 org/l, seguida pela sub-bacia Rio Piracicaba (30,3 org/l). As estações 1, 2 e 8 apresentaram as menores densidades medianas (0,4, 1,4 e 1,3 org/l, respectivamente).

**FIGURA 8.37**

**DENSIDADE MEDIANA DO ZOOPLÂNCTON (ORG/L) EM 15 ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM NA BACIA DO MÉDIO RIO DOCE NO PERÍODO DE 1993/95.**

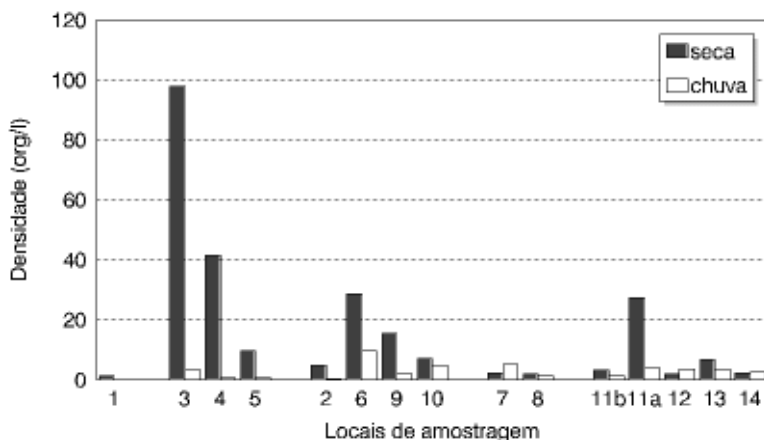


Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

Como verificado para a riqueza de espécies, foi também no período de seca que, para a maioria das estações, ocorreram as maiores densidades médias de organismos, principalmente nas estações 3 e 4 da Sub-bacia Rio Santa Bárbara (97,9 e 41,6 org/l, respectivamente), estações 6 e 9 da Sub-bacia Rio Piracicaba (28,5 e 15,3 org/l, respectivamente) e 11A da Sub-bacia Rio Doce (27,2 org/l). Entretanto, foram registradas grandes oscilações na densidade de organismos, não apenas entre os períodos de seca e chuva como também entre as duas amostragens de um mesmo período (Figura 8.38).

**FIGURA 8.38**

**DENSIDADE MÉDIA DO ZOOPLÂNCTON (ORG/L) EM 15 ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM NA BACIA DO MÉDIO RIO DOCE NOS PERÍODOS DE SECA E CHUVA DE 1993/95.**



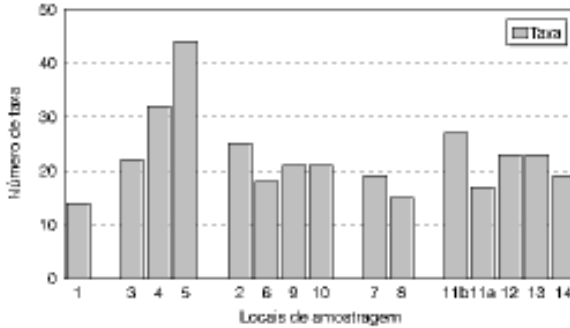
Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

Apesar da grande variedade de fatores que determinam a composição, distribuição e abundância do zooplâncton em rios, diversos estudos têm demonstrado a importância das modificações do nível de água como fator regulador (Holden & Green, 1960; Egborge, 1974; Brandorff & Andrade, 1978). Assim, uma diminuição da densidade de organismos durante o período de chuvas é comum para a grande maioria dos rios estudados, não como consequência apenas da diluição, mas da influência negativa de outros fatores, como o aumento da velocidade da corrente (menor tempo de retenção da água), turbidez e mudanças nas características físicas e químicas das águas, que passam a atuar como elementos limitantes das florações do plâncton.

Quando analisadas separadamente (Figura 8.39), as estações 5, 4, 11B e 2 apresentaram-se como as mais ricas (44, 32, 27 e 25 *taxa*, respectivamente), e as estações 1, 8, 11A e 6 como as mais pobres (respectivamente, 14, 15, 17, e 18 *taxa*).

**FIGURA 8.39**

**TOTAL DE TAXA DA COMUNIDADE ZOOPLANCTÔNICA NAS 15 ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM DA BACIA DO MÉDIO RIO DOCE NO PERÍODO DE 1993/95.**



Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

Com relação ao índice de diversidade, à exceção das estações 4, 6 e 11A, obtiveram-se para o grupo citado acima valores em torno de 2,0, sugerindo uma distribuição mais homogênea dos organismos entre as *taxa* identificados (embora com baixas densidades). Vale ressaltar que a estação 5 apresentou o maior índice de diversidade (2,81), provavelmente por estar localizada a jusante do reservatório de Peti, onde as características lânticas do sistema certamente contribuíram para o desenvolvimento de um plâncton mais rico e abundante. As estações 3, 4, (sub-bacia Santa Bárbara), 6, 9, 10 (sub-bacia Rio Piracicaba) e 11A (sub-bacia do Rio Doce) apresentaram os menores índices de diversidade (1,85, 1,49, 1,38, 1,69 e 1,18, respectivamente).

A análise da composição do zooplâncton dessas estações indica a abundância de *Bdelloidea* e *Nematoda* em todas elas (presentes em baixas densidades na maioria das estações) e do gênero *Arcella* principalmente na estação 3. Segundo Pourriot (1977), espécies da superordem Bdelloidea utilizam, como fonte de alimento, bactérias e material orgânico vegetal. A dominância dos grupos citados nessas estações (principalmente 6, 9 e 11A) deve-se provavelmente à maior disponibilidade de recurso alimentar (aporte de esgoto doméstico e maior desenvolvimento de populações de bactérias).

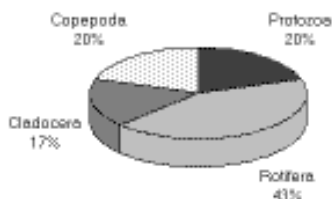
Os valores de índice de diversidade obtidos para a comunidade zooplânctônica sugerem que, entre as sub-bacias analisadas, a do Rio Doce apresenta-se como a menos impactada (maior índice de diversidade) e a do Rio Piracicaba como a mais impactada. Esta última abrange os grandes centros urbanos e principais indústrias da região e vem sendo alterada, em toda sua extensão, por diferentes tipos de impactos (despejos industriais e domésticos, presença de mineração e agricultura, entre outros) com reflexos sobre as populações planctônicas. Por outro lado, as estações analisadas na sub-bacia do Rio Doce, além de localizar-se a jusante do Parque Estadual do Rio Doce, área de proteção ambiental, contam com a ação diluidora do Rio Doce ( maior volume de água), o que poderia contribuir para uma melhoria das condições e justificar os maiores valores de índice de diversidade obtidos.

Dos grupos identificados, Rotifera constitui a fração mais importante, sendo o grupo mais diversificado e contribuindo com 43% dos organismos presentes. Sua participação foi significativa na sub-bacia do Rio Santa Bárbara (28 espécies). Seguiram-se a ele Protozoa e Copepoda (20%) e, com menor participação, Cladocera (17%). Espécies de Cladocera não foram identificadas nas estações 7 e 8, assim como Copepoda nas estações 1 e 8. Nesse último grupo predominaram os estágios jovens (náuplios e copepodito).

As figuras 8.40 e 8.41 apresentam a contribuição percentual e a densidade relativa dos diferentes grupos zooplancônicos encontrados durante o período estudado. Protozoa mostrou-se como o grupo mais abundante, seguido por Rotifera (45% e 37% da densidade total, respectivamente). Nematoda apresenta-se como o terceiro grupo em abundância (10%) com picos de densidade principalmente nas estações 3 e 6. As densidades de Cladocera e Copepoda foram inferiores a 7%, sendo os organismos muitas vezes encontrados apenas nas amostras qualitativas.

**FIGURA 8.40**

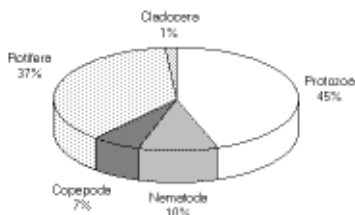
**PERCENTAGEM DOS DIFERENTES GRUPOS SOBRE O TOTAL DE TAXA IDENTIFICADOS NA COMUNIDADE ZOOPLANCTÔNICA NA BACIA DO MÉDIO RIO DOCE NO PERÍODO DE 1993-95.**



Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

**FIGURA 8.41**

**DENSIDADE RELATIVA DOS DIFERENTES GRUPOS ZOOPLANCTÔNICOS NA BACIA DO MÉDIO RIO DOCE NO PERÍODO DE 1993-95.**



Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

A maioria dos rios analisados apresenta dominância de rotifera, o que pode ser explicado por seu curto tempo de geração quando comparado com o de outros grupos zooplancônicos. Entretanto, Richardson (1992) observou que cladóceros planctônicos e rotíferos são incapazes de manter suas posições em águas correntes, sendo potenci-

almente mais fáceis de serem *lavados* do que copépodos, que por resistir mais, poderiam exibir populações em maior número. Dijk & Zanten (1995), analisando a comunidade zooplancônica do Rio Rhine (Alemanha), encontraram altos valores para rotíferos e justificaram tais valores pela maior resistência desse grupo a micropoluentes. Apesar de haver poucas informações sobre a influência de poluentes no desenvolvimento de plâncton de rios, Guisande & Toja (1988) também concordam que a contaminação favorece a dominância de rotíferos em rios.

Os argumentos apresentados acima, associados às características do grupo, talvez possam explicar as maiores densidades de rotíferos observadas neste estudo. A dominância de Bdelloidea poderia também ser explicada pelo fato de a maior parte dos representantes desse grupo ter hábitos bentônicos e apresentar *pés* que ajudam na fixação, facilitando sua permanência na área.

A Tabela 8.31 (Anexo 1) apresenta a lista dos organismos zooplancônicos identificados durante o período estudado, com as densidades médias obtidas para os períodos de seca e chuva. Entre os Protozoa, *Arcella catinus*, *A. vulgaris*, *Centropyxis aculeata*, *C. arcelloides*, *Diffugia* sp. e *Epistylis* sp. ocorreram em quase todas as estações e períodos amostrados. Entre os Rotifera, apenas Bdelloidea apresentou frequência regular e densidades quase sempre elevadas, sendo o responsável pelos picos observados nas estações 3, 6, 10 e 11A. Modenutti (1987), analisando a variação da composição do zooplâncton de um pequeno afluente da margem direita do Rio La Plata, encontrou uma dominância de Bdelloideos e ciliados na estação onde o teor de matéria orgânica aumentava em conseqüência de despejo doméstico. Vários outros estudos relacionam a presença de grande número de rotíferos com a presença de material inorgânico em suspensão. Embora todo o trecho do rio estudado apresente grande quantidade de material em suspensão, a situação é marcante em algumas estações em decorrência das atividades de mineração. Da mesma forma, embora quase todo o rio seja usado como local de despejo dos resíduos das atividades humanas, em algumas estações o despejo de esgoto doméstico altera claramente as características da água (odor, cor etc.). A estação 11A pode ser citada como um exemplo dessa situação, local onde foi registrada a dominância de rotíferos bdelloideos. Essa estação recebe todo o esgoto da cidade de Ipatinga. Nas estações 3, 6 e 2 também dominaram os bdelloideos. Foram também frequentes nesse grupo as seguintes espécies: *Cephalodella* sp., *Keratella americana*, *K. cochlearis* e *Lecane (M) bulla*. Para os grupos Cladocera e Copepoda, não foi possível identificar espécies com ocorrência regular e significativa, sendo que no último grupo predominaram as formas jovens de náuplios e copepodito.

## **BENTON**

Tradicionalmente a qualidade da água é medida por parâmetros químicos (teor de fosfatos, nitratos, oxigênio, íons etc.). Apesar das facilidades de execução e padronização da metodologia desenvolvida para controle de água para abastecimento humano, o controle por métodos químicos tem a desvantagem de registrar uma realidade momentânea e dificuldade para mostrar o efeito de doses subletais de poluentes ambientais.



Em vista disso, métodos biológicos para avaliação da potabilidade da água e, principalmente, da integridade dos ecossistemas aquáticos vêm sendo incorporados aos métodos químicos. Corpos d'água expostos a condições de estresse respondem com alterações funcionais (modificação nas taxas de respiração e produção) e estruturais (modificação na composição de espécies), sendo possível avaliar e quantificar essas alterações.

Diversos métodos vêm sendo propostos e usados para avaliar a qualidade de ecossistemas aquáticos (Graça, 1985; Rosemberg & Resh, 1993), tendo como subsídio a integridade da comunidade bentônica. Entre as vantagens de usar organismos bentônicos, pode-se destacar o fato de serem abundantes em todos os tipos de ambientes, serem relativamente imóveis, facilmente amostrados e sensíveis a modificações nos habitats.

Um ambiente aquático equilibrado deve apresentar alta diversidade de organismos, caracterizada por grande número de espécies com poucos indivíduos de cada espécie. Num ambiente sujeito a estresse por poluição, as espécies sensíveis desaparecem e as tolerantes têm seu número aumentado pela eliminação de competidores e pelo desaparecimento de predadores.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

As estações de coleta nas sub-bacias do médio Rio Doce foram definidas procurando representar a bacia de drenagem e considerando as atividades antrópicas responsáveis pelos principais impactos ambientais. As coletas foram realizadas nos períodos de seca e chuvas dos anos de 93, 94 e 95.

A maior parte dos trabalhos desenvolvidos em ambientes lóticos usa a calha central do rio (*riffle zone*) como local de coleta (Resh & Mc Elroy, 1993). Nos ambientes estudados, esse procedimento teria vários inconvenientes, destacando-se o fato de que algumas estações eram severamente poluídas, principalmente poluição orgânica; além disso, a profundidade do rio exigia o uso de barcos. Por outro lado, estudos prévios conduzidos por Barbosa *et al.* (1994) não mostraram a ocorrência de mudanças importantes na composição da bentonofauna, amostrada simultaneamente na calha central e nas margens.

Em vista disso, foram realizadas amostragens na margem utilizando-se conchas metálicas de fundo perfurado (*hand dipper*) com malha 1mm, com diâmetro de 16 cm, sendo dadas 50 conchadas aleatórias, de modo a cobrir uma área total de 1,005m<sup>2</sup> ao longo da margem, em cada estação. Foram coletadas também três amostras com draga do tipo Ekman-Birge, com área total de 0,097m<sup>2</sup>, lançada a aproximadamente 1m da margem, de modo a amostrar o sedimento do fundo. Após lavagem *in situ* com rede de malha 1mm para retirada do excesso de material, o sedimento foi acondicionado em sacos plásticos, formalizado, etiquetado e transportado para o laboratório.

No laboratório, o material foi lavado em tamiz, triado sob microscópio estereoscópio e acondicionado em vidros com álcool 80%. A identificação foi feita a nível de família ou *taxa* maior em alguns grupos, usando chaves dicotômicas disponíveis (Merritt & Cummins, 1984; Borror & DeLong, 1984; e outras).

Os seguintes parâmetros foram analisados em cada amostra: número de *taxa*; número de indivíduos em cada *taxa*; densidade total; densidade de Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera-EPT; densidade de Chironomidae + Oligochaeta; percentagem de contribuição da família dominante; percentagem de contribuição de EPT; percentagem de contribuição de Chironomidae + Oligochaeta; índice de riqueza; número de *taxa* de EPT; relação EPT/Chironomidae + Oligochaeta; número de indivíduos de EPT; número de indivíduos de Chironomidae+Oligochaeta; relação densidade/número de *taxa*; índice de dominância; índice de dominância de EPT; índice de dominância de Chironomidae + Oligochaeta.

Desses parâmetros, foram selecionados, através da análise de componentes principais, os seguintes, para compor o índice biológico de qualidade da água, apresentado no item 8.2.

- **Número de *Taxa*:** onde foram computados o número total de *taxa* por estação que ocorreram nas quatro campanhas realizadas. Reflete a saúde da comunidade através da variedade de *taxa* (número total de famílias). Segundo Plafkin (1984), o número de *taxa* geralmente aumenta com a qualidade da água, diversidade e aptidão do hábitat. Ambientes naturalmente pobres podem ter o número de *taxa* aumentado por enriquecimento orgânico.
- **Densidade:** calculada como  $n/m^2$ , onde  $n$  = número de indivíduos coletados por estação. A densidade de organismos dá uma indicação sobre a qualidade do hábitat para o desenvolvimento da vida aquática. Tende a ser baixa em locais naturalmente pobres em nutrientes, em locais alterados fisicamente, de modo a impedir o estabelecimento dos organismos, e em locais alterados por poluentes químicos. Em ambientes afetados por poluição orgânica, espécies adaptadas para suportar baixos níveis de oxigênio dissolvidos na água apresentam altas densidades.
- **Percentagem de contribuição da família dominante:** calculada pela fórmula:  $d/D \times 100$ , onde  $d$  = densidade da família dominante e  $D$  = densidade total de organismos no ambiente. É esperado que em ambientes não-sujeitos a estresse a distribuição das famílias de organismos se faça de maneira mais ou menos equitativa, não havendo predominância de nenhum grupo. A identificação da família mais abundante no ambiente pode também fornecer informação sobre as condições ambientais do hábitat.
- **Indicadores (positivos) de qualidade do hábitat:** a maioria dos representantes de Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera são organismos que vivem em ambiente bem oxigenado, de água límpida, sensíveis a mudanças dessas condições; são tradicionalmente usados como indicadores de águas não-poluídas. Nesse grupo foram definidos como parâmetros indicadores a densidade de EPT e a percentagem de contribuição de EPT do grupo em relação ao total de organismos.
- **Indicadores (negativos) de qualidade do hábitat:** quironomídeos e oligoquetas são organismos adaptados a ambientes com depleção de oxigênio e

altas *taxas* de matéria orgânica, sendo encontrados em altas densidades nesses ambientes. Tradicionalmente são utilizados como indicadores de poluição. Nesse grupo foram definidos como parâmetros indicadores a percentagem de contribuição de quironomídeos e oligoquetas em relação ao restante da fauna presente nas estações. A predominância desses grupos sugere que o ambiente está sendo restritivo para outros grupos.

## RESULTADOS

Foi identificado um total de 84 *taxa*, dos quais 70 são Insecta, 9 Mollusca e 5 de outros grupos. Dos insetos, a família Chironomidae (Diptera) apresentou a maior frequência de ocorrência, com representantes em todas as estações de amostragem. Outras famílias também podem ser citadas como tendo ampla distribuição ao longo da bacia: Hydrophilidae (Coleoptera), representada em 15 estações, Gomphidae (Odonata), presente em 17 estações. Por outro lado, 19 famílias de insetos foram encontradas em apenas um local, mostrando ser de distribuição restrita. Os anelídeos foram representados por duas classes: Oligochaeta e Hirudinea, sendo a primeira comum a todas as estações de amostragem, enquanto a segunda foi encontrada em 11 estações. Dos moluscos, a família Physidae foi de ocorrência mais comum, sendo encontrada em 15 estações, seguida pela família Sphaeriidae, que ocorreu em 11 estações. A família Planorbidae ocorreu em 7 estações.

A Tabela 8.32 mostra a composição e distribuição da bentonofauna por estação de amostragem, no período 1993 a 1995.

Uma descrição das variáveis analisadas é feita a seguir:

**Número de *taxa*.** Não obstante o diferente esforço de amostragem para cada sub-bacia, foram encontrados na sub-bacia dos rios Santa Bárbara e Doce 55 *taxa*, na Sub-bacia do Rio Piracicaba 45, na Sub-bacia do Ribeirão Severo 31, na Sub-bacia do Ribeirão Caraça 25, na Sub-bacia do Rio do Peixe 19, e na Sub-bacia do Ribeirão Ipanema 12.

O número acumulado de *taxa* encontrados nas diferentes estações é mostrado na Figura 8.42. As estações da Sub-bacia do Rio Piracicaba mostraram um menor número de *taxa* quando comparadas com as demais sub-bacias. Assim, as estações 3, 7A, 9A, 10A e 11C mostraram baixos números de *taxa*, sugerindo a ocorrência de restrições ao desenvolvimento da bentonofauna nesses locais. Por outro lado, as estações 1, 4, 5, 8, 12 e 14 foram aquelas identificadas como sendo os locais de maior diversidade de fauna bentônica.

**Percentagem de contribuição da família dominante.** As famílias dominantes em cada estação de amostragem podem ser vistas na Tabela 8.33. Chironomidae (Diptera), Oligochaeta (Annelida) e Physidae (Mollusca) são as famílias dominantes na maioria das estações. Em geral são organismos abundantes em coleções de águas poluídas por matéria orgânica, onde alcançam densidades elevadas por possuir mecanismos compensatórios para resistir à falta de oxigênio. A maioria das estações possui grande parte de sua bentonofauna representada por essas famílias, particularmente abundantes na sub-bacia do Rio Doce, conforme mostra a Figura 8.43.



Hydrophilidae	x	x	x	x	x	x	-	-	x	x	x	x	x	x	x	-	-	x	-	
Linmichidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-	x	x	x
Noteridae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-
Staphylinidae	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ni	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-
Total	3	3	4	2	3	5	0	1	1	2	2	2	2	4	2	2	2	2	3	2
Ephemeroptera	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Baetidae	x	-	x	x	x	-	x	-	x	x	-	-	x	x	-	x	x	x	x	x
Caenidae	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	x	x	-	-
Ephemerelidae	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-
Ephemeridae	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Euthyplociidae	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Leptophlebiidae	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Polymirtacidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	x
Siphonuridae	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tricorythidae	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x
Ni	x	-	-	x	-	x	-	-	x	-	-	-	-	x	-	-	x	x	-	x
Total	4	0	1	6	1	1	1	0	3	1	0	0	1	3	0	1	4	4	1	4
Diptera	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ceratopogonidae	x	x	x	x	x	x	-	-	-	x	-	-	-	x	-	x	x	x	-	-
Chironomidae	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Culicidae	-	-	x	-	-	x	-	-	-	-	x	x	-	x	x	-	-	-	-	x

SUB-BACIA	CA S. BÁRBARA				PIRACICABA								PE	SE	IP	DOCE				
	01	03	04	05	02	6A	06	7A	9A	09	10	11A	07	08	10A	11C	11	12	13	14
Dixidae	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-
Dolichopodidae	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Empididae	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-
Psychodidae	-	-	x	x	-	-	x	x	-	-	x	x	-	x	x	-	-	-	-	x
Sciomyzidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	x	-	-	-	-	-
Simuliidae	x	-	-	x	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Stratiomyidae	x	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-
Tabanidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tipulidae	x	-	x	-	x	x	-	-	-	-	-	-	x	-	-	x	-	-	-	x
Ni	-	-	x	-	-	x	-	-	-	-	x	-	-	-	x	-	-	x	-	x
Total	5	2	8	6	3	5	2	2	1	3	5	4	3	5	5	3	2	4	1	5
Megaloptera	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Corydalidae	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Plecoptera	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gripopterygidae	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Collembola	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Isotomidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-
Ni	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0

Homoptera	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ni	-	-	x	-	-	x	-	-	-	-	x	x	-	-	-	-	x	x	x
Total	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1
Orthoptera	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ni	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-
Total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Trichoptera	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Brachycentridae	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-
Helichopsychidae	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	x	-
Hydrobiosidae	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hydropsychidae	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	x	x	-	-	-	x	x	x
Hydroptilidae	x	-	-	x	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-
Lepidostomatidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-
Leptoceridae	x	-	-	x	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	x
Odontoceridae	x	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-
Polycentropodidae	x	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ni	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	7	0	2	4	0	1	1	0	0	0	0	2	2	0	1	1	3	2	2
Odonata	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aeshnidae	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-
Agrionidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Calopterygidae	x	x	-	x	-	-	-	-	x	-	x	x	x	-	x	-	x	x	x
Coenagrionidae	-	-	x	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	x	-	x





Gastropoda	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Ampulariidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	x	
Ancylidae	-	-	x	-	-	x	-	-	-	-	x	-	x	-	-	x	x	-	x	
Hydrobiidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	x	-	x	x	x	
Lymnaeidae	-	-	x	-	-	-	-	x	x	x	-	-	-	-	x	-	-	-	x	x
Physidae	-	x	x	-	-	x	x	x	-	x	x	x	x	x	-	x	x	x	x	x
Planorbidae	-	-	x	-	-	-	-	-	x	x	x	x	-	x	-	-	-	x	-	-
Thiaridae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-	x	-	x	x
Ni	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	x
Bivalvia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sphaeriidae	-	-	x	x	-	x	x	-	x	x	-	-	-	x	-	-	x	x	x	x
Total	0	1	5	1	0	3	2	2	3	4	2	4	2	4	2	2	4	5	6	8
Annelida	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hirudinea	-	x	-	-	-	x	x	x	x	-	x	x	-	-	x	x	x	x	-	-
Oligochaeta	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Total	1	2	1	1	1	2	2	2	2	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1
Platyhelminthes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Turbellaria	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Seriata	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	x
Total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Total Geral	25	11	34	27	15	21	14	10	12	18	14	20	19	31	12	13	21	32	24	39

.....  
Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

**TABELA 8.33**

**FAMÍLIAS DOMINANTES NAS SUB-BACIAS DO MÉDIO RIO DOCE NO PERÍODO 1993-1995**

ESTAÇÃO DE AMOSTRAGEM	07/93	12/93	07/94	01,02,05/95	08/95
1	Chironomidae	Baetidae	Chironomidae	Baetidae	Helichopsychidae
2	Chironomidae	Chironomidae	Chironomidae	Oligochaeta	Chironomidae
3	Chironomidae	Oligochaeta	Chironomidae	Oligochaeta	Oligochaeta
4	Chironomidae	Chironomidae	Chironomidae	Chironomidae	Culicidae
5	Chironomidae	Veliidae	Baetidae	Simuliidae	Chironomidae
6	Oligochaeta	Oligochaeta	Physidae	Chironomidae	Physidae
7	Chironomidae	Chironomidae	Chironomidae	Veliidae	Oligochaeta
8	Baetidae	(*)Chir/Baet	Chironomidae	Baetidae	(*)Olig/Libel
9	Sphaeriidae	Sphaeriidae	Physidae	Baetidae	(*)Chir/Nauc
10	Oligochaeta	Oligochaeta	Oligochaeta	(*)Chir/Phys/Oli	Oligochaeta
11A	Chironomidae	Oligochaeta	Oligochaeta	Oligochaeta	Oligochaeta
11B	Chironomidae	Chironomidae	Chironomidae	Chironomidae	Baetidae
12	Gomphidae	Oligochaeta	Gomphidae	Limnichidae	Sphaeriidae
13	Sphaeriidae	Chironomidae	Hidropsychidae	Sphaeriidae	Thiaridae
14	Physidae	Physidae	Physidae	Oligochaeta	Physidae
6A	-	-	-	Sphaeriidae	Sphaeriidae
7A	-	-	-	Chironomidae	Gomphidae
9A	-	-	-	(*)Olig/Eph	Lymnaeidae
10A	-	-	-	Oligochaeta	Lymnaeidae
11C	-	-	-	(*)Olig/Tip/Calo	Physidae

Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

**Densidade:** A Figura 8.44 mostra as densidades medianas de organismos nas estações de amostragem. As estações 3, 6 e 11A apresentaram as maiores densidades medianas de organismos por m<sup>2</sup>. Como pode ser observado na tabela acima, os organismos dominantes nessas estações são Chironomidae, Oligochaeta e Physidae, capazes de se reproduzir e manter altas densidades em habitats poluídos.

**Porcentagem de contribuição das famílias de Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera-EPT:** A Figura 8.45 mostra a contribuição percentual dessas famílias nas sub-bacias do médio Rio Doce. Como se pode ver na figura, as estações 1 e 8 são aquelas com a maior participação, seguidas das estações 5, 11B, 12 e 14.

**Densidade de EPT.** As densidades dos indivíduos das famílias Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera são mostradas na Figura 8.46. As maiores densidades foram registradas nas estações 1, 9A, 8 e 11C. A ocorrência de maiores percentagens desses grupos nessas estações de amostragem reforça a hipótese de tais grupos indicarem, normalmente, águas sem contaminação orgânica expressiva.

**Porcentagem de contribuição de Chironomidae e Oligochaeta.** A Figura 8.47 mostra a contribuição percentual dos grupos Quironomídeos e Oligoquetas nas estações de amostragem. Verifica-se que esses organismos estiveram presentes em todas as estações, sendo, contudo, particularmente expressivos nas estações 3, 4, 2, 6, 10 e 11A, onde têm sido registradas significativas contribuições de matéria orgânica. Tais resultados corroboram a hipótese de tais grupos serem comumente utilizados como indicadores de águas poluídas por matéria orgânica.

## **PEIXES: COMPOSIÇÃO, DISTRIBUIÇÃO E EFEITOS DOS IMPACTOS ANTRÓPICOS**

O Rio Piracicaba, em Minas Gerais, considerado um dos mais poluídos do Brasil (Guerra, 1993), drena duas das principais regiões econômicas do estado: o *Quadrilátero Ferrífero*, em suas cabeceiras, e o *Vale do Aço*, no seu trecho inferior até a foz. O complexo siderúrgico instalado na bacia é considerado um dos principais agentes de degradação ambiental da região (Guerra, 1993; Chimeli, 1994), embora outras importantes e intensas atividades — como o garimpo, a mineração e a silvicultura intensiva — contribuam para essa situação (Cetec, 1988).

Relatos sobre os problemas ambientais na bacia do Rio Doce decorrentes dos processos de mineração realizados em seus tributários, entre os quais o Rio Piracicaba, são encontrados na literatura já no século passado (Saint-Hilaire, 1974), embora, desde esse período, pouca atenção tenha sido dada à sua quantificação ou minimização. Recentemente, alguns trabalhos (Cetec, 1983; Guerra, 1993; Chimeli, 1994) apresentaram avaliações amplas sobre a degradação ambiental na bacia do Rio Piracicaba, formulando propostas de ação para a sua recuperação. Embora esses trabalhos façam referência à bacia como um todo, a maioria dos dados utilizados deriva dos ambientes terrestres e das características sócio-econômicas da região, com pouca ou nenhuma referência aos ambientes aquáticos.

No que se refere à fauna de peixes, os trabalhos realizados na bacia do Rio Piracicaba estão restritos ao inventariamento da ictiofauna do reservatório de Peti, no Rio Santa Bárbara, um de seus principais tributários (Cetec, 1989) e alguns estudos de impacto ambiental (EIA-Rima). Os estudos de impacto ambiental foram realizados durante a última década, principalmente por exigência de uma legislação ambiental mais moderna. Entretanto, são de circulação restrita, abrangência extremamente pontual, envolvem poucos grupos taxonômicos e possuem resultados nem sempre confiáveis e conclusivos.

Neste estudo, avaliamos as comunidades de peixes encontradas ao longo da bacia do Rio Piracicaba, tendo como objetivos:

- Determinar a riqueza de espécies de peixes tomando-se como base as amostragens realizadas e os dados disponíveis na literatura;
- Relacionar a abundância, medida através das capturas por unidade de esforço (CPUE's), em número, biomassa e diversidade de espécies com os principais impactos antrópicos detectados;

- Determinar a similaridade na composição das espécies entre as estações amostradas, evidenciando padrões nas comunidades amostradas;
- Definir padrões nas comunidades considerando-se os ambientes amostrados (rio, transição reservatório-rio, reservatórios).

## METODOLOGIA

Entre outubro de 1994 e novembro de 1995 foram realizadas cinco campanhas de amostragem, distribuídas por 11 estações localizadas nos rios Piracicaba, Santa Bárbara e Rio Doce (Figura 8.1). A localização, características, altitudes e os respectivos códigos das estações são relacionados na Tabela 8.34.

Em todas as amostragens foram utilizadas redes de emalhar (malhas de 3 a 12 cm medidos entre nós opostos), armadas ao entardecer e retiradas na manhã do dia

**TABELA 8.34**

**ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM NA BACIA DO RIO PIRACICABA, MÉDIO RIO DOCE, MG**

RIOS	LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES	CARACTERÍSTICA	ALTITUDE (M)	CÓDIGO
Doce	Município de Belo Oriente, na área próxima à captação de água da Cenibra	rio	210	1-rio
Piracicaba	Município de Ipatinga, a aproximadamente 500 metros antes da desembocadura no Rio Doce	rio	245	2-rio
	Município de Antônio Dias, no reservatório de Sá Carvalho	reservatório	350	3-res
	Município de Antônio Dias, a aproximadamente 1,5 km a jusante da barragem de Amorim	transição	380	4-tra
	Município de João Monlevade, no reservatório de Piracicaba (Ponte Torta)	reservatório	640	5-res
	Município de Alvinópolis, a aproximadamente 1 km abaixo do distrito de Fonseca	rio	800	6-rio
Sub-bacia do rio Santa Bárbara	A aproximadamente 3 km abaixo da sede do município de São Gonçalo do Rio Abaixo	rio	630	7-rio
	Município de Santa Bárbara, na região proximal da barragem do reservatório de Peti	reservatório	710	8-res
	Município de Santa Bárbara, na região mediana do reservatório de Peti	reservatório	710	9-res
	Município de Santa Bárbara, na região distal da barragem do reservatório de Peti	transição	710	10-tra
	Município de Santa Bárbara, Parque Natural do Caraça, no local denominado Tanque Grande	reservatório	1.230	11-res

Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

seguinte. Todo o esforço (m<sup>2</sup> de redes) utilizado em cada estação foi registrado, de modo a permitir comparações. Sempre que possível foram realizadas coletas adicionais com tarrafas, redes tipo picaré e peneiras. Os peixes capturados foram acondicionados em sacos plásticos etiquetados, separados por estações, artefatos de pesca e malhas. Após esse procedimento, todos os exemplares foram fixados em formalina 10% e acondicionados em recipientes apropriados. Em laboratório, após a identificação taxonômica e biometria (pesagem e mensuração), foram transferidos para álcool 70° GL. Exemplares-testemunho estão depositados na Coleção de Ictiologia do Departamento de Zoologia da Universidade Federal de Minas Gerais.

As abundâncias relativas (número e biomassa) foram estimadas através da captura por unidade de esforço (CPUE), com base nos dados obtidos através das redes de espera. O cálculo das CPUE's foi efetuado através das seguintes equações:

$$CPUE \text{ numero} = \left( \frac{\sum_{m=3}^{12} N_m}{EP_m} \right) * 100$$

N<sub>m</sub> = número total de peixes capturados na malha m

B<sub>m</sub> = biomassa total de peixes capturados na malha m

EP<sub>m</sub> = esforço de pesca (área em m<sup>2</sup> das redes de malha m)

m = tamanho da malha

Para o cálculo da diversidade, utilizou-se o índice de Shannon-Weaver, descrito pela equação:

$$H' = - \sum_{i=1}^s (p_i) * (\log n p_i)$$

S = número total de espécies na amostra

i = espécie 1, 2, ... na amostra

p<sub>i</sub> = proporção de indivíduos da espécie i na amostra

A similaridade na composição das espécies entre as estações de coleta foi calculada com base em uma matriz de presença e ausência, utilizando-se o método de Distância Euclidiana para determinação dos agrupamentos (*clusters*) e confecção do dendrograma.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram amostradas 25 espécies, distribuídas em quatro ordens e 11 famílias, como na Tabela 8.35.

Seis espécies tiveram distribuição restrita a somente uma estação, cinco das quais na estação **I-rio**, no Rio Doce (*Lophiosilurus alexandri*, *Prochilodus vimboides*, *Pygocentrus nattereri*, *Rhamdia* sp. e *Pimelodella* sp.). No Piracicaba e seus afluentes foram registradas 20 espécies, sendo que nenhuma foi comum a todas as estações. As espécies com distribuição mais ampla foram *Hoplias malabaricus*, *Astyanax bima-*

**TABELA 8.35**  
**ESPÉCIES DE PEIXES ENCONTRADAS NO TRECHO MÉDIO DO RIO DOCE NO PERÍODO 1994-1995**

ORDEM	SUB-ORDEM	FAMÍLIA	SUB-FAMÍLIA	ESPÉCIE
Characiformes		Characidae	Tetragonopterinae	<i>Astyanax bimaculatus</i> (lambari)
				<i>Astyanax scabripinnis</i> (lambari)
				<i>Astyanax</i> sp. (lambari)
				<i>Characidium</i> cf. <i>timbuensis</i>
			Acetrorhynchinae	<i>Oligosarvus argenteus</i> (lambari-bocarra)
		Serrasalminae	<i>Pygocentrus nattereri</i> (piranha)*	
		Curimatidae	<i>Cyphocharax gilbert</i> (saguiru)	
		Erythrinidae	<i>Hoplias malabaricus</i> (traíra)	
			<i>Hoplias lacerdae</i> (trairão) *	
		Anostominae	<i>Leporinus conirostris</i> (piau)	
Prochilodontidae	<i>Prochilodus vimboides</i> (curimba)			
Siluriformes	Gymnoidei	Gymnotidae		<i>Gymnotus carapo</i> (sarapó, peixe-espada)
	Siluroidei	Auchenipteridae		<i>Parauchenipterus striatulus</i> (cumbaca)
		Pimelodidae		<i>Glanidium melanopterum</i> (babão)
			<i>Lophosilurus alexandri</i> (pacamá, pucumã) *	
			<i>Rhamdia</i> cf. <i>hilarii</i> (bagre)	
			<i>Rhamdia</i> sp. (bagre)	
			<i>Pimelodella</i> sp. (mandi)	
			<i>Hypostomus</i> cf. <i>affinis</i> (cascudo)	
			<i>Hypostomus</i> sp. (cascudo)	
		Loricariidae		<i>Cichlasoma facetum</i> (cará-ferreira)
	<i>Geophagus brasiliensis</i> (cará)			
Perciformes		Cichlidae		<i>Tilapia</i> cf. <i>rendalli</i> (tilápia) *
				<i>Phalloceros caudimaculatus</i> (barrigudinho)
				<i>Poecilia reticulata</i> (barrigudinho) *
Cyprinodontiformes		Poeciliidae		

Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

\* = Espécies exóticas à bacia.

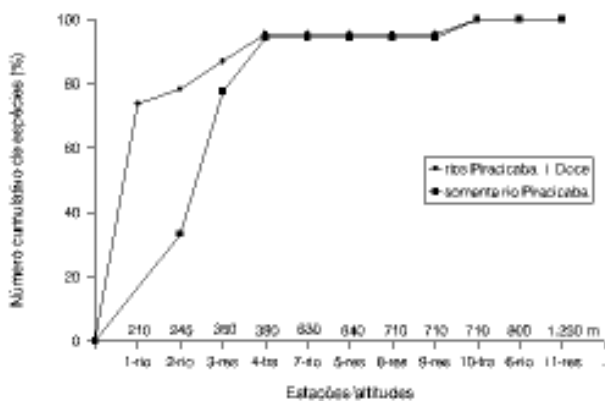
Entre parênteses são indicados os nomes vulgares utilizados na região.

*culatus*, *Oligosarcus argenteus* e *Geophagus brasiliensis* (oito estações), conforme mostrado na Tabela 8.36.

Do total das espécies capturadas, 9 (*Leporinus conirostris*, *Cyphocharax gilbert*, *Parauchenipterus striatulus*, *Glanidiu Melanopterum*, *L. alexandri*, *P. vimboides*, *P. nattereri*, *Pimelodella* sp. e *Rhamdia* sp.) eram restritas às estações **1-rio** e **2-rio**, em altitudes inferiores a 300 metros, que em conjunto mantêm aproximadamente 80% do total de espécies amostradas (Figura 8.48). Vieira *et al.* (no prelo), em estudo realizado em tributários do Rio Santo Antônio, relatam a ocorrência de três espécies do gênero *Leporinus* em altitudes de até 670 metros, o que evidencia um padrão de distribuição para esse grupo diferente ao encontrado na bacia do Rio Piracicaba. Embora algumas das espécies citadas anteriormente sejam características do baixo curso dos rios, principalmente curimatídeos e prochilodontídeos, deve-se destacar que a geomorfologia da bacia e provavelmente os diversos barramentos ao longo dela podem estar atuando como barreiras à colonização das partes altas.

**FIGURA 8.48**

**NÚMERO CUMULATIVO DE ESPÉCIES (%) POR ALTITUDES E ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM NA SUB-BACIA RIO PIRACICABA E NO TRECHO MÉDIO DO RIO DOCE.**



Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

A riqueza e a diversidade de espécies apresentam uma tendência clara de aumento em direção à foz (Figura 8.49 a, b). Entretanto, estações localizadas em ambientes lóticos do Rio Piracicaba (**2-rio**, **6-rio** e **7-rio**) apresentaram riqueza e diversidade de espécies consideravelmente inferiores à tendência geral registrada para a bacia. Esses dados contrastam com os dados obtidos para a estação **1-rio**, na qual foram registrados os maiores valores para essas duas variáveis. Esse fato pode ser explicado, em parte, pelo efeito de diluição exercido pelo Rio Doce e pelo porte do corpo d'água onde está localizada a estação. Cabe destacar que, através do uso de um índice biológico elaborado com a comunidade zoobentônica, o trecho do rio onde está localizada a estação **2-rio** foi classificado como de qualidade ruim (Barbosa *et al.*, 1995).

**TABELA 8.36**  
**DISTRIBUIÇÃO DAS ESPÉCIES DE PEIXES NAS SUB-BACIAS DO MÉDIO RIO DOCE,**  
**COM SUAS RESPECTIVAS ABUNDÂNCIAS MEDIDAS ATRAVÉS DAS CPUE'S EM NÚMERO**

RIOS	ESTAÇÕES										
	DOCE	PIRACICABA					SANTA BÁRBARA				
ESPÉCIES	1-RIO	2-RIO	3-RES	4-TRA	5-RES	6-RIO	7-RIO	8-RES	9-RES	10-TRA	11-RES
<i>Asyanax bimaculatus</i>	+	+	++	+	+	-	-	+++	+	+++	-
<i>Asyanax scabripinnis</i>	+	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-
<i>Asyanax</i> sp.	++	-	+	++	+	-	-	-	-	-	-
<i>Characidium</i> cf. <i>timbuensis</i> ●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cichlasoma facetum</i>	-	-	-	+	+	-	-	+	+	●	-
<i>Cyphocharax gilbert</i>	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Geophagus brasiliensis</i>	+	-	+	+	+	-	++	+	+	+	-
<i>Glanidium melanopterym</i>	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Gymnotus carapo</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	●	-
<i>Hoplias lacerdae</i>	+	-	-	+	-	++	+	+	+	-	-
<i>Hoplias malabaricus</i>	+	-	+	+	+	-	-	+	+	+	+
<i>Hypostomus</i> cf. <i>affinis</i>	+	+	+	+	+	-	-	-	+	-	-
<i>Hypostomus</i> sp.	-	-	-	++	-	+++	++	-	-	+	-
<i>Leporinus conirostris</i>	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Lophiosilurus alexandri</i>	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Oligosarcus argenteus</i>	●	-	+	+	+	-	-	+	++	+	++++
<i>Parauchenipterus striatulus</i>	+	++	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Phalloceros caudimaculatus</i> ●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pimelodella</i> sp.	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Poecilia reticulata</i>	-	-	●	-	-	-	●	●	●	●	-
<i>Prochilodus vimboides</i>	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pygocentrus nattereri</i>	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Rhamdia</i> cf. <i>hilarii</i>	-	-	+	+	+	-	-	+	+	+	-
<i>Rhamdia</i> sp.	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Tilapia</i> cf. <i>rendalli</i>	+	-	+	-	-	-	-	+	+	●	●
<i>Total</i>	17	6	10	11	9	3	4	9	10	10	3

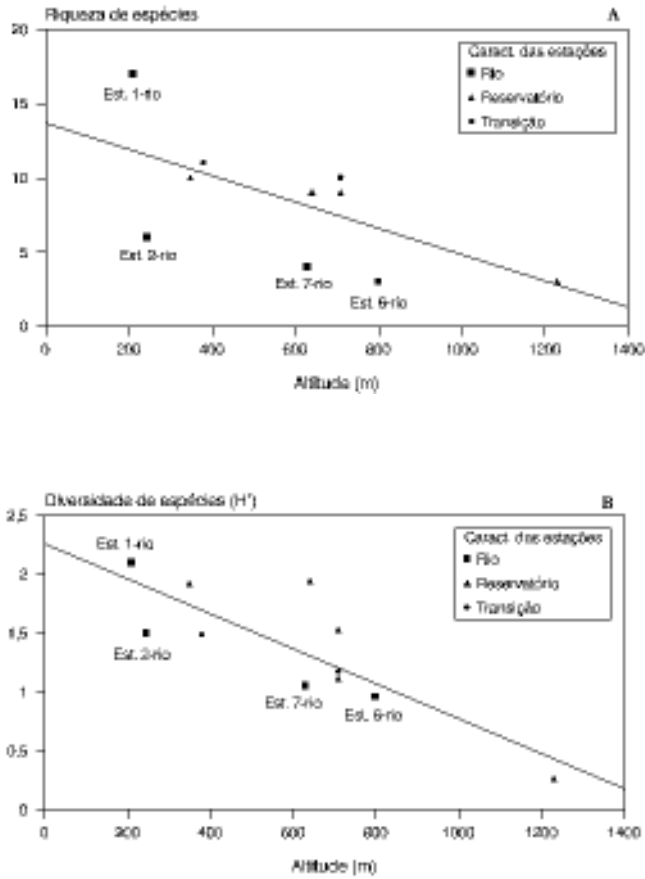
Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

+ = até 25%; ++ = entre 26 e 50%; +++ = entre 51 e 75%; ++++ = acima de 75%; = espécies registradas fora das estações no Rio Piracicaba ou sem dados de abundância.



**FIGURA 8.49**

**TENDÊNCIA NA RIQUEZA (A) E DIVERSIDADE DE ESPÉCIES (B) EM FUNÇÃO DA ALTITUDE E DOS AMBIENTES ANALISADOS NOS RIOS PIRACICABA E DOCE.**

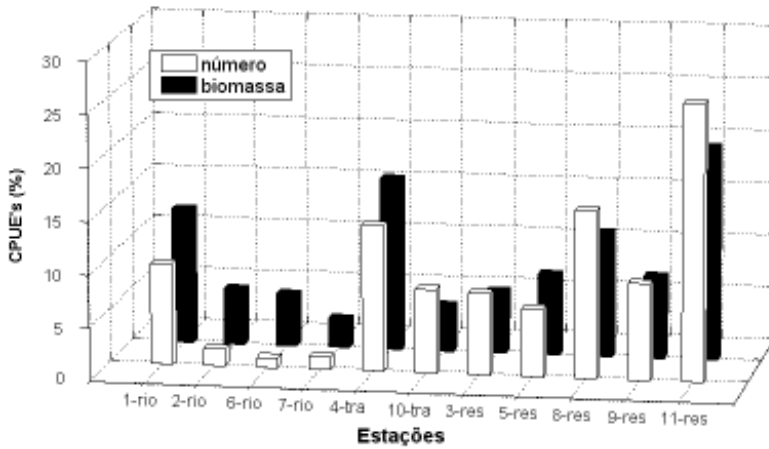


Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

As CPUE's em número e biomassa não evidenciaram padrões claros. Mas os baixos valores para riqueza e diversidade de espécies registrados em ambientes lóticos do Rio Piracicaba (estações **2-rio**, **6-rio** e **7-rio**) foram repetidos para essas análises (Figura 8.50). A estação **11-res** diferenciou-se marcadamente das demais pelas CPUE's em número e biomassa muito elevadas, o que pode estar relacionado ao tipo de ambiente amostrado e sobretudo à pequena atividade de pesca na área. Entretanto, é uma estação com riqueza e diversidade muito baixa, como demonstrado anteriormente, reflexo direto da altitude onde está situada.

**FIGURA 8.50**

**PERCENTUAIS DAS CAPTURAS POR UNIDADE DE ESFORÇO EM NÚMERO E BIOMASSA POR ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM NOS RIOS PIRACICABA E DOCE.**



Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

A análise da riqueza e diversidade média por ambiente revela uma tendência de aumento à medida que se passa de ambientes lóticos para lênticos, a qual é visualizada mais claramente quando são observados os dados das CPUE's em número e biomassa (Tabela 8.37). O fato pode estar relacionado à baixa efetividade das redes de espera em áreas lóticas (Hubert, 1983) ou às características desses ambientes nas regiões estudadas, como pouca vegetação marginal, pequena profundidade e alta turbidez, reflexo direto das atividades antrópicas (mineração, extração de areia, agricultura etc.) desenvolvidas na bacia de drenagem.

**TABELA 8.37**

**VALORES MÉDIOS DE RIQUEZA, DIVERSIDADE E CPUE'S EM NÚMERO E BIOMASSA POR AMBIENTES AMOSTRADOS NOS RIOS PIRACICABA E TRECHO MÉDIO DO RIO DOCE**

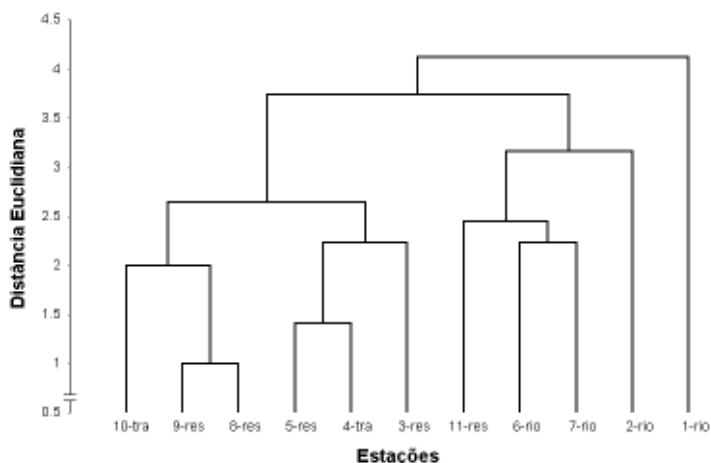
AMBIENTES ANALISADOS	RIQUEZA DE ESPÉCIES	DIVERSIDADE DE ESPÉCIES	CPUE'S EM NÚMERO (EXEMP. 100 M <sup>2</sup> DE REDES)	CPUE'S EM BIOMASSA (KG 100 M <sup>2</sup> DE REDES)
Todas as estações de rio	7,5 ± 6,5	1,39 ± 0,51	9,2 ± 11,5	1,100 ± 0,740
Estações de rio, menos a 1-rio (Rio Doce)	4,3 ± 1,5	1,16 ± 0,27	3,5 ± 0,9	0,740 ± 0,240
Áreas de transição reservatório-rio	10,5 ± 0,7	1,24 ± 0,10	30,2 ± 11,6	1,750 ± 1,420
Reservatórios	8,2 ± 2,9	1,33 ± 0,68	36,3 ± 22,7	1,800 ± 0,970

Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

A análise de agrupamento realizada para a matriz de presença e ausência de espécies não permite evidenciar padrões muito claros (Figura 8.51). Entretanto, observa-se que as estações da parte baixa (**1-rio e 2-rio**) se encontram destacadas, principalmente por apresentar ictiofauna bastante diversa da encontrada nas demais estações. Embora a relação não seja evidente, pode-se reconhecer dois agrupamentos: um representado por vários reservatórios e suas áreas de transição e outro por estações em áreas lóticas dos rios Piracicaba e Santa Bárbara e do reservatório Tanque Grande, na Serra da Caraça, ambientes pobres em espécies.

**FIGURA 8.51**

**DENDROGRAMA GERADO A PARTIR DA ANÁLISE DE CLUSTER PARA A MATRIZ DE PRESENÇA E AUSÊNCIA DE ESPÉCIES REGISTRADAS NOS RIOS PIRACICABA E DOCE. O MÉTODO DE ANÁLISE EMPREGADO FOI O DE DISTÂNCIA EUCLIDIANA.**



Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.

Das espécies coletadas, cinco (*Hoplias lacerdae*, *Lophiosilurus alexandri*, *Pygocentrus nattereri*, *Poecilia reticulata* e *Tilapia cf. rendalli*) são consideradas exóticas à bacia do Rio Doce, estando duas (*P. nattereri* e *L. alexandri*) restritas ao baixo curso (**1-rio**). Excetuando-se a piranha (*P. nattereri*) e o barrigudinho (*P. reticulata*), as outras três espécies representam recurso importante na pequena atividade pesqueira (principalmente esportiva) ainda desenvolvida na bacia.

Alguns gêneros relatados para a bacia do Rio Piracicaba, como *Pimelodus* (EIA-Rima da UHE Guilman-Amorim) e *Brycon* (Cetec, 1989), não foram registrados neste estudo. No caso específico de *Pimelodus*, pode se tratar de uma introdução ou um erro de determinação, já que esse gênero não tem distribuição relatada para a bacia.

Em virtude da carência de dados na literatura para subsidiar comparações mais detalhadas, é difícil a determinação real dos impactos gerados pelas atividades antrópicas na bacia. Apesar disso, a tendência de maior riqueza e diversidade de espécies na estação localizada no Rio Doce (**1-rio**), quando comparada à bacia do Rio Piracica-

ba, também é evidenciada em outros trabalhos desenvolvidos em áreas próximas a essa estação (Bizerril & Peres-Neto, 1991; Cepemar, 1991).

Apesar de este estudo ter coberto apenas parte limitada da bacia, os resultados obtidos indicam uma ictiofauna pouco diversificada e composta principalmente de espécies que apresentam ampla distribuição geográfica e tolerância às alterações ambientais. A maior riqueza de espécies está sendo mantida em ambientes lóticos nas partes baixas da bacia, embora essas áreas pareçam ser as mais afetadas quanto à qualidade ambiental.

## **ANEXO 1- TABELA 8.30 E TABELA 8.31**

TABELA 8.30

COMPOSIÇÃO E ABUNDÂNCIA DOS TAXA FITOPLANCTÔNICOS ENCONTRADOS NAS SUB-BACIAS DO MÉDIO RIO DOCE NO PERÍODO 1993-1995

JULHO DE 1993 - SECA

FAMÍLIAS	ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11A	11B	12	13	14
Cyanophyceae															
Chroococcales															
Chroococcaceae	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nostocales															
Nostocaceae	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-
Oscillatoriaceae	0	-	-	-	0	-	0	-	0	0	0	-	-	-	-
Euchlorophyceae															
Chlorococcales															
Oocystaceae	-	0	0	-	0	-	-	0	-	-	-	-	0	-	-
Hydrodictyceae	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Palmellaceae	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Scenedesmaceae	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	0	0	-	-
Zygothryxales															
Zygnematales															
Demidiaceae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	-	-	-
Zygnemataceae	-	0	-	-	0	-	0	-	-	-	0	-	-	-	-
Mesotaeniaceae	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ulothricophyceae															
Oedogoniales															
Oedogoniaceae	0	-	-	-	0	0	0	-	-	-	-	0	-	0	-
Ulothricales															
Microsporaceae	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ulothricaceae	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Centrophycideae															
Coscinodiscales															
Coscinodiscaceae	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0
Pennatophycideae															

## JULHO DE 1993 - SECA

FAMÍLIAS	ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11A	11B	12	13	14
<b>Diatomales</b>															
Diatomaceae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Eunotiales</b>															
Eunotiaceae	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	0	-	-
<b>Naviculales</b>															
Naviculaceae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
Surirellaceae	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	-	0	0	0	-
Não identificada	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	-	-
<b>Chrysophyceae</b>															
<b>Ochromonadales</b>															
Dinobryaceae	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-
<b>Dinophyceae</b>															
<b>Peridinales</b>															
Peridiniaceae	-	0	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Euglenophyceae</b>															
<b>Euglenales</b>															
Euglenaceae	-	0	-	0	-	-	-	-	0	0	0	-	-	0	-
<b>Outros</b>															
Fito Flagelados	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Densidade (org/l)</b>	115	58	3722	91	64	212	76	76	332	95	72	531	187	96	98
<b>Número de Taxa</b>	20	14	25	18	36	11	24	25	23	24	16	20	19	22	21
<b>IR</b>	0,2	0,2	0,006	0,2	0	0,2	0,1	0,3	0,1	0,2	0,2	0	0,1	0,2	0,2

## DEZEMBRO DE 93 - CHUVA

<b>Cyanophyceae</b>															
<b>Chroococcales</b>															
Chroococcaceae	3	-	-	-	2	-	-	-	8	22	7	40	17	70	58
<b>Nostocales</b>															
Nostocaceae	-	51	-	-	-	3	-	5	-	7	-	-	-	-	-
Oscillatoriaceae	-	34	-	-	-	6	2	40	-	-	-	-	4	-	4
Scytonemataceae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	-	-	-

<b>Euchlorophyceae</b>															
<b>Chlorococcales</b>															
Dictyosphaeriaceae	-	-	-	-	9	3	-	3	-	-	1	24	-	6	-
Chlorococcaceae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	-	-	-	-
Oocystaceae	9	17	-	-	4	-	-	-	88	80	14	30	8	-	12
Hydrodictyaceae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	1	5	17	18	18
Palmellaceae	-	-	-	-	-	-	-	-	59	15	-	10	-	-	-
Scenedesmaceae	-	-	-	-	58	-	-	-	32	218	34	314	64	96	66
<b>Zygothryxales</b>															
Zygnematales															
Demidiaceae	21	305	12	4	2	-	-	45	3	7	-	10	4	12	4
Zygnemataceae	-	68	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-
<b>Ulothricophyceae</b>															
<b>Oedogoniales</b>															
Oedogoniaceae	3	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-
<b>Chaetophorales</b>															
Chaetophoraceae	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Ulothricales</b>															
Microsporaceae	6	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	6	9
Ulothricaceae	-	-	-	2	-	-	-	-	8	22	-	-	-	6	-
Não identificada	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Centrophycideae</b>															
<b>Coscinodiscales</b>															
Coscinodiscaceae	6	-	-	-	4	-	-	-	-	14	-	-	47	12	4
<b>Pennatophycideae</b>															
<b>Diatomales</b>															
Diatomaceae	3	255	81	23	6	-	-	135	21	14	-	30	34	18	22
<b>Eunotiales</b>															
Eunotiaceae	6	-	-	-	-	-	-	15	-	-	-	-	-	-	-
<b>Achnanthes</b>															
Achnantheaceae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-
<b>Naviculales</b>															
Naviculaceae	6	3748	49	22	4	8	5	395	37	15	1	15	34	-	4





Oedogoniaceae	2	2	-	-	-	-	50	4	-	-	-	20	-	-	-
<b>Ulothricales</b>															
Microsporaceae	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Siphonocladales</b>															
Cladophoraceae	-	-	-	-	-	-	2	4	10	-	-	-	-	-	5
Não identificada	2	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-
<b>Centrophycideae</b>															
<b>Coscinodiscales</b>															
Coscinodisceae	-	2	1	-	6	-	-	-	58	29	2	301	284	358	280
<b>Pennatophycideae</b>															
<b>Diatomales</b>															
Diatomaceae	2	4	56	42	103	11	54	199	73	15	21	97	60	80	53
<b>Eunotiales</b>															
Eunotiaceae	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Achnanthales</b>															
Achnanthaceae	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-
<b>Naviculales</b>															
Naviculaceae	6	7	69	45	28	4	49	35	25	26	17	5	27	32	38
Surirellaceae	0	-	-	-	-	-	4	17	5	1	4	10	12	8	5
Não identificada	11	-	13	7	2	-	8	9	2	11	-	-	3	8	-
<b>Chrysophyceae</b>															
<b>Ochromonadales</b>															
Dinobryaceae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-
Dinophyceae															
Peridinales															
Peridiniaceae	-	-	-	2	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Euglenophyceae															
<b>Euglenales</b>															
Euglenaceae	-	2	-	-	-	-	-	-	2	-	-	5	-	-	-
Outros															
Fito Flagelados	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
Densidade (org/l)	69	112	142	147	253	15	275	363	223	103	65	478	414	534	419
Número de Taxa	25	24	15	34	42	10	30	29	31	24	26	22	29	28	21
IR	0,3	0,2	0,1	0,2	0,2	0,6	0,1	0,1	0,1	0,2	0,4	0	0,1	0,1	0



<b>Naviculales</b>															
Naviculaceae	18	9	6	3	3	12	19	12	45	18	4	3	10	10	-
Surirellaceae	-	-	-	-	-	2	2	-	-	-	-	-	2	-	-
Não identificada	6	-	-	-	-	-	7	3	6	-	4	1	4	-	-
<b>Chrysophyceae</b>															
<b>Ochromonadales</b>															
Dinobryaceae	-	-	-	-	58	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-
<b>Dinophyceae</b>															
<b>Peridinales</b>															
Peridiniaceae	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-
<b>Euglenophyceae</b>															
<b>Euglenales</b>															
Euglenaceae	-	-	-	-	-	-	3	-	-	3	-	-	2	-	-
<b>Outros</b>															
Fito Flagelados	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-
<b>Densidade (org/l)</b>	36	12	33	18	88	42	91	207	185	116	21	148	71	50	42
<b>Número de Taxa</b>	15	8	16	8	28	18	20	23	23	11	7	21	17	18	15
<b>IR</b>	0,4	0,6	0,5	0,4	0,3	0,4	0,2	0,1	0,1	0,1	0,3	0,1	0,2	0,3	0,3

Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.



<i>Colurella</i> sp.	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Dissotrocha aculeata</i>	-	-	-	-	-	-	x	-	x	x	-	x	-	-	-	-	-	x	x	
<i>Euchlanis meneta</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Euchlanis</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Filinia terminalis</i>	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Hexarthra intermedia</i>	-	x	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Keratella americana</i>	x	x	x	x	x	-	-	x	x	-	x	-	x	-	-	-	x	-	x	x
<i>Keratella cochlearis</i>	x	x	x	-	x	x	x	-	x	x	x	x	x	-	x	x	x	x	x	x
<i>Keratella lenzi</i>	x	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Keratella tropica</i>	-	-	x	-	-	-	x	x	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Lecane bulla</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-	x	x	x	x	x
<i>Lecane luna</i>	-	-	x	-	x	-	x	x	x	-	-	-	-	-	-	-	x	x	x	x
<i>Lecane</i> sp.	-	-	-	-	x	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Lepadella patella</i>	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-
<i>Lepadella</i> sp.	-	-	x	x	-	-	x	x	-	-	x	-	-	-	-	x	-	-	-	-
<i>Macrochaetus</i> sp.	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Platyas quadricornis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Polyarthra</i> sp.	x	-	-	x	x	-	x	-	x	-	x	-	-	-	-	x	-	-	x	-
<i>Ptygura</i> sp.	-	-	-	-	x	-	x	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Trichocerca similis grandis</i>	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Trichocerca</i> sp.	-	x	-	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CLADOCERA																				
<i>Alona costata</i>	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Alona gutata</i>	-	x	-	x	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	x	x	x	x	x	x
<i>Alona rectangula</i>	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	x	-	-
<i>Alona excisa</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

<i>Bosmina</i> sp.	-	x	-	x	x	-	-	-	-	-	-	x	-	x	-	-	-	-	x	
<i>Bosminopsis deitersi</i>	-	-	-	-	x	-	x	-	-	-	-	x	-	-	-	x	-	-	-	
<i>Ceriodaphnia cornuta</i>	x	-	-	-	x	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Ceriodaphnia</i> sp.	-	-	-	-	x	-	x	-	x	-	-	x	-	-	-	-	-	x	x	x
<i>Daphnia</i> sp.	-	-	-	-	x	-	x	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Diaphanosoma birgei</i>	x	x	-	x	x	x	-	-	-	x	x	-	-	-	-	x	x	x	x	
<i>Ilyocryptus spinifer</i>	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Macrothrix</i> sp.	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Moina micrura</i>	-	-	-	x	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Scapholeberis</i> sp.	-	-	-	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Simocephalus serrulatus</i>	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x
COPEPODA																				
<i>Argyrodiaptomus furcatus</i>	-	-	x	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Bryocyclops</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	x	x	-	-
<i>Eucyclops serrulatus</i>	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Mesocyclops longisetus</i>	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x
<i>Mesocyclops</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Microcyclops</i> sp.	-	-	-	x	x	x	x	-	x	-	-	x	x	-	-	x	x	-	x	-
<i>Paracyclops fimbriatus</i>	-	x	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-
<i>Paracyclops</i> sp.	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-
<i>Potamocaris</i> sp.	-	-	x	x	-	-	x	x	x	-	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Scolodiaptomus corderoi</i>	-	-	x	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Thermocyclops minutus</i>	-	-	x	-	x	-	x	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Tropocyclops prasinus</i>	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Tropocyclops</i> sp.	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Copepodito</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-	x	x	x	-	x	x	x	x	x	x
<i>Nauplius</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-	x	x	x	x	x	x
NEMATODA																				
x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Fonte: Elaboração dos autores a partir de pesquisas de campo.